



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Sesonglagring av solvarme i løsmasse – en mulighetsanalyse for Giskehallen i Sandnes kommune**

Seasonal storage of solar heat in soil – a feasibility  
study for Giskehallen in Sandnes municipality

Andreas Støle  
Miljøfysikk og fornybar energi



# Forord

Denne masteroppgaven er siste etappe av sivilingeniørutdanningen min ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Jeg begynte på studiet miljøfysikk og fornybar energi med et ønske om å være med å utvikle en av morgendagens fornybare løsninger, det har jeg fått gjort med denne masteroppgaven om sesonglagring av solvarme.

Jeg vil begynne med å takke min hovedveileder Petter H. Heyerdahl ved NMBU, som har gitt god og klar veiledning. Han har vist et inspirerende og smittende engasjement gjennom hele studieløpet mitt. Takk til Wilhelm Huus-Hansen i Anergy for grundige svar og løsninger.

En takk til Thorleif Nyman, energirådgiver i Sandnes Eiendomselskap KF, for å ta seg tid og vise interesse for oppgaven min. En god dialog har gjort det mulig å skrive denne oppgaven som en mulighetsanalyse for Giskehallen.

Jeg vil rette en stor takk til min mor, Hildegunn Støle, for korrekturlesing og gode skriveråd.

Ås, 12. mai, 2017

.....

Andreas Støle



# Sammendrag

Giskehallen i Sandnes kommune brukte 1,05 GWh til oppvarming i 2016. Dette ble dekket av en el-kjel, som er kostbart i vintermånedene. Anergy har i samarbeid med Norges miljø- og biovitenskapelige universitet videreutviklet en fornybar løsning. Sesonglagring av solenergi bruker solfangere og energibrønner til å erstatte elektrisitet til oppvarming.

Giskehallen og Sandnes vgs har 3775 m<sup>2</sup> egnet takareal for solfangere. Vegger og utearealer representerer også gode flater for solfangst. Solfangerne vil høste solenergi som enten brukes direkte eller lagres i energibrønner.

Sandnes og Jærens geologiske forhold er preget av løsmasser fra moreneavsetninger.

Boreprøver fra 2010 viser at området rundt Giskehallen har løsmasse av silt og leire. Tester fra Linköping i Sverige konkluderer med at leire kan egne seg godt til lagring av varme. Risiko tilknyttet oppvarming av leire er synk, dette må ta hensyn til ved valg av brønnparkplassering.

Ramming av åpne stålrør med vibrolodd står fram som en effektiv boremetode i løsmasse.

Antall brønner representerer den største kostnaden i prosjektet, deretter følger solfangerne.

Nettonåverdianalysen viser at den nærmer seg en positiv verdi. Prisene er overslag og representerer en kan hende for høy pris.

Sesonglagring av solvarme representerer en bærekraftig løsning og er lovende for Giskehallen.



# Abstract

Giskehallen in Sandnes municipality used 1.05 GWh for heating in 2016. This was provided by an electrical boiler, which is expensive during the wintermonths. Anergy and the Norwegian university of life science have developed a renewable answer. Seasonal storage of solar energy uses flat plate solar collectors and borehole thermal energy storage to replace the use of electricity for heating.

Giskehallen and Sandnes high school have 3775 m<sup>2</sup> roof-area suited for solar collectors. Walls and surrounding ground area can also represent suitable locations for collectors. The solar collectors will harvest thermal energy for direct use or for storage in the borehole thermal energy storage.

Sandnes and Jæren's geological conditions are characterized by moraine soils. Drilling samples from 2010 indicate silt and clay around Giskehallen. A study from Linköping in Sweden conclude that soft clay is well suited for heat storage. Risks associated with heating clay are shrinkage, this has to be assessed when locating the heat storage.

Ramming of open steel pipes is recognised as an effective drilling method in soft soils as clay.

The number of boreholes account for most of the costs followed by the solar collectors. An economic evaluation indicate that the concept could prove cost-effective. The prices are estimates and could represent a higher cost.

Seasonal storage of solar energy demonstrates a sustainable project and could be applicable for Giskehallen.





# INNHOOLD

---

<b>Symbolliste</b> .....	x
<b>1 Innledning</b> .....	1
<b>2 Teoridel</b> .....	2
2.1 Termodynamikk .....	2
2.1.1 Varme .....	2
2.1.2 Konduksjon .....	2
2.1.3 Varmeledningsevne .....	2
2.1.4 Varmekapasitet .....	3
2.1.5 Konveksjon.....	3
2.1.6 Stråling .....	3
2.1.7 Termisk diffusivitet .....	4
2.2 Solenergi.....	4
2.2.1 Solstråling.....	4
2.2.2 Norges solforhold.....	5
2.2.3 Utnyttelse av solenergi, varme og strømproduksjon .....	5
2.2.4 Solvinkler .....	6
2.2.5 Plate solfangere .....	7
2.2.6 Virkningsgrad plate solfangere.....	7
2.3 Geologiske forhold .....	8
2.3.1 Geologiske forhold – i Sandnes og omegn.....	8
2.3.2 Geotermisk varme .....	9
2.4 Energibrønnen .....	10
2.4.1 Kollektor.....	10
2.4.2 Energibrønner .....	11
2.4.3 Termisk responstest.....	11
2.5 Relevante prosjekt fra Canada og Sverige.....	12
2.5.1 Drake Landing Solar Community .....	12
2.5.2 Energilager i leire – Linköping.....	15
2.6 Årlig energiforbruk , svømmehall og idrettshall .....	16
2.7 Giskehallen.....	16
2.8 Økonomi .....	18
2.8.1 Strømpris .....	18
2.8.2 Nettonåverdi .....	18

<b>3</b>	<b>Metode</b> .....	19
3.1	Energiforbruk Giskehallen .....	19
3.2	Klima Sandnes.....	21
3.3	Tak og fasader – Giskehallen og Sandnes vgs .....	22
3.4	Beskrivelse av PVsyst .....	25
3.5	Solfangere og dimensjonering .....	26
3.5.1	Energibærer .....	26
3.5.2	Dreneringssystem .....	26
3.6	Boretteknikk .....	27
3.6.1	Slagboring .....	27
3.6.2	Rammede stålrørspæler .....	28
3.6.3	Korrosjonsbeskyttelse.....	29
3.6.4	Dokumentering av boring.....	29
3.7	Brønnpark utforming .....	29
3.8	Dimensjonering av Brønnpark .....	30
3.9	Varmetap i brønnparken .....	32
3.10	Temperaturnivåer .....	33
3.11	Effektuttak .....	34
<b>4</b>	<b>Resultat</b> .....	35
4.1	Solvarme.....	35
4.2	Skyggelegging .....	36
4.3	Solfangere.....	37
4.4	Dimensjonering av Brønnpark .....	38
4.4.1	Brønnparkplassering.....	39
4.5	Leire som lagringsmasse .....	39
4.6	Etablering av energibrønner .....	40
4.7	Temperaturnivåer .....	41
4.8	Forsyning – fra sesonglager til Giskehallen .....	41
4.9	Pris og nåverdianalyse.....	42
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b> .....	43
5.1	Solfangere.....	43
5.2	Dimensjonering av brønnpark .....	43
5.3	Effektuttak .....	44
5.4	Oppladningsfasen.....	45

5.5	Setninger og randeffekter i leire .....	45
5.6	Risiko - kvikkleire .....	45
5.7	Sesonglagerets dekningsgrad.....	46
5.8	Priser.....	47
5.8.1	Strømpriser .....	47
5.8.2	Nettonåverdianalyse .....	47
5.8.3	Enova.....	48
5.8.4	Økonomisk vurdering og veien videre .....	48
6	<b>Konklusjon</b> .....	49
7	<b>Bibliografi</b> .....	50
8	<b>Vedlegg</b> .....	53
8.1	Nettonåverdianalyse .....	53
8.2	Utskrift fra PV-syst .....	55
8.3	Værdata fra Metonorm 7 .....	59

## SYMBOLLISTE

<u>Symbol</u>	<u>Enhet</u>	<u>Forklaring</u>
A	m <sup>2</sup>	Tverrsnitt
A <sub>p</sub>	m <sup>2</sup>	Parkflate
A <sub>s</sub>	m <sup>2</sup>	Overflate
c <sub>p</sub>	Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	Spesifikk varmekapasitet
c <sub>v</sub>	Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	Volumetrisk varmekapasitet
E	kWhm <sup>-2</sup>	Energi høstet
E <sub>innstrålt</sub>	kWhm <sup>-2</sup>	Energi innstrålt
G	Wm <sup>-2</sup>	Energifluks
h	Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	Konveksjonskoeffisient
H	m	Høyde
k	Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	Varmeledningsevne
m	kg	Masse
n	år	Levetid
NNV	NOK	Nettonåverdi
Q	kWh	Termisk energi
Q̇ <sub>kond</sub>	W	Varmestrøm konduksjon
Q̇ <sub>konv</sub>	W	Varmestrøm konveksjon
Q̇ <sub>strål</sub>	W	Varmestrøm stråling
R		Rente
r	m	Radius
t	år	Tid
T	K	Temperatur
T <sub>a</sub>	K	Omgivelsestemperatur
T <sub>m</sub>	K	Middeltemperatur
T <sub>s</sub>	K	Overflatetemperatur
T <sub>∞</sub>	K	Upåvirket temperatur
U <sub>0</sub>	NOK	Investeringsutgift
V	m <sup>3</sup>	Volum
α	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	Termisk diffusivitet
β	°	Høydevinkel
γ	°	Azimuthvinkel
ΔT	K	Temperaturforskjell
Δx	m	Avstand
ε		Emissivitet
η <sub>0</sub>		Initial virkningsgrad
η <sub>solfanger</sub>		Solfangerens virkningsgrad
ρ	kgm <sup>-3</sup>	tetthet
σ	Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup>	Stefan-Boltzman konstant





# 1 INNLEDNING

---

Bygg står for 40 % av Norges energiforbruk. Utfasing av oljekjel og stadig skjerpene energikrav til byggeteknisk forskrift (TEK), gjør at bygninger står over det grønne skiftet. Lokal energiproduksjon og lagring av fornybar solenergi representerer en bærekraftig løsning på veien mot lavutslippssamfunnet. Anergy har i samarbeid med Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (herfra NMBU) videreutviklet konseptet for sesonglagring av solvarme, et konsept som er lite utprøvd i Norge. Denne teknologien bruker solfangere og energibrønner til å erstatte bruk av elektrisitet som energikilde til oppvarming og nedkjøling i bygg gjennom hele året.

Et sesonglager lades i sommerhalvåret og kan levere solenergi i vinterhalvåret, på den måten er en forsynt med solenergi hele året. Energibrønner har tradisjonelt vært boret i fast fjell og det er lite utprøvd i løsmasse. Det er utført få forsøk og analyser av sesonglagring i løsmasser som silt og leire. Flere fagmiljøer stiller seg positive til energilagring i løsmasse. Tester i Sverige har konkludert med at leire kan egne seg godt til lagring av varme. Store brønnparker har fordel av å gi en bedre gjenvinningsgrad enn små.

Giskehallen i Sandnes kommune er en flerbrukshall med et svømmebasseng, bygget har et oppvarmingsforbruk i GWh-klassen som er idag dekket av en el-kjel. Oppvarming om vinteren er kostbart og en ser etter alternativer. Bygget har et stort takareal og fasader som egner seg for solfangere. Rundt Giskehallen er det silt og leire.

Sesonglagring av solvarme er et omfattende konsept som berør mange fagområder. Denne oppgaven skal se på noen av de sentrale faktorene, og samlet være en ikke for detaljert mulighetsstudie, men god nok til å dokumentere besparelsesmuligheter sesonglagring av solvarme kan bety for Giskehallen.

Oppgaven går ut på å:

- Hente og analysere energiforbruksdata
- Vurdere plassering av solfangere
- Avdekke og vurdere geologiske forhold
- Dimensjonering av anlegg, solfangere, brønnpark
- Vurdere besparelsesmuligheter

## 2 TEORIDEL

---

### 2.1 Termodynamikk

#### 2.1.1 Varme

Varme er energi som blir overført mellom to system som et resultat av temperaturdifferanse (Yunus & Afshin, 2011). Når en gjenstand får tilført varme vil atomene vibrere eller bevege seg raskere og temperaturen øker.

Termodynamikkens første lov sier: «*Energi kan aldri skapes eller ødelegges, bare skifte form*». I energitransformasjoner er det alltid en del av energien som blir til varme, for eksempel friksjon (Wildi, 2006).

#### 2.1.2 Konduksjon

Konduksjon er energioverføring på partikkelnivå: partikler overfører energi til nærliggende partikler. I væsker og gass skjer dette ved diffusjon og kollisjoner, mens i fast stoff skjer det ved vibrasjoner til atomene og bevegelse av elektroner. For eksempel ved oppvarming av en jernstav, så vil varmen spre seg til den andre enden av staven gjennom konduksjon.

Varmestrømmen til en gjenstand er avhengig av formen, tykkelsen og materialet, gitt at det er en temperaturdifferanse. Formelen uttrykkes etter Fouriers lov:

$$\dot{Q}_{kond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Hvor  $\dot{Q}_{kond}$  er varmemstrømmen,  $k$  er materialets varmeledningsevne,  $A$  er tverrsnittet som er vinkelrett på varmemstrømsretningen,  $\Delta T$  er temperaturdifferansen og  $\Delta x$  er avstanden mellom temperaturene. Minustegnet indikerer at varmemstrømmen går fra høy temperatur til lav.

#### 2.1.3 Varmeledningsevne

Varmeledningsevnen beskriver et materiales evne til å lede varme ved konduksjon. **Tabell 1** viser varmeledningsevnen til forskjellige materialer i romtemperatur (Yunus & Afshin, 2011). Krystaller og rene metaller leder godt, mens væsker og gasser leder dårligere.



<b>Material</b>	<b><math>k</math></b> [W/m·K]
Diamant	2300
Gull	317
Jern	80,2
Glass	0,78
Vann	0,607
Luft	0,026

*Tabell 1: Varmeledningsevnen til materialer i romtemperatur. Kilde: (Yunus & Afshin, 2011).*

### 2.1.4 Varmekapasitet

Spesifikk varmekapasitet er hvor mye varme som skal til for å øke temperaturen på en del stoff med en kelvin. Vann har en spesifikk varmekapasitet på 4,18 kJ/(kg·K). Det betyr at en må tilføre 4,18 kJ for å øke temperaturen til 1 kg vann med 1 K. Spesifikk varmekapasitet er avhengig av temperatur og trykk.

### 2.1.5 Konveksjon

Konveksjon er energitransport fra et fluid til et fast stoff.

$$\dot{Q}_{konv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Hvor  $\dot{Q}$  er varmestrømmen fra konveksjon,  $h$  er en konveksjonskoeffisient og  $A_s$  er overflateareal hvor konveksjonen skjer.  $T_s$  er temperaturen til kontaktoverflaten,  $T_\infty$  er temperaturen en finner på fluidet som ikke er påvirket av varmetransporten.

Konveksjonskoeffisienten  $h$  er en parameter bestemt av overflaten, strømmingstype og væskens egenskaper.

### 2.1.6 Stråling

Stråling er energioverføring gjennom elektromagnetisk stråling. Alle overflater som har en temperatur over det absolutte nullpunkt sender ut varmestråling.

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

Hvor  $\dot{Q}$  er varmestrømmen,  $\varepsilon$  er emissiviteten til materialet,  $\sigma$  er Stefan-Boltzmann konstant som er  $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .  $A_s$  som sender ut stråling og  $T_s$  er temperaturen til overflaten.

Emissivitet er en faktor som sier i hvor stor grad en overflate sender ut stråling, den har en verdi mellom 0 og 1. Pr definisjon har et sort legeme verdi 1, og vil derfor emittere maksimal stråling i forhold til temperaturen (Duffie & Beckman, 2013).

### 2.1.7 Termisk diffusivitet

Termisk diffusivitet er en egenskap som sier hvor raskt varme ledes gjennom et materiale ved konduksjon.

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

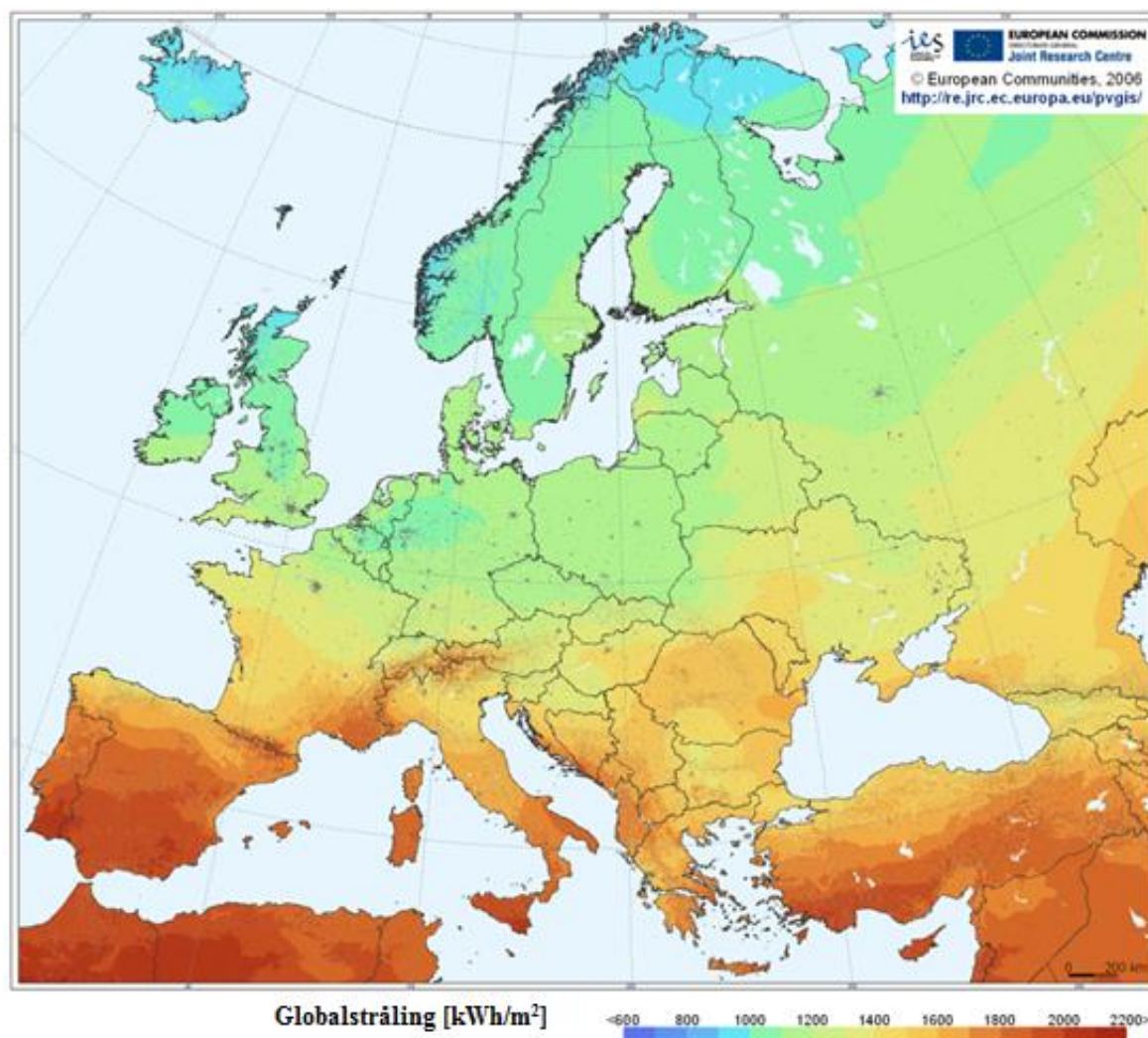
Her er  $\alpha$  termisk diffusivitet,  $k$  er varmeledningsevnen til materialet,  $\rho$  er tettheten til materialet og  $c_p$  er den spesifikke varmekapasiteten ved konstant trykk. Leddet  $\rho c_p$  kan skrives som volumetriske varmekapasitet  $c_v$ . Diffusiviteten beskriver forholdet mellom varme som blir ledet gjennom konduksjon og varme som blir lagret i et materiale. Dersom den termiske diffusiviteten er høy, betyr dette at varme sprer seg raskt gjennom materiale (Yunus & Afshin, 2011).

## 2.2 SOLENERGI

### 2.2.1 Solstråling

Solstråling består av diffus og direkte stråling fra sola. Diffus stråling er solstråling som er blitt spredt gjennom atmosfæren som for eksempel skyer eller forurensing. Solstråling på en sydvendt flate med optimal vinkel kalles globalstråling (Geofysisk institutt ved UiB, u.d.).

**Figur 1** viser årlig globalstråling for Europa som er synkende med breddegrad.



*Figur 1: Årlig globalstråling i Europa. Kilde: (PVGIS © European Union, 2012).*

### 2.2.2 Norges solforhold

I Norge er den årlige innstrålingen på en horisontal flate ca 700 kWh/m<sup>2</sup> i nord til ca 1000 kWh/m<sup>2</sup> i sør (NVE, 2015). Det er store årlige variasjoner i Norge i forhold til Europa, Norge har lange dager med sol om sommeren mot korte om vinteren. Det betyr at den største delen av den årlige energimengden fra sola kommer i sommermånedene.

### 2.2.3 Utnyttelse av solenergi, varme og strømproduksjon

Det finnes flere måter å utnytte solenergien, både passive og aktive. Passiv utnyttelse av solenergien er å bruke direkte sollys til oppvarming som for eksempel drivhus eller boliger

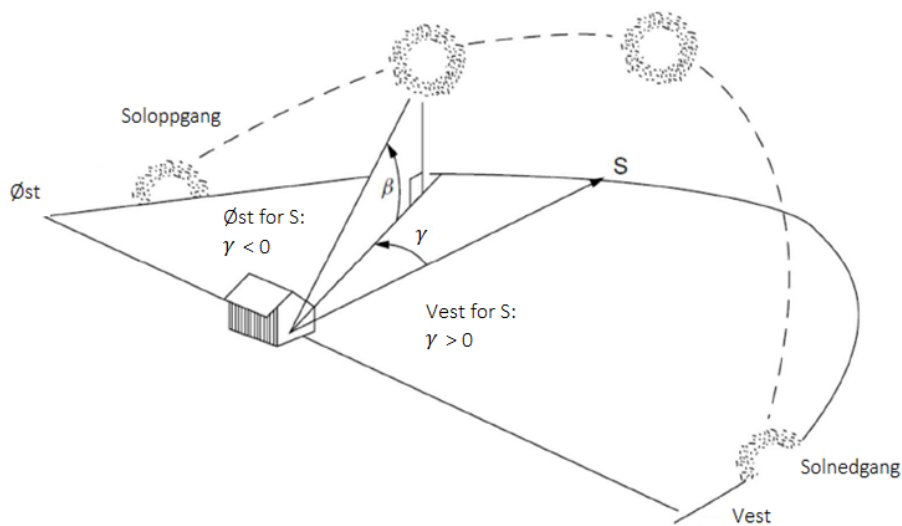
med store sørvendte vinduer. Aktive måter er å bruke solfangere med sirkulerende væske eller solceller til å produsere henholdsvis varme og strøm.

Det finnes flere ulike typer solfangere, men alle omformer solstråling til varme. Plate solfangere er den vanligste og mest brukte typen, mens vakuum-rør solfanger er en type som blir mer og mer tatt i bruk, den har høyere virkningsgrad og er noe dyrere.

## 2.2.4 Solvinkler

En beskriver solinnstråling med forskjellige vinkler. Denne oppgaven følger definisjoner gitt av Duffie & Beckman (2013).

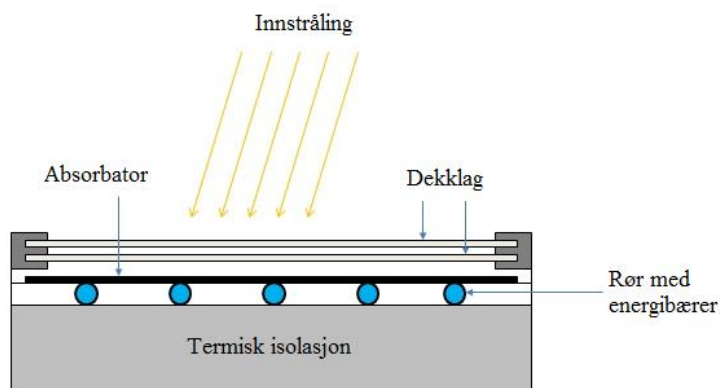
Azimuth- og høydevinkel beskriver solas posisjon på himmelen i løpet av en dag. Azimuth vinkel,  $\gamma$ , er kompassretningen solinnstrålingen kommer fra. Sør er definert som  $0^\circ$  og nord  $180^\circ$ , innstråling fra vest vil ha azimuthvinkel fra  $0^\circ$  til  $180^\circ$  og en fra øst vil ha fra  $0^\circ$  til  $-180^\circ$ . Høydevinkel,  $\beta$ , er vinkelen mellom horisonten og sola, den vil være  $0^\circ < \beta < 90^\circ$ . Vinklene kan også brukes for en flate som mottar innstråling fra sola. **Figur 2** viser disse vinklene med himmelretningene. Disse to vinklene er avhengige av stedets breddegrad, hvilken dag det er i året og når på dagen.



**Figur 2:** Azimuth- og høydevinkel. Kilde (Adaramola, u.d.)

## 2.2.5 Plate solfangere

**Figur 3** viser en enkel skisse av oppbyggingen til en plate solfanger. Solfangeren består av tre hoveddeler, absorbator, isolasjon og dekklag. Absorbatorens oppgave er å konvertere solinnstrålingen til varme. Den består av et sort material slik at den tar opp mest stråling, som et sort legeme, og varmen overføres til energibæreren som frakter varmen til forbruk eller til



**Figur 3:** Enkel skisse av en plate solfanger. Bildet er oversatt fra kilde: (Mark Fedkin (modified after Duffie and Beckman, u.d.).

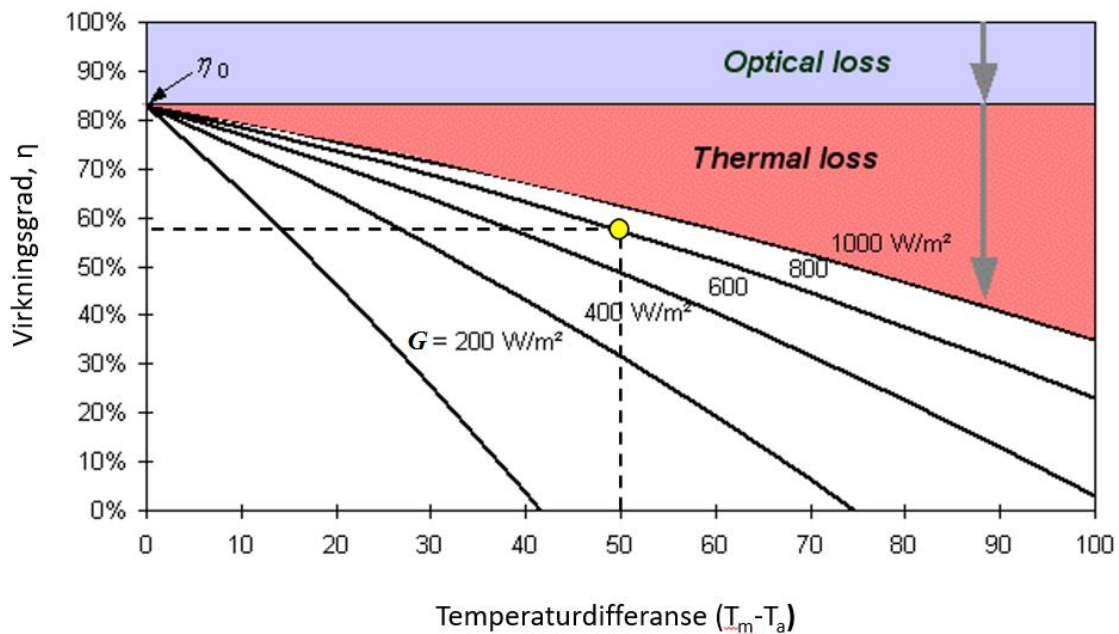
lagring. Over absorbatoren er det et gjennomsiktig dekklag av glass eller plast, dette skal slippe inn den kortbølgede strålingen fra sola og holde på den langbølgede varmestrålingen fra absorbatoren, akkurat som et drivhus. Dekklaget beskytter absorbatorene mot å bli tildekket av støv, sand og insekter. Den beskytter også mot varmetap fra konveksjon, at vind tar bort oppvarmet luft som ligger innenfor dekklaget. Noe av solinnstrålingen blir reflektert av dekklaget, men nytten er ofte større enn dette tapet. Rundt solfangeren bruker en isolasjon for å redusere varmetapet fra konduksjon. Plate solfangere bruker både direkte og diffus stråling, og de krever lite vedlikehold. (Duffie & Beckman, 2013).

Plate solfangere er mekanisk enkle og har et fleksibelt design, effektivitet gis etter konstruksjon og materialvalg. Slik kan en spesialtilpasse platesolfangere til et hvert prosjekt. En fordel med plate solfangere er at de kan integreres i bygg som en del av taket eller vegg. Mange vil si at solfangere kan heve estetikken til et bygg og de sender ut et budskap om at en har valgt en fornybar energiløsning.

## 2.2.6 Virkningsgrad plate solfangere

Professor Volker Quashning ved HTW Berlin publiserte i 2004 **figur 4** som viser virkningsgrad for plate solfangere med termiske og optiske tap. Refleksjon av innstrålingen er optiske tap mens varmetap fra solfangeren er termiske tap. De forskjellige kurvene tilhører forskjellige innstrålte energiflukser,  $G$ . Y-aksen viser virkningsgraden,  $\eta$ . X-aksen viser temperaturdifferansen mellom middeltemperaturen til absorbatoren og omgivelsenetemperaturen ( $T_m - T_a$ ) (Quaschning, 2004). Innstrålingsfluks og lufttemperatur

endrer seg kontinuerlig, det betyr at virkningsgraden vil gjøre det samme. Virkningsgraden stiger med innstrålt effekt og redusert temperaturdifferanse.



**Figur 4:** Virkningsgrad for plate solfanger. Kilde: (Quaschnig, 2004).

Et realistisk eksempel for Giskehallen på en sommerdag med lite vind er vist i **figur 4**. Ved en innstråling på  $800 \text{ W/m}^2$  og temperaturdifferansen mellom middeltemperatur til absorbatoren og omkringliggende luft er  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Da viser **figur 4** en virkningsgrad litt under 60 %.

Formel (5) er et uttrykk for årlig fanget energi for en solfanger.

$$E = E_{\text{innstrålt}} \cdot \eta_{\text{solfanger}} \quad (5)$$

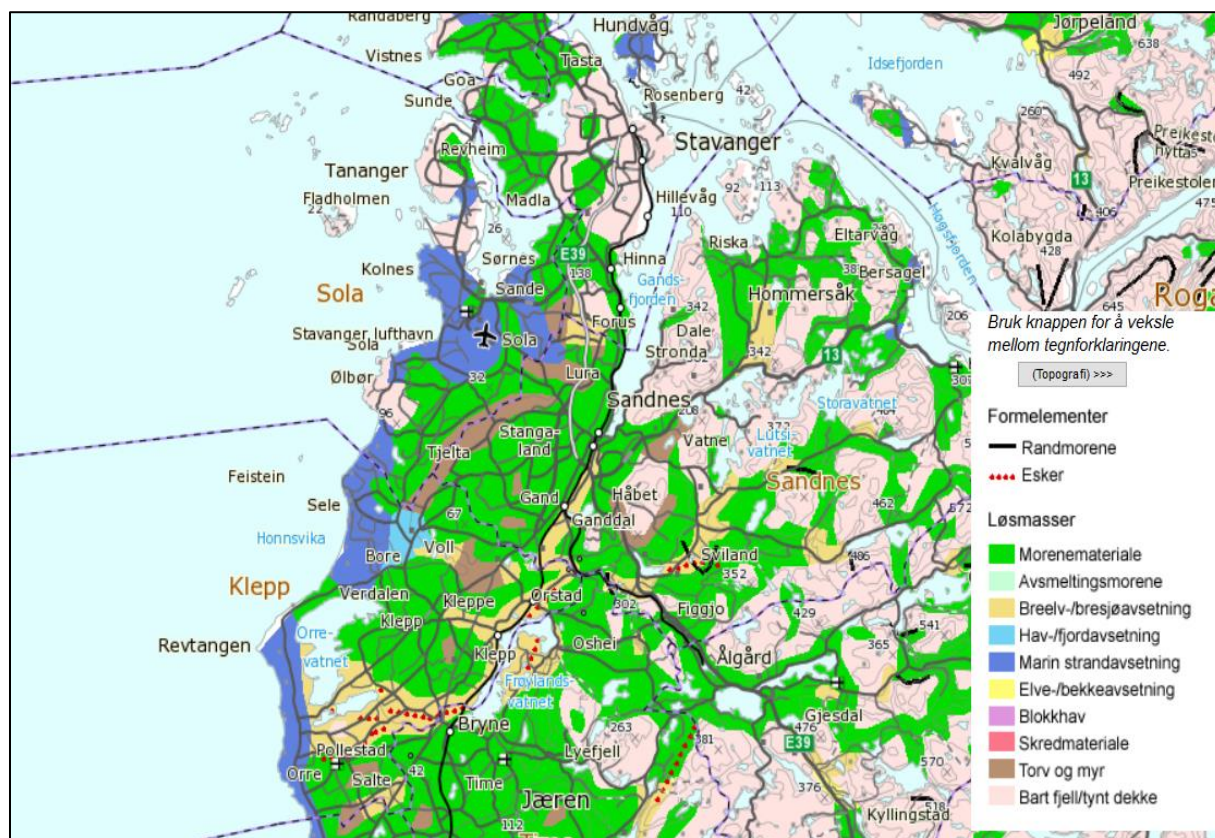
Her er  $E$  årlig energi overført til energibæreren i solfangeren,  $E_{\text{inn}}$  er hvor mye energi som treffer solfangeren og  $\eta_{\text{solfanger}}$  er virkningsgraden til solfangeren.

## 2.3 Geologiske forhold

### 2.3.1 Geologiske forhold – i Sandnes og omegn

Sandnes er en del av Jæren på Sør-Vestlandet. Jæren har et tykt morenemateriale av kalkholdig leire og sand. **Figur 5** viser et kart over Jæren med oversikt over utbredelse av

løsmasser. Morenematerialet dominerer landskapet, det stammer fra forrige istid (Store norske leksikon, u.d.). Boreprøver som ble utført ved Giske i 2010 viser at det er 80 meter løsmasser av leire og silt ned til fast fjell. Det er mulig at deler av løsmassene er blåleire, ettersom det ikke er uvanlig i området (Nyman, 2017).



*Figur 5: Løsmassekart over Jæren med Sandnes. Fra løsmassedatabase til NGU. Kilde: (NGU, u.d.).*

Silt er jordpartikler med kornstørrelse på 0,06 mm til 0,002 mm, mens leire har mindre enn 0,002 mm. Inneholder massen mer enn 10-12% leire får den en leirekarakteristikk og en gir alt betegnelsen leire (Prestvik & Trømborg, 1999).

### 2.3.2 Geotermisk varme

Grunnvarme er termisk energi hovedsakelig fra sola. Dette representerer et lavtemperatur energilager i løsmassen. En skiller gjerne mellom grunn og dyp geotermisk energi. Dyp geotermisk energi er varme fra jordas indre og en liten andel fra nedbryting av naturlige forekomster av radioaktivt materiale i jorda. Denne oppgaven skal se nærmere på grunn termisk energi: grunnvarme.

Temperaturen i jorda endrer seg med sesongene, men er i gjennomsnitt den samme som årsmiddeltemperatur. Temperaturer femten meter under bakkeoverflaten kan regnes som uforstyrret av årlige variasjoner (Gehlin, 2002).

De termiske egenskapene varierer med jordtyper, dette gjelder da egenskaper som termisk ledningsevne, spesifikk varmekapasitet og grad av porøsitet. Permeabilitet i løsmasse sier i hvilken grad vann kan strømme gjennom massene: Ved høy permeabilitet vil horisontale strømninger kunne gå gjennom massene. Da vil varme spres gjennom konveksjon istedenfor konduksjon i jorda, og dette er ikke gunstig for en brønnpark.

**Tabell 2** viser termisk ledningsevne, volumetrisk varmekapasitet og termisk diffusivitet for noen av grunntypene som er tilstede i Sandnes. Silt og leire har en lavere ledningsevne enn fjell, men har høyere varmekapasitet. Leire og silt er sterkt påvirket av vanninnholdet i jorda.

	<b>Termisk ledningsevne</b> ( $k$ ) [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	<b>Volumetrisk varmekapasitet</b> ( $c_v$ ) [Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ]	<b>Termisk diffusivitet</b> ( $\alpha$ ) [m <sup>2</sup> /s]
Silt	1,20 – 2,40	2,4 · 10 <sup>6</sup> – 3,3 · 10 <sup>6</sup>	0,36 · 10 <sup>-6</sup> - 1 · 10 <sup>-6</sup>
Leire	0,85 – 1,10	3,1 · 10 <sup>6</sup> – 3,6 · 10 <sup>6</sup>	0,24 · 10 <sup>-6</sup> - 0,35 · 10 <sup>-6</sup>
Fjell	2,50 – 6,60	2,2 · 10 <sup>6</sup>	1,14 · 10 <sup>-6</sup> - 3 · 10 <sup>-6</sup>
Vann	0,607	4,2 · 10 <sup>6</sup>	0,14 · 10 <sup>-6</sup>

*Tabell 2: Termiske egenskaper til forskjellige jordtyper og vann. Kilde: (Gehlin, 2002).*

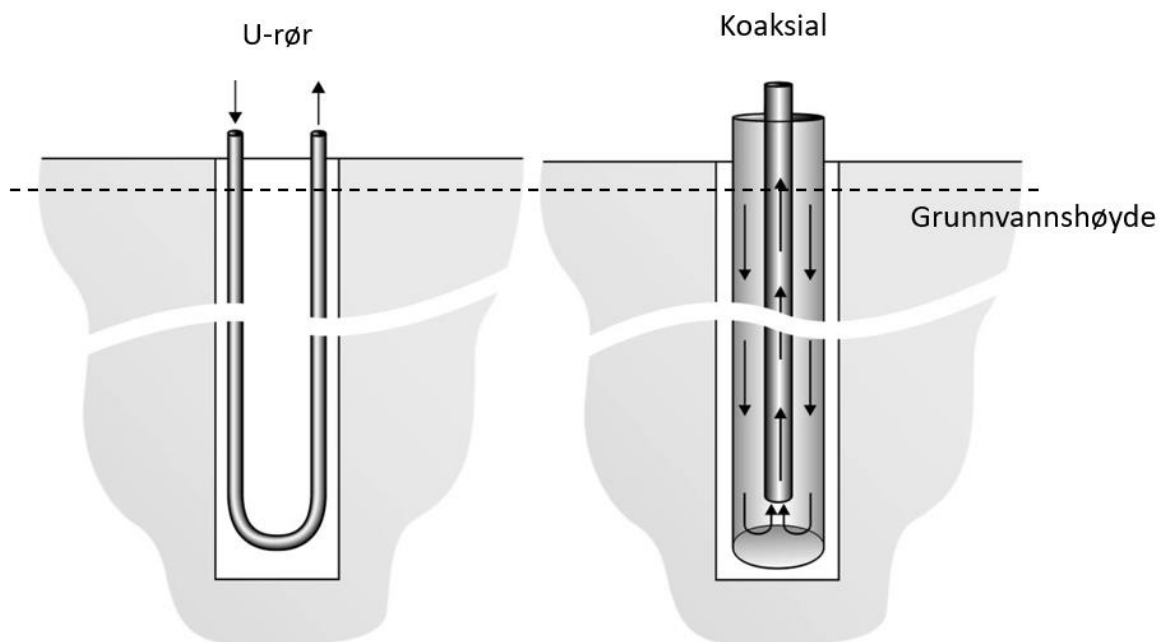
## 2.4 ENERGIBRØNNEN

### 2.4.1 Kollektor

Kollektoren i energibrønnen står for varmevekslingen mellom energibæreren og brønnens omsluttende masse. Det er viktig med god kontakt mellom kollektor og omsluttende masse for å fremme konduksjon og dermed varmeveksling. En har i hovedsak to kollektortyper, det er u-rør og koaksial type. U-røret er mest vanlig og enkel, den har varmeoverføring til grunnvann gjennom hele brønnen. Koaksialkollektoren har varmeoverføring i ytterrøret, derfor er det innerste røret godt isolert for å forhindre termisk kortslutning (Gehlin, 2002).

**Figur 6** viser de to forskjellige kollektorene, u-rør til venstre og koaksial til høyre.





**Figur 6:** U-rør kollektor til venstre og koaksialrør til høyre, stiple linje er grunnvannshøyde. Figuren er fra (Gehlin. S 2002), det er lagt på grunnvannshøyde og navn. Illustratør: Claes-Göran Andersson.

## 2.4.2 Energibrønner

Energibrønner er borehull i bakken med kollektor, hvor en kan lagre og hente ut termisk energi i omkringliggende jord. Den aktive brønnehøyden er avhengig av hvor høyt grunnvannet står.

En studie gjort av Una Prestegaard i 2014 konkluderer med at platesolfangere er den mest effektive energikilden til å lade energibrønnene med. Studien undersøkte bakkesolfangere, platesolfangere, uteluft og ventilasjonsluft som ladekilder. Platesolfangeren lader med høy effekt over kortere periode, dette viser seg å være fordelaktig fremfor lav effekt over en lengre periode (Prestegaard, 2014).

## 2.4.3 Termisk responstest

Ved planlegging av energibrønner er det viktig å kjenne til geologien og de termiske egenskapene til jorden, disse er avgjørende for valg av brønntype og brønnkonfigurasjon. De termiske egenskapene for ulike jordtyper kan en finne i **tabell 2**, men når en skal dimensjonere et grunnvarmeanlegg må en ha så liten usikkerhet som mulig knyttet til disse

verdiene. Derfor er det hensiktsmessig å utføre en termisk responstest ved planlagt plassering av brønnene.

En termisk responstest utføres ved å bore et hull og tilføre borehullet varme, dette gjøres ved å sende oppvarmet væske gjennom kollektoren i borehullet. Ved å analysere temperaturutviklingen til den sirkulerende væsken over tid, finner en verdier for de termiske egenskapene i og rundt borehullet. For eksempel vil en rask termisk respons bety at det er en lav termisk ledningsevne (Gehlin, 2002).

Effektiv varmeledningsevne og termisk borehullsmotstand er de to viktigste egenskapene en får fra en termisk responstest. Effektiv varmeledningsevne er den totale varmestrømmen til borehullet med bidrag fra konduksjon, konveksjon fra grunnvannstrømmer og stråling.

Termisk borehullsmotstand er et mål på hvor godt varmen går gjennom kollektoren og ut til omgivelsene, motstanden ønsker en er så lav som mulig (Ramstad, 2013).

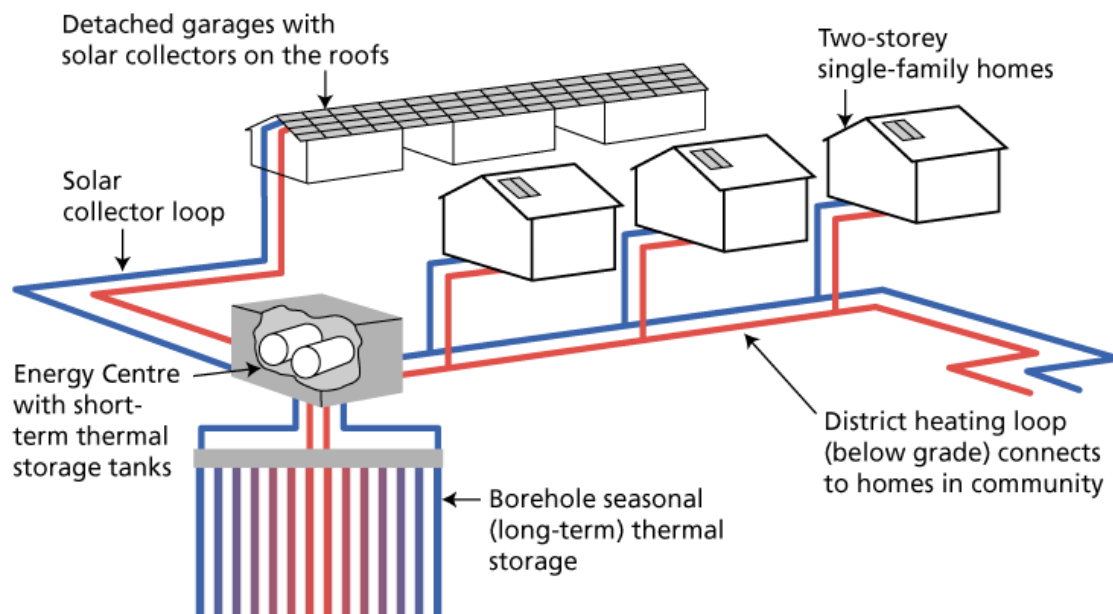
## **2.5 RELEVANTE PROSJEKT FRA CANADA OG SVERIGE**

### **2.5.1 Drake Landing Solar Community**

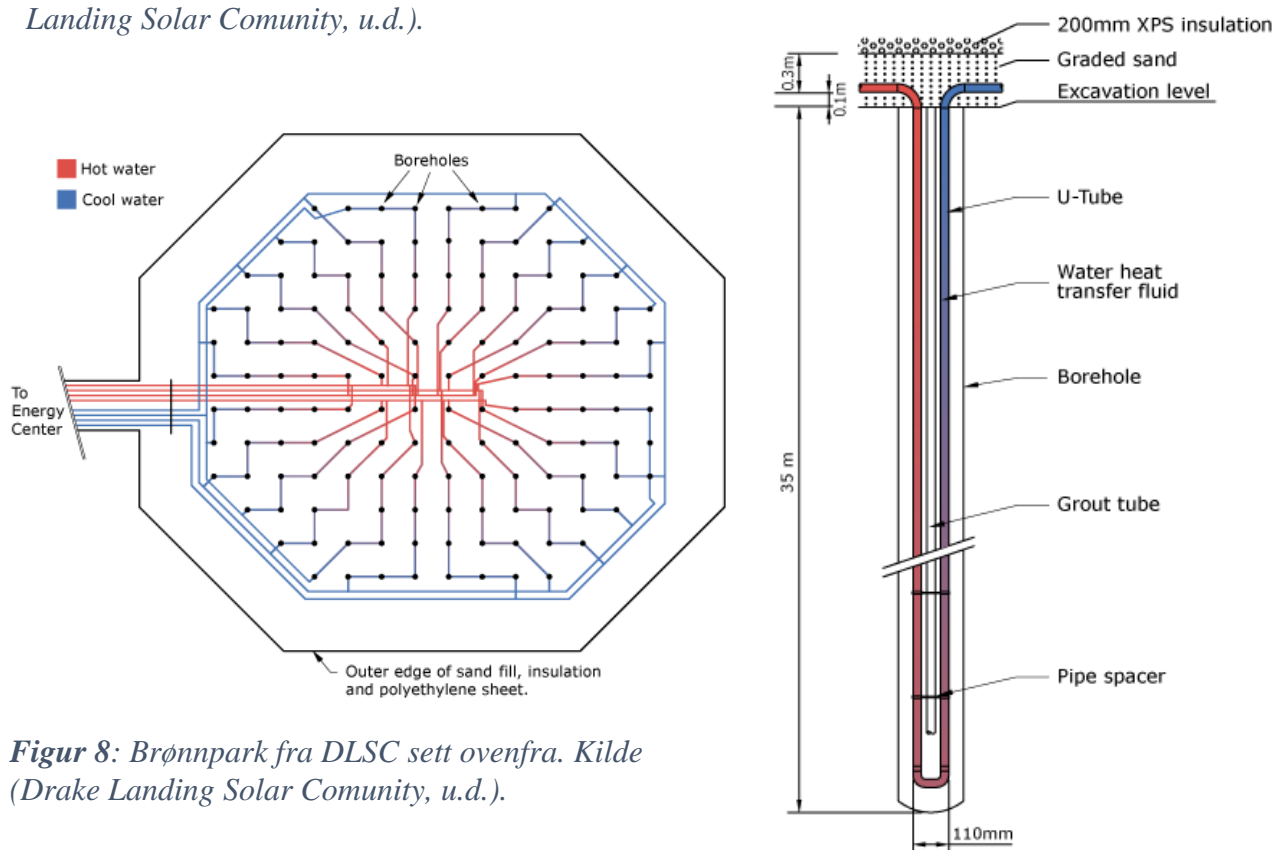
Drake Landing Solar Community (heretter DLSC) i byen Okotoks, Alberta i Canada har vært et pionerprosjekt for sesonglagring av solvarme. Prosjektet omfatter 52 boliger som blir forsynt med termisk solenergi til oppvarming. De har hatt i gjennomsnitt en dekningsgrad på 96% i perioden 2012-16.

Prosjektet består av 800 plate solfangere montert på garasjetakene til 52 boliger. På en typisk sommerdag leverer disse 1,5 MW termisk effekt. Varmen blir sendt til varmtvannstanker for korttidslagring og deretter til energibrønner i bakken for lagring over lengre tid. Solfangerne er rettet mot sør og har en helning på 45°. Som energibærer i solfangerne bruker de vann blandet med glykol for å beskytte seg mot frysing.

**Figur 7** viser en skisse av husene og energisentralen. Rørene viser distribueringen av solvarmen. **Figur 8** viser brønnkonfigurasjonen til brønnparken, **figur 9** viser en enkel brønn med u-rør kollektor og med isolasjon på toppen.



**Figur 7:** Skisse av DLSC med høsting, lagring og distribusjon av solvarme. Kilde (Drake Landing Solar Community, u.d.).



**Figur 8:** Brønnpark fra DLSC sett ovenfra. Kilde (Drake Landing Solar Community, u.d.).

**Figur 9:** Enkelbrønn av u-rør fra DLSC. Kilde: (Drake Landing Solar Community, u.d.).

Brønnparken består av 144 borehull som er 35 meter dype, disse står i løsmasser. Brønnparken består av 24 serier med 6 brønner i hver, som vist i **figur 8**. Det er 2,25 meter mellom dem. Brønnparkkonfigurasjon er slik at det blir sendt varme ned i sentrum av parken først og deretter utover, slik blir sentrum av parken varmest og deretter gradvis kjøligere utover. Slik blir temperaturgradienten mindre og varmetapet til omliggende jordmasser mindre. Når en skal hente ut varme sender en vannet i motsatt retning, da blir vannet gradvis varmet opp ettersom det beveger seg mot sentrum av brønnparken. Det er brukt U-rør i PEX plast. Etter at rørene ble lagt i hullene ble det etterfylt med en spesiell fyllmasse med god termisk ledningsevne. Nøkkeltall til DLSC er listet i **tabell 3**.

<b>Nøkkeltall fra Drake Landing Solar Community</b>	
Solfangerareal	2300 m <sup>2</sup>
Tototalt høstet solenergi	1 118 000 kWh
Solfanger ytelse	486 $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$
Antall brønner	144 stk
Avstand mellom brønner	2,25 m
Brønnparkflate diameter	35 m
Brønndybde	37 m
Solenergi levert til brønnpark	574 000 kWh
Energi gjenvunnet fra brønnpark	381 000 kWh
Gjenvinningsgrad	66 %
Temperatur i oppladet brønnpark	60-80 °C
Kollektortype	U-rør

Når solfangerne får en stor effekt tilført, som 1,5 MW, er ikke brønnparken stor nok til å ta imot all varmen. Varmeoverføringen til jorda er ikke god nok til å ta imot en slik effekt. Dette skyldes jordas ledningsevne. Derfor bruker en to varmtvannstanker på 120 kubikkmeter (120 000 liter, til sammen 240 000 liter) til å ta imot denne toppeffekten. På en typisk sommerdag vil pumpene sende solvarmen først til en varmeveksler, slik at varmen blir overført til vannet i varmtvannstankene, og deretter til energibrønnene. Når sola går ned, vil pumpene til solfangerne skrus av, men pumpene til energibrønnen vil fortsatt gå (Drake Landing Solar Community, u.d.)

*Tabell 3: Nøkkeltall fra DLSC.*

## 2.5.2 Energilager i leire – Linköping

Sveriges getotekniske institutt utførte en 3 års drift fra 1992-94 av et høytemperaturvarmelager i Linköping i Sverige (Gabrielsson, et al., 1997). Lagringsmediet her var leire. Hensikten var å undersøke egnetheten til leire i høytemperaturlagring (70 °C) og hvordan leiras egenskaper påvirkes av en slik temperatur.

Det ble brukt 4 forskjellige kubeformede lagre på 1000 m<sup>3</sup>: To høytemperaturlagre, ett fryselager og ett lager uten noen installasjoner til bruk som referanse. Brønnene var 10 meter dype med u-rør-kollektor laget av PEX. I høytemperaturlagerene ble det lagt isolasjon over brønntoppene. De ble oppvarmet fra en elektrisk kilde.

Det ene lageret simulerte sesonglagring av varme og hadde en temperatursvingning fra 70 °C ned til 35 °C. Det ble utført to oppvarminger og nedkjølinger hvert år, slik at en fikk seks sesonger over tre år. Det andre hadde en konstant temperatur på 70 °C.

Forsøket ga gode indikasjoner på at leire er egnet til sesonglagring. Målinger viste kun små endringer i leirens egenskaper, hvor det stort sett lå innenfor naturlig variasjon. Dette gjaldt også de viktigste termiske egenskapene som ledningsevne, varmekapasitet og vanninnhold. En observerte et økt poretrykk i leiren, dette kommer av at økt temperatur gir termisk utvidelse av vann. Selv om vann har en relativt konstant tetthet, så er det snakk om et stort volum vann. En så oksidering i u-rørene av plast. Den høye temperaturen ga en ekstra påkjenning på rør og måleinstrumenter. Derfor ble det byttet ut instrumenter etter ett år, med noen som tålte høye temperaturer bedre. Under oppvarmingen av lagrene ble stabiliteten til leiren midlertidig redusert. En annen effekt er krymping og setninger, altså at toppen av brønnparken synker. Det var størst effekt i sentrum av parken og mindre utover. Det ble målt 31 mm og 10 mm synk henholdsvis 1 m og 4 meter fra sentrum av lageret.

Rapporten konkluderer med at leire er egnet til varmelagring, etter 3 års drift hadde de ingen store problemer. De viktigste erfaringene er samlet som nøkkeltall i **tabell 4**. Resultatene viser ikke tegn som sier at leire er uegnet til grunnvarmelagring i temperaturer opptil 70 °C. Etter bare 3 år med drift fikk de ikke sett alle langtidseffektene av et varmelager, men de fikk se noen tendenser. Rapporten anbefaler å plassere brønnparken

<b>Nøkkeltall Linköping</b>	
Anslått gjenvinningsgrad i leire for storskala anlegg	75-90 %
Avstand mellom brønner	1,5-2 m
Sesongtemperaturer	60-30 °C
Kollektortype	U-rør

*Tabell 4: Nøkkeltall fra Linköping.*

en god avstand fra større bygg. Grunnen til dette er randeffekter som redusert stabilitet og setninger. Totalt blir det anslått at tapene til et full-skala prosjekt vil være 10-25 %. For varmelageret anbefaler rapporten en avstand på 1,5 – 2 meter mellom brønnene.

## 2.6 ÅRLIG ENERGIFORBRUK , SVØMMEHALL OG

### IDRETTSHALL

**Tabell 5** viser hva SSB har anslått energibruken til svømmehaller og idrettshaller, gjennomsnittet for energibruk i tjenesteytende næringer var 226 kWh/m<sup>2</sup> (Abrahamsen & Bergh, 2008). En annen måte å oppgi energiforbruket til en svømmehall er i enten bruksareal (BRA) eller pr bassengareal.

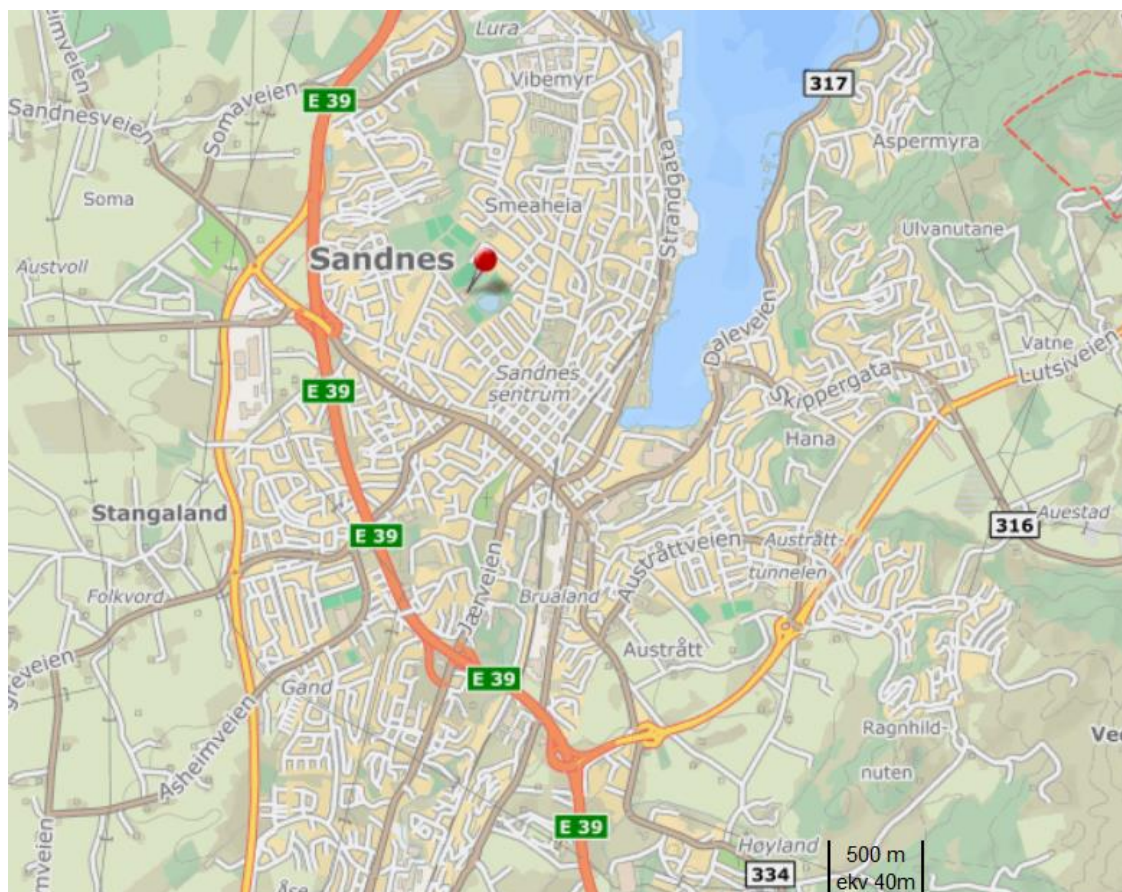
Svømmehaller krever mye energi til oppvarming og nedkjøling, energiforbruket er svært avhengig av størrelsen på bassenget og hvor mye bassenget blir brukt, det vil si besøkstimer. Jo flere besøkstimer, jo større varmetap. Energitalpet er knyttet til latent varme som går fra bassenget, dette varmetapet skyldes fordamping til lufta, og konveksjon til omkringliggende luft. Ved aktivitet i bassenget er det mer fordamping og konveksjon fra overflaten. Derfra vil varmen ligge som vanndamp i lufta, når lufta blir ventilert ut, går varmen tapt.

SSB – Gjennomsnittlig Energiforbruk	
Svømmehall	Idrettshall
300 kWh/m <sup>2</sup>	226 kWh/m <sup>2</sup>
500 kWh/m <sup>2</sup> BRA	-
4000 kWh/m <sup>2</sup> pr bassengareal	-

*Tabell 5: Energiforbruk til tjenesteytende bygg. Kilde: (Abrahamsen & Bergh, 2008).*

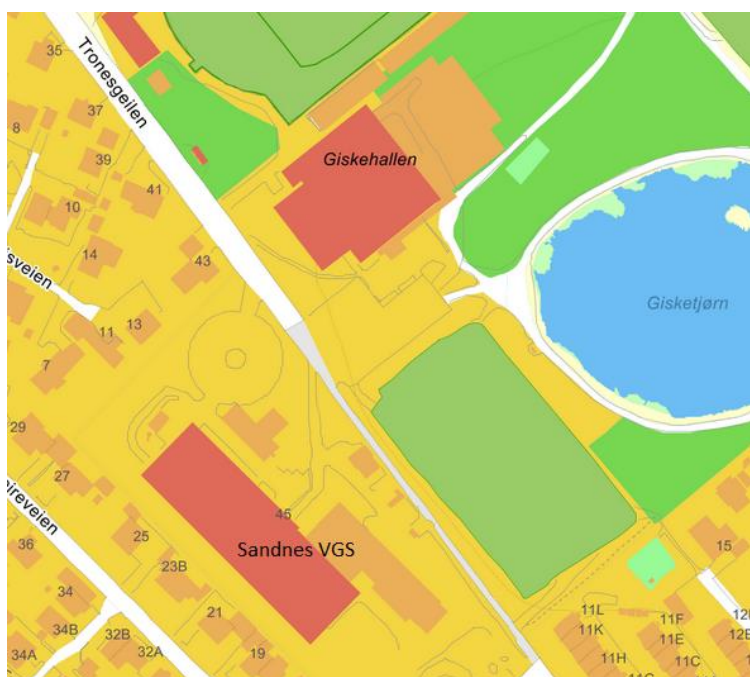
## 2.7 GISKEHALLEN

Giskehallen er en flerbrukshall, rehabilitert og utvidet med et nybygg som stod ferdig i 2016. Den ble oppgradert slik at den kan dekke andre behov. Bygget har svømmehall med 10x25 meter basseng, en idrettshall, styrketreningsrom og garderobes med badstue. **Figur 10** viser Giskehallens lokasjon i Sandnes, nord-øst for sentrum.



*Figur 10: Giskehallen merket med rød markør i Sandnes. Bildet hentet fra finn.no*

Flerbrukshallen ligger i Trones bydel i Sandnes kommune. **Figur 11** viser et oversiktskart av Giskehallen med Sandnes stadion som nærmeste nabo nordover, Sandnes videregående skole ligger sør og Gisketjernet ligger sør-øst for hallen. Deler av Giskehallen og skolen er merket i oransje, dette er nybygg som ble ferdigstilt i hhv 2016 og 2015. Sandnes vgs har elever som studerer studiespesialisering, forskerlinje og idrettsfag. I tillegg brukes hallen av idrettslag.



*Figur 11: Giskehallen med naboer. Hentet fra kattjenesten til Gulesider.*

## 2.8 ØKONOMI

### 2.8.1 Strømpris

Strømprisen er bestemt av flere faktorer.

$$\text{Total pris strøm} = \text{energipris} + \text{nettleie} + \text{avgifter} \quad (6)$$

Strømpris er kostnad pr energi, denne er avhengig av hva slags kontrakt forbrukeren har med energileverandøren. Kontrakten kan operere med fastpris, variabel pris eller markedspris. Nettleie betales til nettselskapet for transport av energien. Avgifter inkluderer merverdiavgift, forbrukeravgift og tilskudd til Enova (SSB, 2017).

Total pris for strøm til husholdninger var 100,4 øre/kWh ved 4. kvartal 2016. Av dette var kraftprisen 37,6 øre/kWh, nettleie var 27,9 øre og avgifter var 34,9 øre (SSB, 2017).

I mange kraftabonnementer er det en ekstra kostnad tilknyttet effektbruken, dette gjør spisslaster svært dyre. Ved å kunne ha en reserveløsning som kan dekke deler av spisslasten blir prisen redusert. Det kan også være en årlig avgift tilknyttet målepunkt for el-kjeler. Spisslaster om vinteren er dyrt å dekke av kun en el-kjel, da kan strømprisen nærme seg 2,00 kr/kWh.

### 2.8.2 Nettonåverdi

For å vurdere den økonomiske verdien i prosjektet brukes en nettonåverdiberegning. Metoden slår sammen investeringsutgiften og nåverdien av fremtidige kontantstrømmer. Netto nåverdi er gitt ved formel:

$$NNV = -U_0 + \sum_{t=1}^n \frac{K_t}{(1+R)^t} \quad (7)$$

Her er  $NNV$  netto nåverdi,  $U_0$  er investeringsutgiften,  $K$  er fremtidige kontantstrømmer av år  $t$ ,  $n$  er levetid og  $R$  er renten.



## 3 METODE

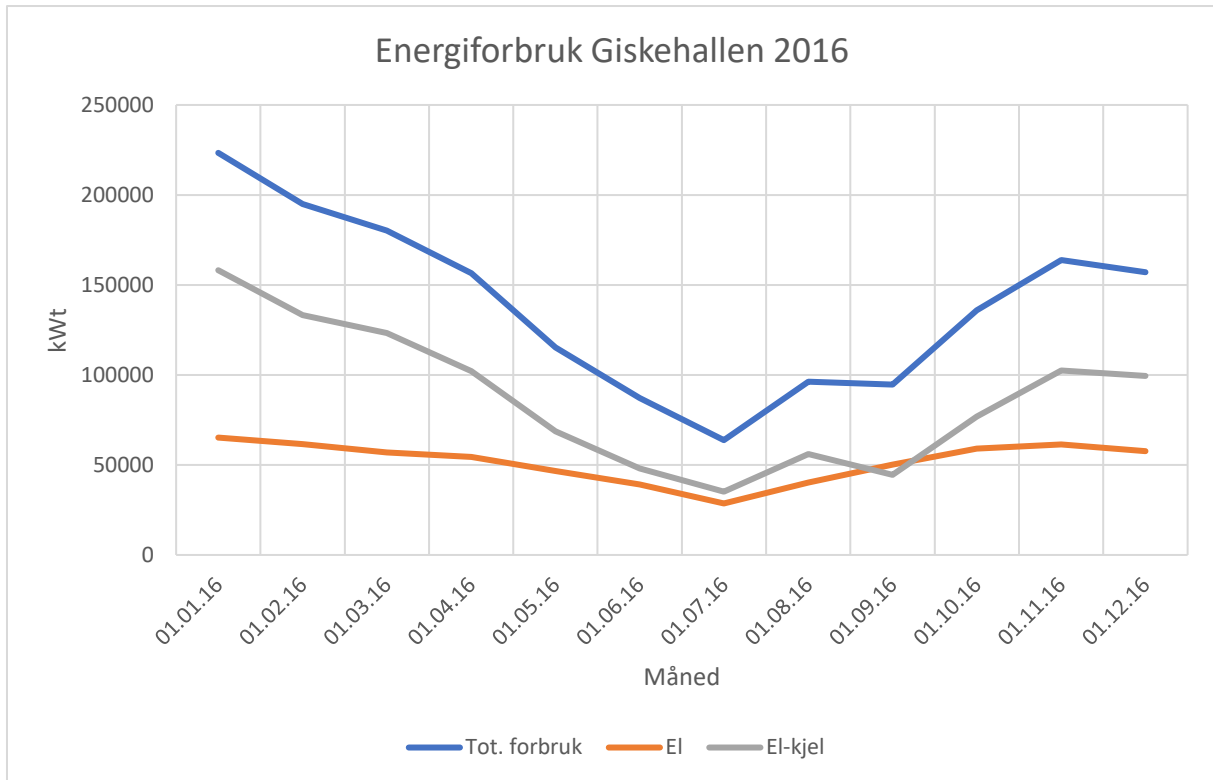
---

### 3.1 ENERGIFORBRUK GISKEHALLEN

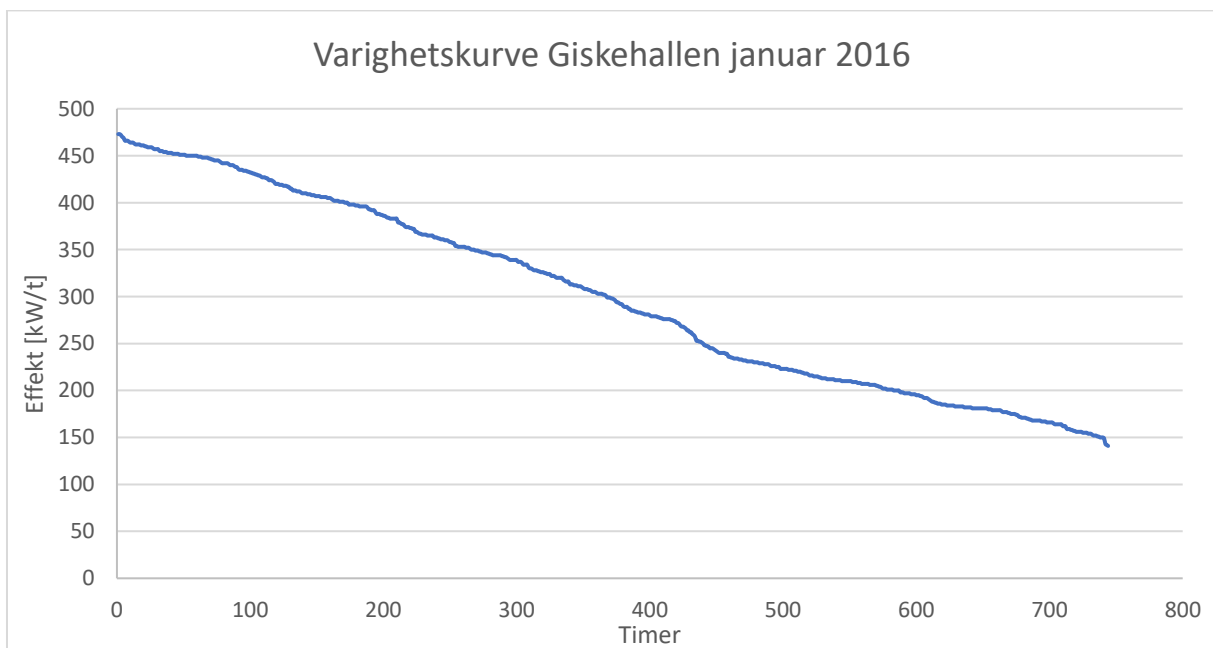
Giskehallens energiforbruk i 2016 er vist i **figur 12**. Figuren viser totalt energiforbruk og består av to deler, teknisk strøm og el-kjel til oppvarming. Teknisk strøm er til vifter, pumper, lys og annet. Totalt brukte hallen 1,67 GWh i 2016, av dette var 1,05 GWh til oppvarming og 0,62 GWh til teknisk strøm. Denne oppgaven skal se nærmere på energien brukt til oppvarming.

Januar er den måneden med høyest energiforbruk til oppvarming, etterfulgt av februar og mars. I januar brukte en 158 MWh, dette er 15% av hele årsforbruket, februar og mars brukte 133 MWh og 123 MWh. Juli hadde lavest forbruk og brukte 35 MWh til oppvarming, dette skyldes lite bruk av hallen. Gjennomsnittet var 87 MWh. Høst og vintersesongen fra oktober til april er forbruket totalt på 796 MWh. Disse syv månedene representerer 76 % av det totale energiforbruket til oppvarming.

**Figur 13** viser en varighetskurve for januar i 2016, det vil si at den viser de forskjellige lastene som var pr time i Giskehallen. Lastene består av teknisk strøm og oppvarming. Januar var den måneden med høyest forbruk, ved å undersøke varighetskurven kan en se de største lastene. Figuren viser at det er ca. 200 timer med en last over 400 kW, og de aller høyeste lastene er på 470 kW.



**Figur 12:** Totalt energiforbruk til Giskehallen for 2016, består av teknisk strøm og el-kjel.



**Figur 13:** Varighetskurve for Giskehallen i januar 2016, topplastene består av el-kjel og teknisk strøm.

Uke	Totalt forbruk [kWh]	Teknisk [kWh]	El-kjel [kWh]
10.01.16	56 525	15 476	41 049
17.01.16	52 793	15 304	37 489
24.01.16	53 274	15 156	38 118
31.01.16	44 922	14 568	30 354

*Tabell 6: Elektrisk forbruk til teknisk strøm og el-kjel etter uker i januar for Giskehallen.*

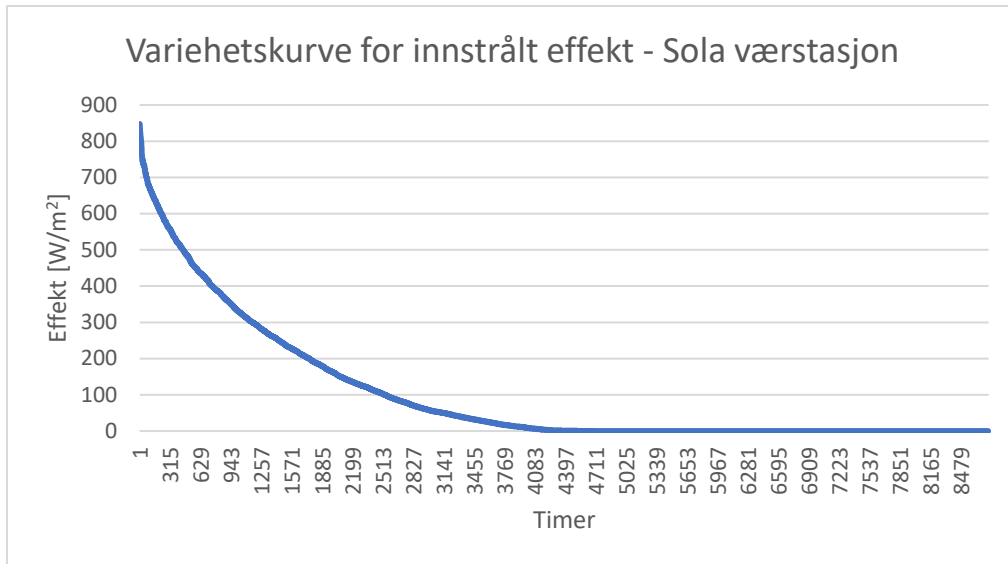
**Tabell 6** viser elektrisk forbruk i de første ukene i januar 2016. Den viser en gjennomsnittseffekt til el-kjel på 244 kW den første uka. Teknisk strøm er ganske konstant, men synkende. El-kjelen har et forbruk på 41 MWh den første uka og deretter fallende. Samlet bruker el-kjelen ca. 147 000 kWh. Dette er 191 000 kr på 4 uker med en strømpris på 1,30 kr/kWh som sannsynligvis er høyere.

## 3.2 KLIMA SANDNES

Sandnes ligger langs kysten på Sør-Vestlandet og har et typisk kystklima. Det betyr at sommeren og vinteren er relativt mild uten store temperaturredifferanser.

Gjennomsnittstemperaturen til Sola værstasjon nær Sandnes er 7,4 °C (Meteorologisk institutt, 2017). Gjennomsnittlig nedbør pr år er 1180 mm. I 2012 ble det målt 1355 mm fordelt på 253 nedbørsdager, hvor en nedbørsdag er et døgn med mer enn 0,1 mm eller mer (Statistisk sentralbyrå, u.d.). Jæren er utsatt for sterke vinder, for eksempel 27. desember 2016 ble det målt en vindstyrke på 24,6 m/s, dette tilsvarer full storm ifølge Beauforts skala. En slik vind kan gjøre skade på trær og hus (Dannevig & Harstveit, 2015), og kan derfor utgjøre en risiko for skråstilte solfangere.

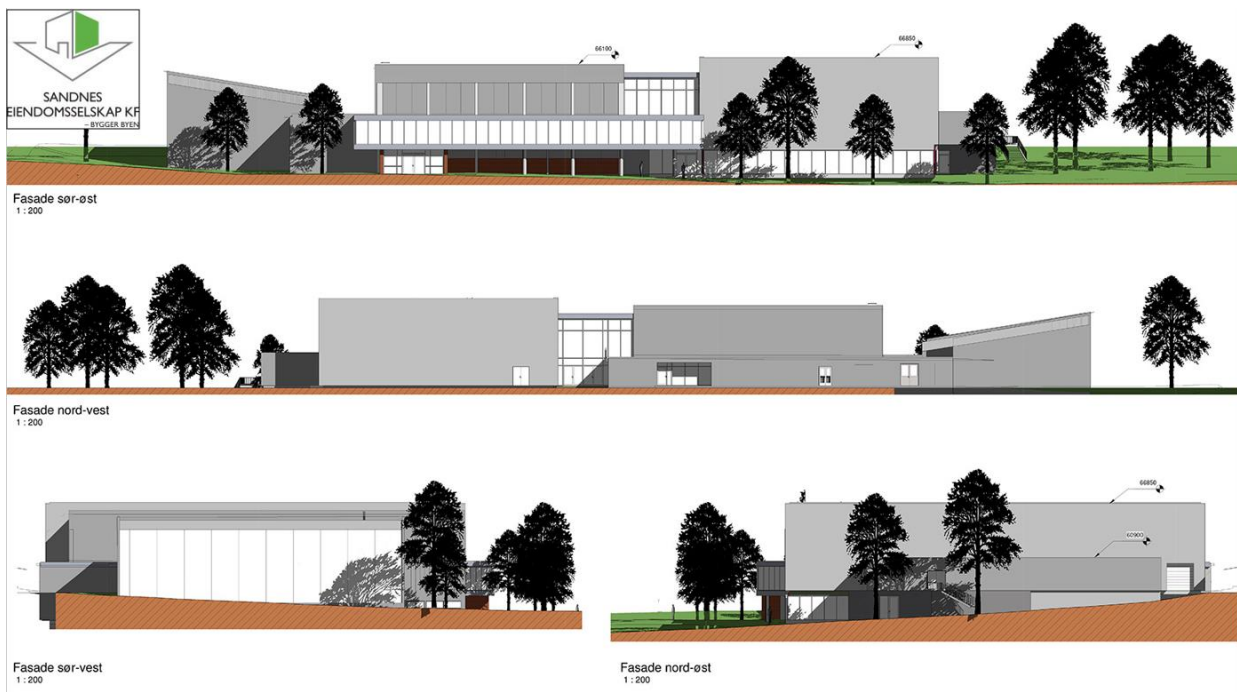
**Figur 14** viser en varighetskurve over innstrålt effekt for Sola værstasjon. Det er rundt 2500 timer med mer enn 100 W/m<sup>2</sup>, de høyeste målte verdiene er rundt 700 W/m<sup>2</sup> til 850 W/m<sup>2</sup>. Værdataene er hentet fra Meteonorm 7 fra Sola værstasjon, de viser en årlig innstråling på ca 900 kWh/m<sup>2</sup>. Meteonorm 7 er en database som inneholder værdata samlet fra værstasjoner over hele verden.



**Figur 14:** Varighetskurve for innstrålt effekt gjennom året. Data er hentet fra en værstasjon på Sola gjennom Metonorm 7.

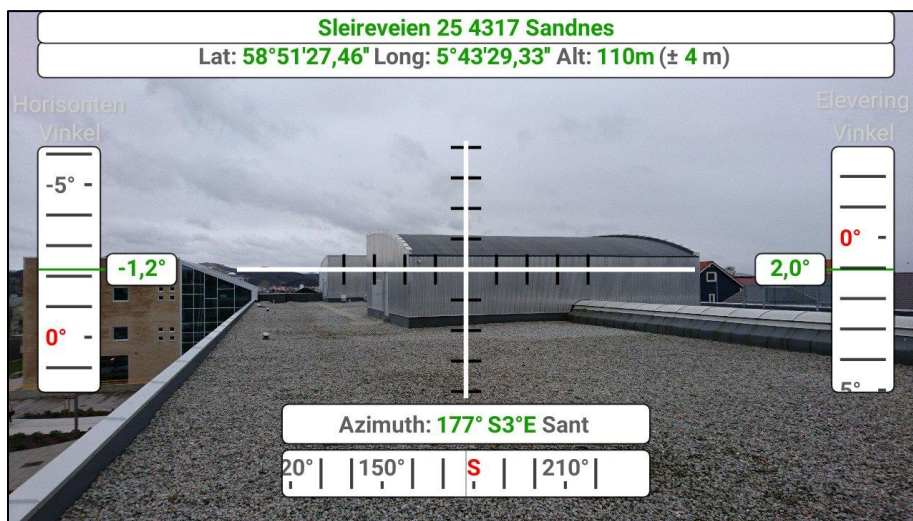
### 3.3 TAK OG FASADER – GISKEHALLEN OG SANDNES VGS

Fasadene til Giskehallen er vist i **figur 15**. Tegningen eies av Sandnes Eiendomselskap KF og arkitekten er Arkipartner.



**Figur 15:** Fasadene til Giskehallen med nybygg som var ferdig høsten 2016. Kilde: (SEKF, u.d.) arkitekt: Arkipartner.

Følgende bilder er fra takene på Giskehallen og Sandnes vgs. Bildene er tatt 20. mars med mobilkamera og Theodolite-appen. Theodolite-appen gir helning, koordinater og himmelretning i mobilkamera. Appen bruker en annen aziumth vinkel enn hva Duffie og Beckman (2013) har definert.



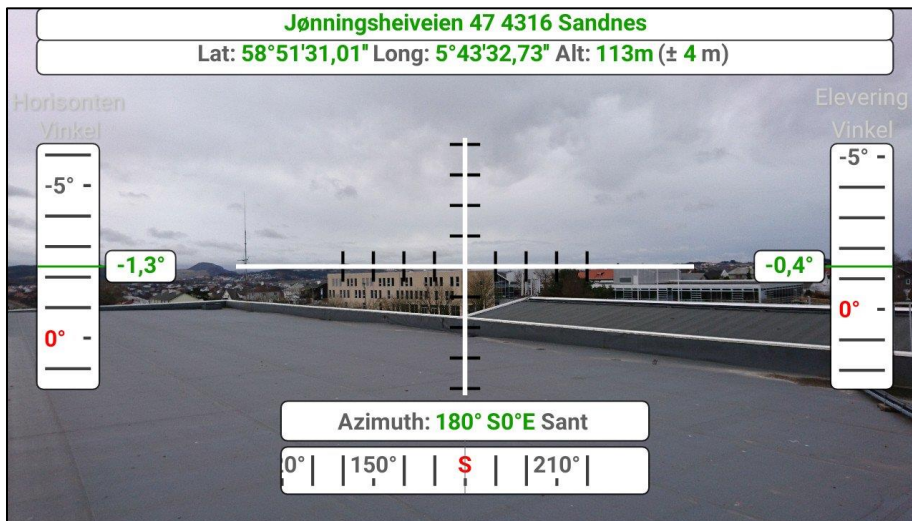
*Figur 16: Sandnes vgs, tak og ventilasjonsanlegg, tatt med Theodolite-appen som viser kompassretning.*



*Figur 17: Sandnes vgs, tak og ventilasjonsanlegg med vaktmester til forhold.*



*Figur 18: Giskehallen, østre tak i retning sør.*



*Figur 19: Giskehallen, vestre tak, Theodolite-appen viser sørover.*



*Figur 20: Giskehallen, vestre tak, retning sør-øst. Taket har en svak helning øst-vest.*



*Figur 21: Giskehallen, østre tak. Trærne til venstre i bildet er en skyggekilde.*

### 3.4 BESKRIVELSE AV PVSYST

Skygge har en virkning på hvor mye solvarme en får på en gitt lokalitet eller bygning. Simuleringsprogrammet PVsyst ble brukt til å simulere de største kildene til skygge og effekten av disse. Modellen har med de nærmeste og største skyggekildene i riktig posisjon i forhold til Giskehallen og Sandnes vgs. Giskehallen brukes som referansepunkt. Fasaden sør-øst på **figur 15** viser at solfangerne på taket til Giskehallen er utsatt for skygging fra skogen som står i øst. Fangerne lengst vest blir skygget av den høyere takhøyden som er øst for seg, disse står på skråtak og er gitt en helningsvinkel på 10°. Resten er gitt 0° ettersom de står på et tilnærmet flatt tak. På Sandnes vgs er det hovedsaklig bare ventilasjonsanleggene som

skygger. Størrelsen på byggene og vinkler er blitt funnet ved hjelp av googlemaps og Theodolite appen.

Det er ikke lagt inn aktuelle vegger og uteareal til solfangst, dette er viktige områder som kan representere en vesentlig energifangst.

## 3.5 Solfangere og dimensjonering

Takene på giskehallen er ikke sydvendt, men har en azimuth vinkel på  $-41^\circ$ , østover. Areal med plate solfangere kan stå med denne azimuth vinkelen uten helning for å bruke mest mulig av takarealet.

### 3.5.1 Energibærer

Energibærer er væsken som transporterer energien i anleggets rørsystem. Dette kan være rent vann, eller vann med tilsatt kjølemiddel, som for eksempel glykol eller etanol.

### 3.5.2 Dreneringssystem

Mange solfangeranlegg bruker et dreneringssystem, dette tilrettelegger for å bruke vann som energibærer. Prinsippet er å ha helning på alle rør, slik at vannet kan renne naturlig ut av anlegget og ned i en dreneringsstank. Fordeler er ført i **tabell 7**.

<b>Fordeler med drenering:</b>
Unngår frysing av energibærer
Unngår koking av energibærer
Ikke trykksatt system
Rimelige komponenter
Sikkert ved strømbrudd
Kan bruke vann som energibærer

*Tabell 7: Fordeler med drenering.*

Ved å bruke drenering blir anlegget forenklet og rimeligere. En unngår at energibæreren blir



liggende i solfangerne og utsatt for koking eller frysing ved pumpestopp. En kan programmere systemet slik at når temperaturen i lageret er høyere enn temperaturen som kommer inn, så vil pumpene slås av. En stor fordel er at en kan bruke vann som energibærer. Anlegget er ikke trykksatt, det gir et enklere system med rimelige komponenter.

## 3.6 BORETEKNIKK

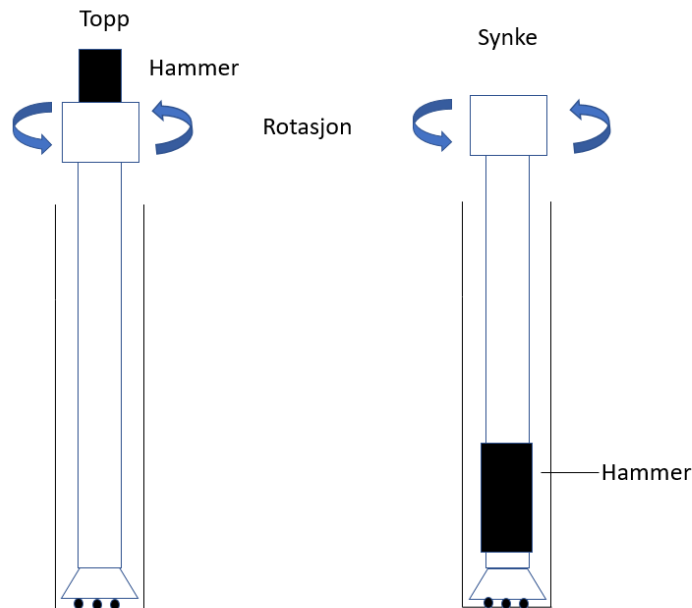
Det finnes mange metoder for boring. En velger boremetode tilpasset omstendighetene. Tradisjonelt borer en gjennom et løsmassesjikt og ned til fjell, det blir satt ned foringsrør i løsmassesjikt. Foringsrør forhindrer at hullet kollapser fra omliggende løsmasser. Foringsrør er oftest stål. Dette gjør boring i løsmasser 3-4 ganger dyrere enn boring i fjell (Ramstad, 2011). Pris for boring i løsmasse med foringsrør kan anslås til noe under 1000 kr pr meter.

Ved all boring er fjerning av materialet fra bunnen av brønnen til overflaten en viktig, derfor er mange boremetoder navngitt etter hvordan dette skjer (Veslegard & Simonsen, 2013). For eksempel spyle- og rotasjonsboring og slagboring med trykkluft.

Denne oppgaven skal se på noen av boremetodene som kan egne seg for boring i løsmasser.

### 3.6.1 Slagboring

Slagboring er en metode som bruker en hammer til å overføre energi ned til borekronen. Det er to måter, topphammer og synkehammer. En bruker hydraulisk drevet rotasjon av borekronen, pneumatikk til hammer og utblåsing av borkaks/løsmasse. **Figur 22** viser metodene.



*Figur 22: Slagboring med topphammer synkehammer.*

Topphammer bruker en mekanisk hammer på toppen av boreriggen til å overføre slagenergi borekronen i bunn. Her brukes trykkluft fra en kompressor til å transportere ferdig boret materiale fra bunnen og ut av hullet. Denne metoden har en begrensning på borediameter og dybde (Veslegard & Simonsen, 2013). En fordel er at metoden er velkjent og utbredt, og dette gir mindre usikkerhet knyttet til boringen. Den egner seg godt til å lage mange mindre hull rimelig. Boreriggen er relativt lett slik at den ikke påfører stor skade på område rundt seg. Boreddybde er rundt 50 meter og diameter på ca 90 millimeter.

Synkehammer overfører energien direkte til en hammer borekronen ved hjelp av en maskin som settes ned i hullet. Dette gir mange fordeler, som for eksempel lik slagenergi uavhengig av dybde, og slag nede ved borekronen som gir rettere hull, og dermed mindre borehullsavvik. Støtene fra synkehammeren blir påført ved trykkluft eller vann. Synkehammer kan ha en større diameter på borekronen og den kan bore dypere enn topphammer, typisk 50-150 meter (Veslegard & Simonsen, 2013).

### **3.6.2 Rammede stålrørspæler**

Stålrørspæler kan rammes i løsmasser som friksjonspæler. Det vil si at de holdes oppe av friksjon mellom pæloverflaten og omkringliggende masse (Haugstad, 2009). Åpne eller

lukkede stålrørspæler kan rammes effektivt ned av vibrasjonslodd ved homogene grunnforhold, de åpne pælene tømmes for løsmasse etter rammingen. Åpne pæler gir mindre massefortrenging og mindre rammemotstand (Imset & Rønning, 2015).

Utfordringer til ramming av pæler i leire er massefortrenging som kan forårsake økt poretrykk, forskyvninger og heving eller senking av terreng. Disse effektene kan gi setninger og redusert stabilitet i leiren som utgjør en risiko for nærliggende bygninger og fundamenter (Langford & Sandene, 2015).

### **3.6.3 Korrosjonsbeskyttelse**

Offeranoder festes til foringsrør av stål og beskytter mot korrosjon fra salter i løsmasse. Den består av et uedlere metall enn stål og vil korrodere, men beskytter stålet (Store norske leksikon, 2009).

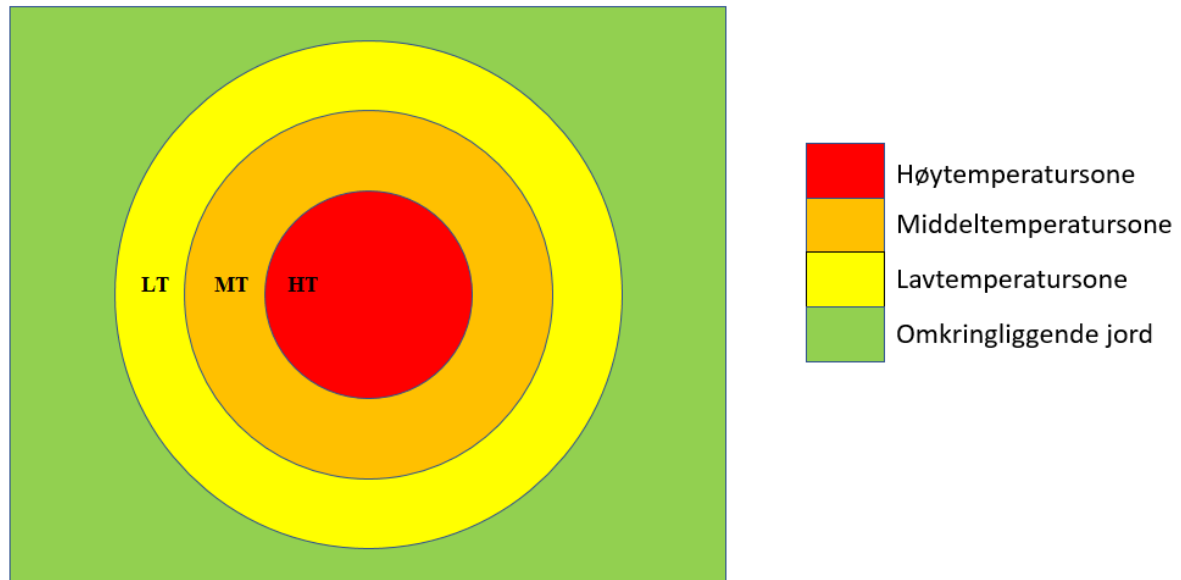
### **3.6.4 Dokumentering av boring**

Et behov knyttet til borehullsbransjen er god dokumentering av erfaring og grunnforhold. Boring kan ha en uønsket påvirkning på grunnen, og derfor etterlyses god rapportering fra all brønnboring og geoenergianlegg fra bransjen. Jose Acuna, geoenergispesialist ved Bengt Dahlgren AB og KTH, framhevet viktigheten av å dokumentere arbeidet underveis i geoenergibransjen ved geoenergiseminaret i Asker mars 2017.

## **3.7 BRØNNPARK UTFORMING**

Brønnparkens utforming er viktig for å optimalisere uttak og lagring. Energibærerens temperatur fra solfangerne kan variere, derfor er det naturlig å dele brønnparken inn i forskjellige temperatursoner. For eksempel tre soner: en høytemperatur i sentrum, rundt denne en middeltemperatursoner og ytterst en lavtemperatur sone. Dette er vist i **Figur 23**, ved å ha høyest temperatur innerst og lavest temperatur ytterst kan gradienten styres for å redusere varmetapet. Varmen vil alltid gå mot lavere temperatur, men tapet fra sentrum vil være et tilskudd til sonen utenfor.

En vil bare levere varme til soner som har en lavere temperatur enn energibæreren. Dersom sonen har en høyere temperatur vil en ikke sirkulere energibæreren i denne sonen, fordi da vil brønnen avgi energi til energibæreren.



*Figur 23: Enkel skisse av temperatursoner i en brønnpark sett ovenfra.*

### 3.8 DIMENSJONERING AV BRØNNPARK

Energien som blir tilført brønnparken blir bestemt av det termiske energibehovet til forbrukeren og gjenvinningsgraden til brønnparken.

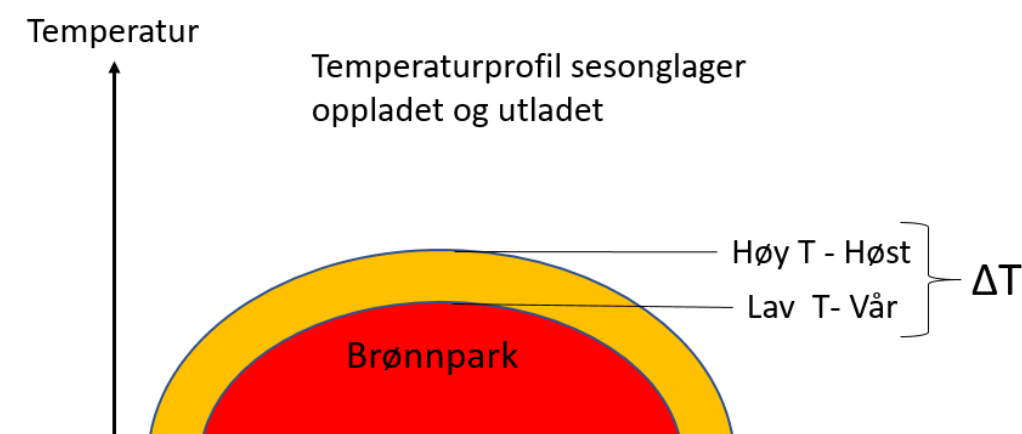
$$Q_{\text{tilført}} = \frac{Q_{\text{behov}}}{\text{gjenvinningsgrad}} \quad (8)$$

Her er  $Q_{\text{tilført}}$  energien levert til brønnparken for lagring,  $Q_{\text{behov}}$  er det termiske energibehovet til forbrukeren. Gjenvinningsgraden er andelen av som en får hentet ut igjen. En del av varmen går tapt til omkringliggende jord. Prosjektet i Drake Landing i Canada har en gjenvinningsgrad på 66 %. Linköping i Sverige gir derimot en forventning om en gjenvinningsgrad på 75 % - 90 % til en storskala brønnpark i leire.

Brønnparkens nødvendige volum:

$$V = \frac{Q}{C_v \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Her er  $V$  volum til brønnparken, altså volum som blir aktivt varmet opp av brønner.  $Q$  er energien som blir levert til brønnparken.  $C_v$  er volumetrisk varmekapasitet til lagringsmedium, og  $\Delta T$  er gjennomsnittlig temperatursvingning i det aktive lageret. Denne temperaturdifferansen er en valgt verdi, ved å velge en høyere verdi vil volumet bli mindre, men da må systemet tåle høyere temperaturer og temperatursvingninger. **Figur 24** viser en enkel skisse av temperaturdifferansen mellom høst og vår når parken er hhv oppladet og utladet.



*Figur 24: Enkel skisse av temperaturprofil ved høst og vår, for et løsmasselager*

Parkflaten til brønnparken kan finnes ved å bruke utregnet volum med formel:

$$A = \frac{V}{H} \quad (10)$$

Her er  $A$  parkflaten, det vil si overflaten til toppen av brønnparken.  $V$  er volumet til brønnparken,  $H$  er høyden til aktiv brønn.

Antall brønner blir bestemt etter hvilken avstand en velger mellom brønnene. I Drake Landing Solar community brukes det 2,25 meter mellom brønnene, mens fra Linkopig i Sverige anbefaler de en avstand mellom 1,5 – 2 meter mellom brønnene. Avstanden mellom brønnene kvadrert gir parkflate pr brønn. Ved å bruke formel (11) kan en finne antall brønner:

$$\text{Antall brønner} = \frac{A_p}{A_{pr.brønn}} \quad (11)$$

Her er  $A_p$  parkflaten og  $A_{pr. brønn}$  er parkflate pr brønn som er gitt av avstanden mellom brønnene kvadrert.

### 3.9 VARMETAP I BRØNNPARKEN

Varme vil alltid gå fra høy temperatur til lav temperatur, dermed vil det være en varmestrøm fra oppvarmet brønnpark til omgivelsene, dette vil representere tapet. Varmen vil gå mot omkringliggende jord og luft på toppen.

Det vil være enkelt å redusere varmetapet til luften ved å legge på isolasjon over brønnene.

Varmetapet i løsmasse kan uttrykkes med Fouriers lov, formel (1):

$$\dot{Q} = k A \frac{(T_{lager} - T_{omgivelser})}{\Delta x} \quad (1)$$

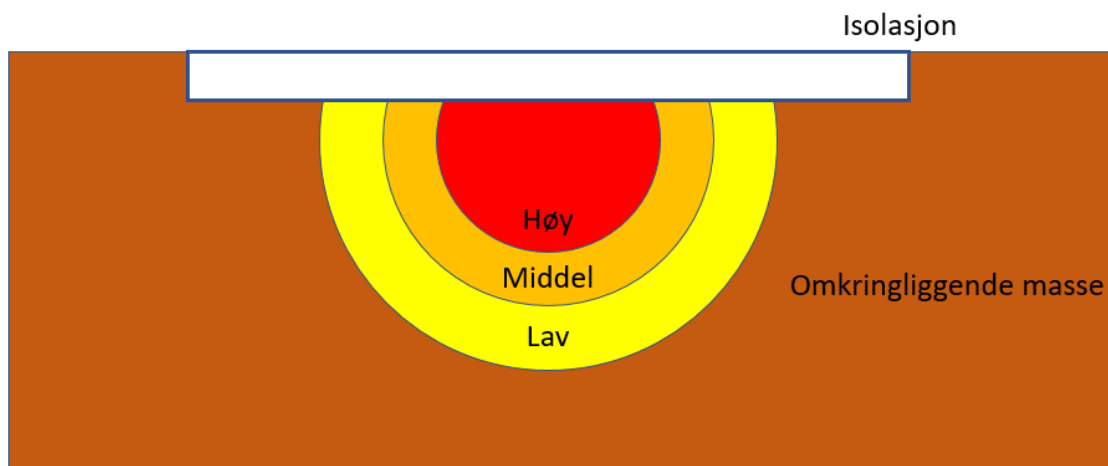
Her er  $\dot{Q}$  varmetap fra brønnparken,  $k$  er varmeledningsevnen til jorda og  $A$  er overflatearealet.  $T_{lager}$  og  $T_{omgivelser}$  er gjennomsnittstemperaturen i energilageret og omkringliggende jord. Her er  $\Delta x$  avstanden mellom området hvor gjennomsnittstemperaturen befinner seg og ut til omgivelsene. Denne formelen gjelder konduksjon, siden brønnparken står i leire som har lav permeabilitet er det naturlig å anta at den største delen av varmeledningen går gjennom konduksjon.

For å redusere varmetapet til omkringliggende jord vil en foretrekke formen til en sylinder eller sfæreformet brønnparken. Dette kommer av at en sfære er den geometrien som har størst volum i forhold til overflate. Altså størst volum til lagring og minst overflatekontakt med omkringliggende jord.

Forholdet mellom overflate og volum øker med radien. Det betyr at forholdet utvikler seg hele tiden med størrelsen og tapene blir dermed prosentvis mindre, derfor er store lagre fordelaktig i forhold til små. Geometrien for forholdet mellom volum og areal til en sfære er vist i formel:

$$\frac{Volum}{Areal} = \frac{4\pi r^3}{4\pi r^2} = \frac{r}{3} \quad (12)$$

Dette er formelen for volum og areal til en sfære og  $r$  er radien til sfæren. Det er en forenkling å se på lageret som en perfekt sfære, men det er i denne retningen brønnparkens temperaturprofil vil utvikle seg mot over tid. **Figur 25** viser et gjennomskåret snitt av en brønnpark sett fra siden med et lag isolasjon på toppen og temperaturprofiler som er utviklet over tid. Den rød er høy temperatur, oransje middel og gul er lav temperatur.



*Figur 25: Gjennomskåret snitt av en brønnpark med temperaturprofiler sett fra siden.*

### 3.10 TEMPERATURNIVÅER

Valg av temperatur i de forskjellige sonene i brønnparken er viktig. En lav temperatur gir ifølge **figur 4** en god virkningsgrad på solfangerne, dette er fordi temperaturdifferansen mellom luften og middeltemperaturen til solfangeren er mindre. En får også mindre varmetap fra rør og brønnpark, og lengre levetid på pumper. Ulempen med lav temperatur er at det er en lavere energikvalitet, temperaturdifferansen ved varmeveksling er lavere, det kan gjøre store effektuttak til en utfordring. Varmevekslerne må da være større, og dermed dyrere.

Temperaturnivåer for best drift er valgt etter energibehovet. En ønsker så lav temperatur som mulig, men som krav må brønnparken kunne levere høy effekt ut. Temperaturdifferansen er driver i en varmeveksling, den skal helst minst 10 °C. Bassengtemperaturen er 28 °C i Giskehallen, så her ønsker en å tilføre vann med ca 40 °C. Til idrettshallen vil nok 35 °C være tilstrekkelig til gulvvarme.

### **3.11 EFFEKTUTTAK**

Effektuttak er kritisk i sesonglagring, det må kunne levere en tilstrekkelig effekt ved behov. Derfor må utformingen av brønnparken være deretter. Faktorer som bestemmer avgitt effekt fra brønnparken er gitt i formel for konduksjon, det er temperaturdifferansen, termisk ledningsevne og brønnoverflate.

Temperaturdifferansen er driveren for effekt i konduksjon. Derfor er temperaturnivåene valgt i brønnparken viktig for effektuttaket til brønnparken.

Energibæreren i brønnparken vil inneholde en betydelig mengde energi hvis den har stått stille i en oppvarmet brønnpark. I en brønn på 50 meter med 140 mm indre diameter vil det være 770 liter oppvarmet energibærer. Dette er effektberedskap.

Varmepumper i fjell kan hente opp mellom 25 - 40 watt pr meter kollektor/aktiv brønn, her er temperaturforskjellen på energibærer og omkringliggende fjell bare noen få grader eller mindre. Varmeledningsevnen til leire er lavere enn fjells, men leire egner seg bedre til å holde på høyere temperaturer.



## 4 RESULTAT

---

### 4.1 SOLVARME

**Figur 26** fra PVsyst viser Giskehallen i senter og Sandnes vgs i sør. Egnede solfangerareal er merket i lyseblått, svømmehallen med skrått tak er rødt. Totalt er det et modulareal på 3775 m<sup>2</sup>, 2243 m<sup>2</sup> på Giskehallen og 1532 m<sup>2</sup> på skolen. Byggene har en azimuth vinkel på -41° østover. Solfangerne er satt i samme azimuth vinkel som taket for å bruke mest mulig takareal. Rapporten fra PV-syst gir en innstråling:

$$E_{\text{innstrålt}} = 876,3 \text{ kWh/m}^2.$$

Tar en i betraktning helning på solfangerarealet på svømmehallen som står med 10° helning og skygging fra trær og bygninger, blir innstrålingen:

$$E_{\text{innstrålt}} = 816,2 \text{ kWh/m}^2.$$

Totalt utgjør skygge et tap på 6,9 % av den totale innstrålingen. Dette skyggetapet varierer over året, i desember er det ett skyggetap på 16 % mens i juni er dette på 6,0 %.

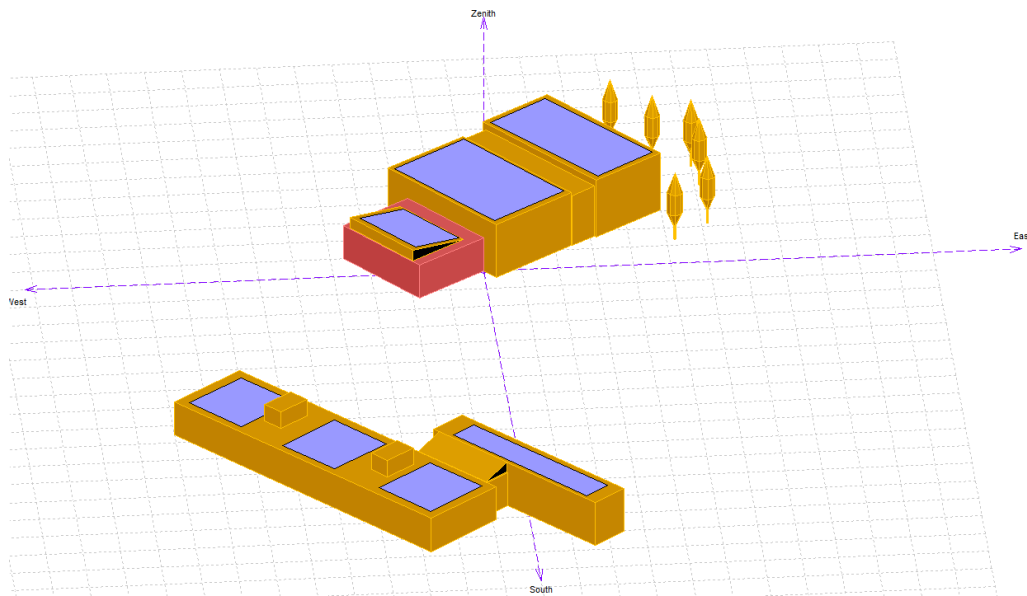
En antatt gjennomsnittlig virkningsgrad på 50 % gir en forventet høstet energi:

$$E = 408,1 \text{ kWh/m}^2$$

Modularealet er 3775 m<sup>2</sup>, dette gir ca 3400 m<sup>2</sup> effektivt solfangerareal dersom en antar et effektivt solfangerareal på 90 %. Da blir totalt forventet energifangst på:

$$Q = 1,39 \text{ GWh}$$

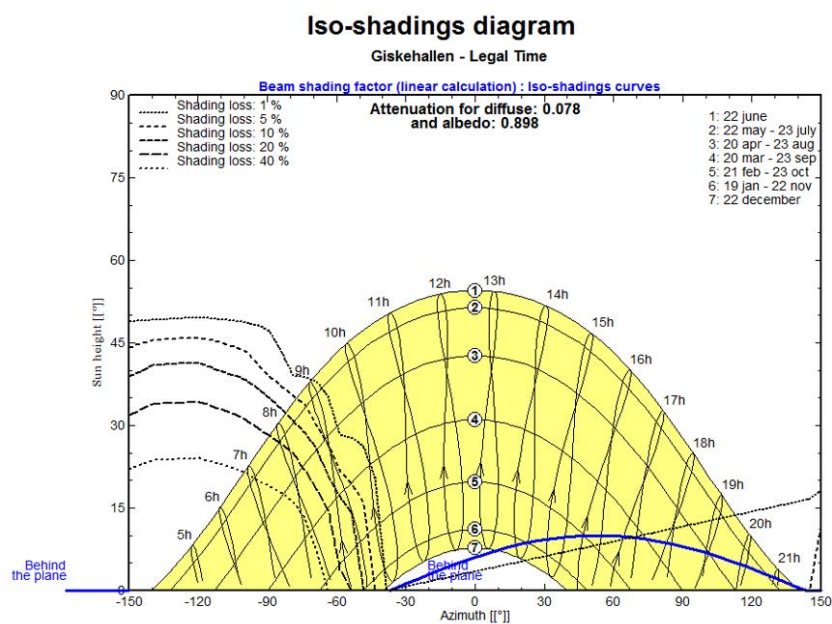
Dette er uten bruk av vegger, fasader eller bakkearealer.



**Figur 26:** PV-syst modell med tilgjengelig solfangerareal på Giskehallen i sentrum og Sandnes vgs i sør.

## 4.2 SKYGGELEGGING

Solfangerne fra **figur 26** er utsatt for skygge. Trærne øst for Giskehallen og ventilasjonsanleggene på Sandnes vgs er de største kildene til skygge. Solfangerne montert på skråtaket til Giskehallen, rødt bygg, har en vegg i øst som skyggekilde. **Figur 27** viser et skyggekart for solfangerne. Den viser 20 % skyggetap fram til klokka 0800 tilnærmet året rundt, dette skyggetapet reduseres gradvis fram til klokka 0900 hvor tapet er mindre enn 1 %. Det er også et skyggetap tilknyttet sola som forsvinner bak horisonten om kvelden. Skyggelegging representerer et tap om morgen og litt kveld, men er ikke et tap midt på dagen om sommeren når energifangsten er størst.



*Figur 27: Skyggerkart for solfangerne fra Figur 26, fra PVsystem.*

## 4.3 SOLFANGERE

Helning er tenkt til å være 5° øst-vest på annen hver solfangerrekke. Det vil gi tilnærmet samme innstråling som horisontale. En slik helning skal være tilstrekkelig for å bruke et dreneringssystem som tillater vann som energibærer. De viktigste kravene til solfangere er skrevet i **tabell 8**.

<b>Krav til solfangere</b>
Effektive – fanger mye varme
Vann som energibærer
Lavt trykkfall
Enkel montering
Rimelig pris
Estetisk ok

*Tabell 8: Krav til solfangerne.*

## 4.4 DIMENSJONERING AV BRØNNPARK

Med erfaring fra Drake Landing Solar Community og Linköping i Sverige velges en gjenvinningsgrad på 66 %. For å dekke dette behovet må det bli tilført 1,59 GWh. Da blir størrelsen på brønnparken beregnet med formel 9 og vist i **tabell 9**.

Temperaturdifferanse over sesonger, $\Delta T$ [K]	Volum park [m <sup>3</sup> ]
20	114 000
25	91 000

*Tabell 9: Volum for brønnpark med varierende temperaturdifferanse.*

Gitt en aktiv brønnnydby på 50 meter pr brønn, blir parkflaten gitt fra formel 10. **Tabell 10** viser parkflate med varierende nødvendig volum.

Volum brønnpark [m <sup>3</sup> ]	Parkflate [m <sup>2</sup> ]
114 000	2280
91 000	1820

*Tabell 10: Parkflate mot volum av brønnpark.*

Ved å bruke erfaring og anbefalinger fra DLSC og Linköping blir antall brønner gitt med formel 11 og er vist i **tabell 11**.

Parkflate [m <sup>2</sup> ]	Avstand mellom brønner [m]	Parkflate pr brønn [m <sup>2</sup> ]	Antall brønner
2280	2	4	570
2280	2,25	5,1	447
2280	2,5	6,25	365
1820	2	4	445
1820	2,25	5,1	357
1820	2,5	6,25	291

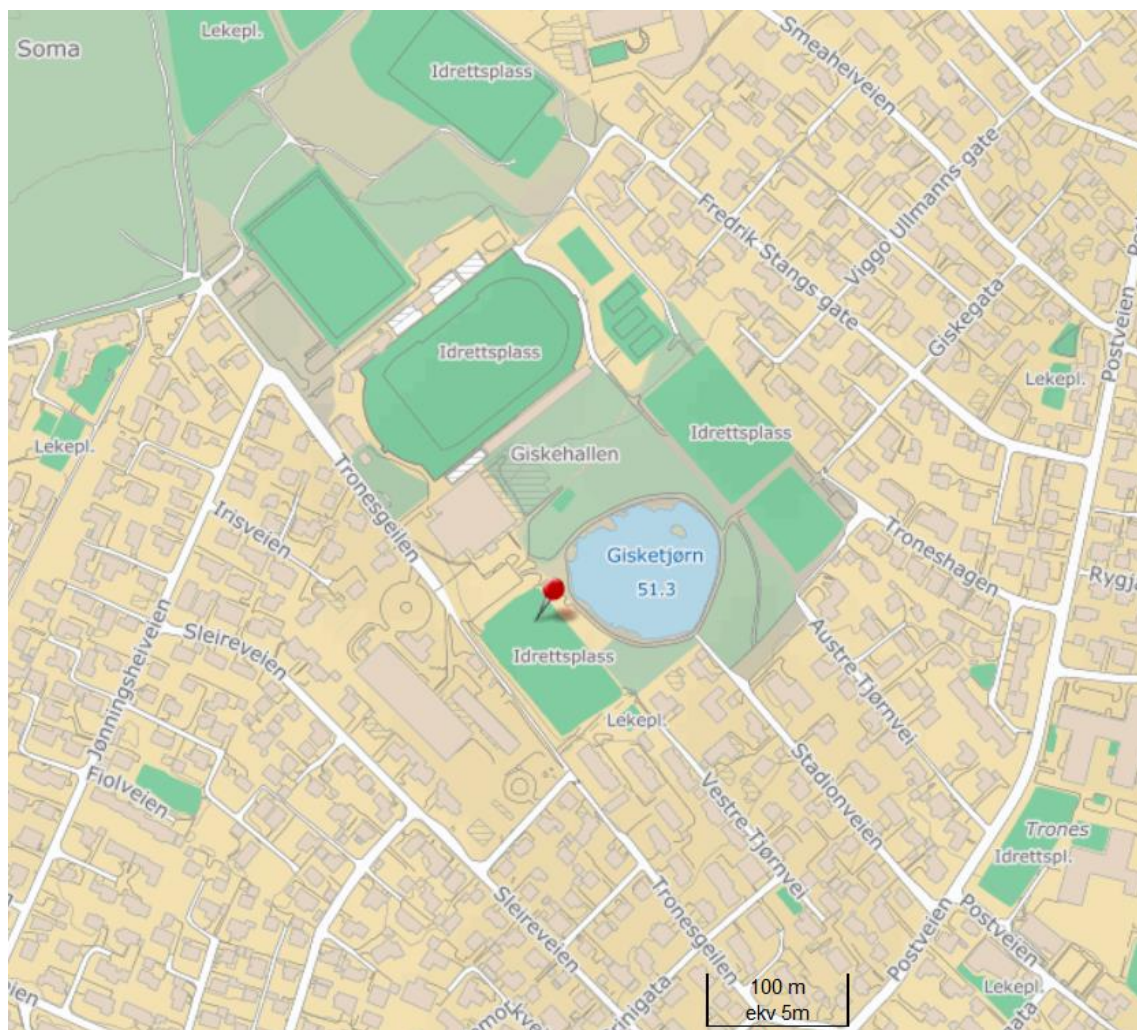
*Tabell 11: Antall brønner gitt av parkflate og avstand mellom brønner.*

#### 4.4.1 Brønnparkplassering

Brønnplassering blir foreslått på en idrettsbane sør for Giskehallen vist i **Figur 28**.

Brønnparken vil da være sør for Giskehallen, øst for Sandnes vgs og vest for Gisketjernet.

Sandnes vgs og Giskehallen vil ligge rundt 50 meter fra kanten av brønnparken. Det er viktig at randeffekter som synk ikke når noen av byggene. Ved å bruke riktig isolasjon kan det være mulig å fremdeles bruke idrettsbanen.



*Figur 28: Foreslått brønnplassering merket med rød markør. Bildet hentet fra Finn.no*

#### 4.5 LEIRE SOM LAGRINGSMASSE

Det høye vanninnholdet gir leire en relativ høy volumetrisk varmekapasitet i forhold til alternativet fjell. Høy varmekapasitet er fordelaktig på den måten at det reduserer nødvendig volum på lageret. Det betyr også at lageret inneholder mye energi pr kelvin, en utfordring kan

være at det er mye energi en ikke får hentet ut av lageret når temperaturen er for lav. Oppladningstiden er lengre fordi en må tilføre mer energi før en når den ønskede temperaturen overalt i lageret.

Leires varmeledning er  $0,85 - 1,10 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , dette er under halvparten til fjells. Varmeledningen er en faktor for varmetapet fra en brønnpark. Dette gir leire som lagringsmasse en fordel framfor fjell, fordi varmetapet er betydeligere mindre. På en annen side er god varmeledningsevne viktig når en henter ut og tilfører effekt til brønnparken. Her kan en kompensere for leirens lavere ledningsevne ved å sette brønnene tettere.

Termisk diffusjon til leire er relativt lav, tre til ti ganger lavere enn til fjell. Det betyr at varme som tilføres leire lagres i større grad enn i fjell, hvor en større andel varme vil bli ledet bort gjennom konduksjon. Dette gjør det lettere å lagre høy temperatur i leire.

Leire har en lav permeabilitet og et høyt vanninnhold, dette fremmer konduksjon framfor konveksjon. Dette skiller leire sterkt fra fjell, fjell kan ha sprekker og dermed inneholde horisontale vannstrømmer som kan ta varme bort fra lageret.

Leire er partikler med kornstørrelse mindre enn  $0,002 \text{ mm}$ , dersom jord inneholder mer enn  $15 \%$  slike partikler gis hele jorda navnet leire. Dette er fordi leire gir et sterkt preg på jorda og en får leire egenskaper. Leire kan inneholde lag med silt, grus og større steiner, og disse har ikke de samme termiske egenskapene som leire.

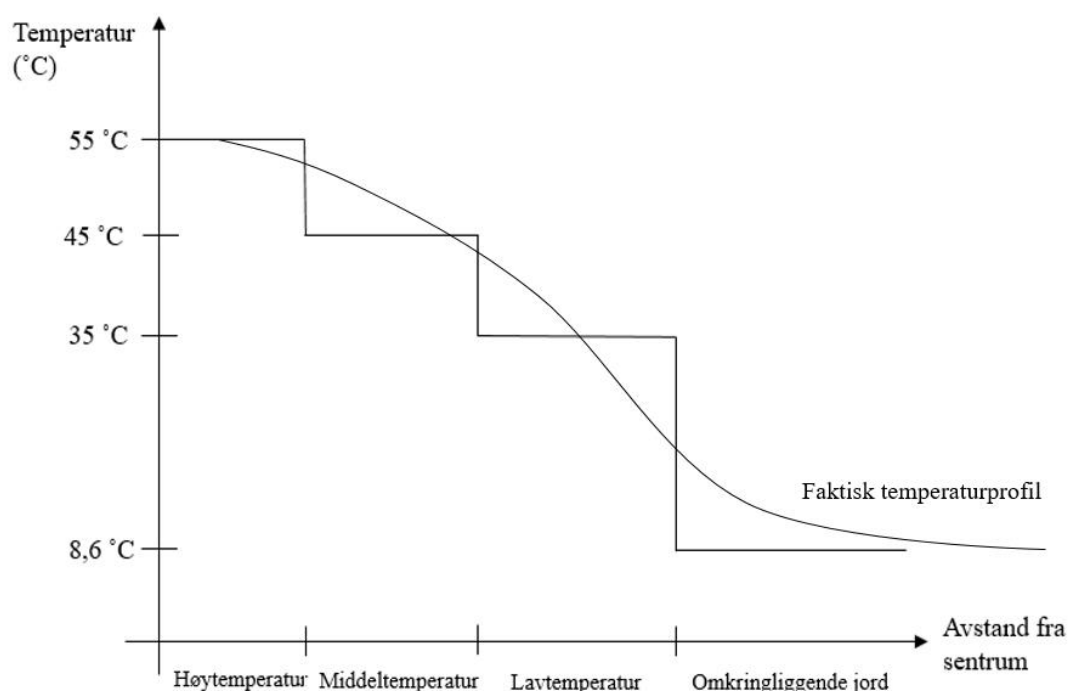
Resultatene fra Linköping i Sverige viser små endringer i leires termiske egenskaper ved oppvarming. De viktigste endringene er synk, økt poretrykk og en redusert stabilitet.

## **4.6 ETABLERING AV ENERGIBRØNNER**

Rammede stålrør er valgt som foretrukket boremetode. Åpne stålrør kan rammes effektivt ned gjennom løsmassene med vibrolodd, deretter tømmes de for løsmasser og tettes i bunn. En grunnundersøkelse vil si mer om hva slags grunnforhold det finnes. Er det ikke homogene masser trengs det andre typer lodd. Stålrøret fylles med vann og fungerer som både foringsrør og koaksial-kollektor. Offeranoder brukes på stålrøret for beskyttelse mot korrosjon.

## 4.7 TEMPERATURNIVÅER

Temperaturnivåer foreslått i temperatursonene vises i **figur 29**. Temperaturen innerste ring er 55 °C, midterste 45 °C og 35° C i ytterste ring. I praksis vil temperaturprofilen få en klokkeform, dette er på grunn av en kontinuerlig varmestrøm fra brønnparken. Om våren etter utladning er det beregnet at temperaturene har sunket i gjennomsnitt med 20 °C. Temperaturen til omkringliggende jord vil starte på gjennomsnittlig lufttemperatur.



*Figur 29: Temperaturnivåer i de forskjellige sonene i brønnparken.*

## 4.8 FORSYNING – FRA SESONGLAGER TIL GISKEHALLEN

Distribusjon av varme vil gå gjennom en energisentral hvor en kan overvåke driftssituasjon og historikk. Energisentralen samler pumper, ventiler, dreneringstank og styringssystem. Den kan være et lite utbygg eller bare et eget rom i Giskehallen. Distribusjonen installeres på eksisterende anlegg for vannbåren varme i Giskehallen og eventuelt på Sandnes vgs.

## 4.9 PRIS OG NÅVERDIANALYSE

Et prisoverslag er gjennomført, prisene er hentet fra Enova, Eivind Groven i Veidekke og Wilhelm Huus-Hansen i Anergy. **Tabell 12** viser at en stor andel av kostnadene ligger i boring med foringsrør og solfangerne.

<b>Kostnader</b>					
		Pris pr	Pris	Antall stk	Beløp
Solenergi	Solfanger	m <sup>2</sup>	kr 1 600.00	3400	kr 5 440 000.00
Brønner	Boring med foringsrør	m	kr 1 000.00	300 av 50m	kr 15 000 000.00
System	Rør	m			kr 100 000.00
	Pumper	stk			kr 30 000.00
	Styringssystem	stk			kr 250 000.00
	Energisentral m/ innhold	stk			kr 150 000.00
	Drainback-tank	stk			kr 10 000.00
	Montering	arbeids timer	700 kr pr time		kr 3 000 000.00
Insentiver/støtte	ENOVA				maks 50 %
SUM uten støtte					kr 23 980 000.00

*Tabell 12: Prisoverslag av kostnader systemet. Kilder: (Groven, 2017), (Hus-Hansen, 2017), (Enova, u.d.).*

Årlige kostnader for dagens el-kjel i Giskehallen er vist i **tabell 13** (Nyman, 2017).

<b>Årlige kostnader EL-kjel</b>				
	Pris pr	Pris	Antall stk	Beløp pr år
El-kjel	kWh	kr 1.30	1 050 000	kr 1 365 000.00
Målepunkt	stk	kr 18 800.00	1	kr 18 800.00

*Tabell 13: Årlig kostnader til el-kjel. Kilde (Nyman, 2017).*

Nettovårdianalysen i **vedlegg** viser en nettonåverdi med en diskonteringsrente på 5 % på -3 514 035 kr etter 30 år. Investeringskostnaden er satt til 20 millioner kroner. El-prisen er antatt 1,30 øre/kWh.



## 5 DISKUSJON

### 5.1 SOLFANGERE

Det er valgt en øst-vest helning på solfangerne på  $5^\circ$  for å tilrettelegge for drenering. De vil ha tilnærmet samme innstråling som horisontale. **Tabell 14** viser innstråling pr kvadratmeter.

Fordelen med å bruke solfangere med liten helning er at en får brukt mer tilgjengelig takareal.

Det er størst energifangst i sommermånedene når sola står høyt og innstrålingen står mer normalt på horisontale solfangere.

Innstråling pr $m^2$	Azimuth ( $0^\circ$ )	( $-41^\circ$ )
Helning ( $0^\circ$ )	881 kWh/år	881 kWh/år
( $41^\circ$ )	1080 kWh/år	1031 kWh/år

*Tabell 14: Årlig innstråling pr  $m^2$  etter azimuthvinkel og helning.*

Optimal helning for størst fangst over et år er  $41^\circ$  ifølge PVsyst. Er solfangerne rettet mot sør gir det 1080 kWh/ $m^2$  pr år, en azimuth vinkel på  $-41^\circ$  reduserer innstrålingen til 1031 kWh/ $m^2$  pr år. Uten helning er den årlige innstrålingen 881 kWh pr kvadratmeter. Ved å velge solfangere med helning vil en trenge færre solfangere, dermed blir anlegget rimeligere, men kan være mer utsatt for skader fra vind. En rekke med solfangere med stor helning vil skyggelegge et område bak dem, dette skyggete område får en ikke utnyttet.

I denne oppgaven er det i hovedsak vurdert takareal til fangst av solenergi. Vegger og bakkeområder kan også bidra med en betydelig andel.

### 5.2 DIMENSJONERING AV BRØNNPARK

Beregnet volum for brønnparken brukes en volumetrisk varmekapasitet til leire på  $0,7 \frac{kWh}{m^3K}$ .

Dette er en lav verdi, leire har en verdi på  $0,74 - 0,86 \frac{kWh}{m^3K}$ . Verdien 0,7 er valgt fordi det er en usikkerhet til andelen leire, det kan være lag med silt som reduserer varmekapasiteten.

Varmekapasiteten til silt er mellom  $0,57 - 0,79 \frac{kWh}{m^3K}$ . Dermed kan lagervolumet være overdimensjonert for leire.

Gjenvinningsgraden er antatt 66 % fra DLSC, denne kan være for liten. Fra Linköping i Sverige har gjenvinningsgraden for et sesonglager i leire blitt anslått til å være 75 – 90 %. Dette kan da bety at lageret er overdimensjonert.

Det årlige energiforbruket til Giskehallen er 1,05 GWh, mens forbruket i vinterhalvåret oktober til april bruker 0,796 GWh. I sommerhalvåret vil solfangerne kunne levere varme til direkte forbruk samtidig som den lader opp brønnparken. Dette kan bety at lageret er overdimensjonert, det er ikke nødvendig å hente opp 1,05 GWh fra lageret, ettersom deler av forbruket kan bli dekket direkte fra solfangerne. En brønnpark som er litt for stor kan fungere som en sikkerhet i tilfellet en sommer med lite innstråling.

Energiforbruket til Giskehallen er tall fra 2016, tallene tar ikke høyde for årlige variasjoner. Fra vår 2015 til august 2016 ble Giskehallen utbygget med en flerbrukshall.

Et for lite lagervolum kan bety at lageret ikke klarer å levere nok energi over vinteren.

Et for stort lagervolum vil bety større kostnad og lenger oppladningstid.

### 5.3 EFFEKTUTTAK

Det er usikkerhet knyttet til effektuttaket, men den kritiske verdien brønnparken må kunne levere er 244 kW som er gjennomsnittslasten den første uka i januar. Dette vises med et eksempel i Tabell 16, en setter ønsket effekt ut kritisk høy:

Effekt ut	300 kW
Temperaturdifferanse	5 – 10 K
Brønndiameter	140 mm
Kontaktflate pr meter brønn	0,44 m <sup>2</sup>
Kontaktflate pr 50 meter brønn	22 m <sup>2</sup>
Kontaktflate til 300 brønner	6600 m <sup>2</sup>
Dette gir effekt/kontaktflate	45,5 W/m <sup>2</sup>
Effekt pr meter brønn	20 W/m

*Tabell 15: Regneeksempel for effektuttak.*

Eksempelet gir 20 W/m, som er et rimelig resultat. En kan dermed anta at brønnparken kan levere denne effekten uten problemer, ettersom varmepumper i fjell kan hente ut 25-40 W/m

brønn med en mindre temperaturdifferanse. Å øke diameteren på brønnene er et tiltak som kan øke kontaktflaten, og dermed redusere antall brønner. Det er rimeligere å øke diameteren på pælen enn å øke antall brønner. Effektuttak kan også forbedres med å ha en høyere temperatur i brønnparken.

## **5.4 OPPLADNINGSSFASEN**

I oppladningsfasen blir lageret varmet opp til de målsatte temperaturene. Dette kan ta 2-4 år å bare bruke solenergi. Systemet vi har gode driftsbetingelser i denne perioden, det vil være et lavt varmetap og solfangerne vil levere med god virkningsgrad. Over tid vil varmetapet øke og virkningsgraden til solfangerne synke. DLSC nådde en dekningsgrad på over 95 % det 5. året.

Sandnes vgs har installert vannbåren varme, og skal kobles på fjernvarmenettet som bygges ut av Lyse, det skal gå øst for Giskehallen. Fjernvarmen skal være klar til å levere ved 4. kvartal 2018 (Nyman, 2017). Dermed kan det være en mulighet å bruke fjernvarme til oppvarming av brønnparken i oppstartsfasen slik at oppladningstiden blir redusert.

## **5.5 SETNINGER OG RANDEFFEKTER I LEIRE**

Både temperaturendring og ramming av pæler kan føre til redusert stabilitet og synk i leire. Det kan forventes et synk på under 10 – 20 cm i store prosjekter (Groven, 2017). Et slikt synk kan gjøre skader på bygg i nærheten, derfor er det viktig å ha god avstand mellom brønnparken og bygninger. I Linköping ble det observert større synk for varmelageret som holdt konstant 70 °C enn i sesonglageret (Gabrielsson, et al., 1997).

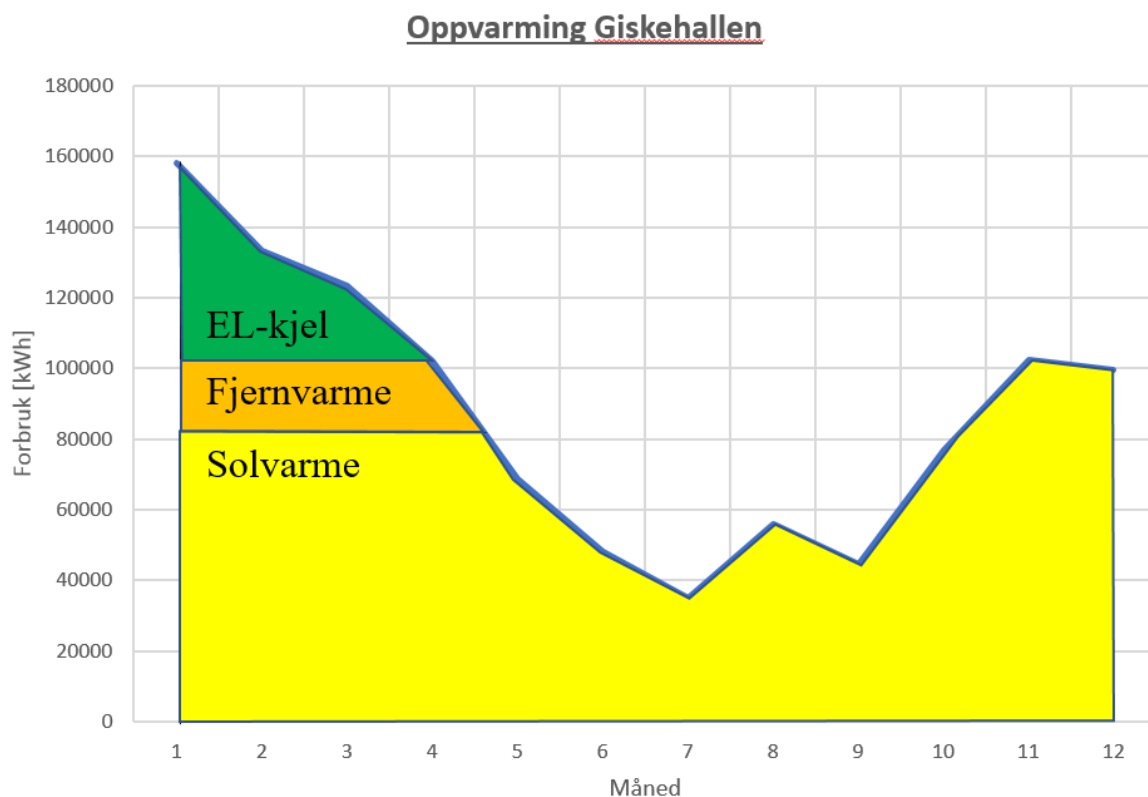
## **5.6 RISIKO - KVIKKLEIRE**

Kvikkleire er en type leire som har en løs kornstruktur, belastning eller inngrep kan føre til at gitterstrukturen kollapser som fører til skred eller utgliding. Dette gjelder marin leire hvor kornstrukturen har vært stabilisert av salter. Marin leire kan utvikle seg til kvikkleire etter år med utvasking fra grunnvann. Da vasker grunnvannet bort saltene som stabiliserer leiren, og

leiren blir kvikk (NGU, 2015). Kvikkleireskred kan forebygges ved å blande inn salter, slik blir leiren hardere og mer stabil. Ved utbyggingen av nye E6 i Trondheim bygges det på kvikkleire, her stabiliseres grunnen med sement og kalk i 44 000 borehull, 25 meter dype med diameter på 60 cm (Lervik, 2016).

## 5.7 SESONGLAGERETS DEKNINGSGRAD

Et viktig spørsmål er hvilken energidekningsgrad en ønsker fra brønnparken. DLSC har hatt 100 % solenergi til oppvarming i 2015-2016, med en gassbrenner i reserve (Drake Landing Solar Community, u.d.). Det er mulig å dimensjonere anlegget til å dekke mindre enn 100 % av oppvarmingsbehovet. Andre aktuelle kilder til oppvarming er el-kjelen eller fjernvarme. Et eksempel for hvilke kilder som kan bli brukt til oppvarming av Giskehallen er vist i **Figur 30**, med forbrukstall til oppvarming fra 2016. Eksempelet viser at det blir brukt fjernvarme og el-kjel i vintermånedene januar til mars for å dekke topplastene, om høsten er sesonglageret oppladet og kan levere høye effekter uten hjelp fra andre kilder.



*Figur 30: Eksempel av bruk av forskjellige kilder til oppvarming av Giskehallen.*

Det vil være behov for en el-kjel de første årene mens brønnparken lades. Etter dette vil behovet for en el-kjel være mindre. Brønnparken kan levere varme opp til 55 °C om høsten og rundt 35 °C om våren. El-kjelen kan brukes til å varme opp de siste temperaturgradene som trengs etter dette. Ved å ha el-kjelen som sekundærkilde vil strømkostnadene være betydelig lavere enn ved å ha den som primærkilde, ettersom el-kjelen ikke vil bruke høye effekter, men det vil fremdeles være en årlig kostnad til målepunkt for el-kjelen.

## 5.8 PRISER

### 5.8.1 Strømpriser

Strømprisen for Giskehallen er varierende gjennom året. Om vinteren når en krever en høy effekt blir prisen dyrere. Thorleif Nyman energirådgiver i Sandnes kommune opplyser om at en el-pris i sommermånedene kan regnes å være 1,30 kr/kWh mens om vinteren kan en regne med en pris nærmere 1,90 kr/kWh.

### 5.8.2 Nettonåverdianalyse

Nettonåverdien er negativ etter 30 år med en diskonteringsrente på 5 %. Investeringsutgiften er valgt til 20 millioner kroner, dette er reell pris, men det er mulig at det kan blir rimeligere. Etter 30 år vil store deler av systemet være funksjonelt, og det vil derfor fremdeles ha en stor verdi.

Forventet levetid er forskjellig på ulike deler av systemet. En energibrønn har en forventet levetid på over 100 år (Båsum Boring AS, 2014). **Tabell 16** viser anslåtte levetider på ulike deler av anlegget, byggets levetid kan anslås over 50 år.

Levetid komponenter	
Brønner	Byggets levetid
Rør	Byggets levetid
Pumper	20 år
Energisentral	Byggets levetid
Solfangerglass	25-30 år
Solfangere "casing"	Byggets levetid

*Tabell 16: Anslått levetid for komponenter.*

Det er lagt inn årlige utgifter på 10 000 kr til vedlikehold etter 10 år, disse betales samlet hvert femte år. Anlegget krever lite vedlikehold, og dette kan være en for høy vedlikeholdsutgift.

### **5.8.3 Enova**

Prosjektet kan støttes av Enova med opptil 50 % av godkjente kostnader (Enova, u.d.). De påpeker viktigheten av å velge nyskapende energi- og klimaløsninger for å nå lavutslippssamfunnet. Et prosjekt på Giskehallen kan stå fram som en konseptutredning av sesonglagring av solvarme.

### **5.8.4 Økonomisk vurdering og veien videre**

Prisen for boring med foringsrør er anslått noe under 1000 kr pr meter, den tar ikke høyde for rabatter for et stort antall. Det er antatt 300 brønner i utregningen av kostnader. Dette er en kostnad som kan forventes å være lavere. Brønnparken er sannsynligvis overdimensjonert som diskutert tidligere i **5.2**, behovet er mindre og gjenvinningsgraden større enn antatt. Da er hele anlegget overdimensjonert. Eksempelet for effektuttak viser at brønnparken kan levere nok effekt. Det kan være feil å ha som mål at sesonglageret skal kunne dekke hele topplasten i januar. Ved å øke diameteren på pælen kan en redusere antall meter brønn uten å redusere effektuttaket. Nødvendig volum kan og bli mindre ved å ha en høyere temperatursvingning i sesongene.

For Giskehallen skal det være mulig å komme ned mot 200 brønner om ikke mindre. Et sesonglager på 200 brønner vil kunne levere mot 0,8 GWh som bør være tilstrekkelig i vintermånedene. I et pilotprosjekt kan det diskuteres om å starte med færre brønner, og deretter bore flere ved behov. Det vil gi informasjon om dekningsgrad av solenergi, gjenvinningsgrad og randeffekter. Et større antall brønner kan være aktuelt om Sandnes vgs ønsker å få deler av oppvarmingen fra sesonglageret.

Her er det rom for videre arbeid, for eksempel en optimaliseringsoppgave som vil kreve opplysninger om grunnforholdene. Det er gjort få forsøk med sesonglager i leire, det er mange faktorer og usikkerheter som påvirker. Spørsmål knyttet til energibehovet er om sesonglageret skal ha lagret energi for et helt år eller bare for vinterperioden oktober til april. Med så store energimengder er gjenvinningsgraden avgjørende for størrelsen.

## 6 KONKLUSJON

---

Sesonglagring av solvarme står frem som et lovende prosjekt for Giskehallen, det kan delvis eller helt erstatte dagens el-kjel med fornybar energi. Resultatene viser at det er tilstrekkelig med areal fra fasader og tak egnet til solfangere. Brønnparken er dimensjonert med god margin på grunn av usikkerheter, den skal kunne levere tilstrekkelig varme og effekt. En geologisk grunnundersøkelse og en termisk responstest vil kunne eliminere noen av usikkerhetene. Leire er lovende som lagringsmasse for et sesonglager, men en må være oppmerksom på randeffekter som synk.

Et grovt økonomisk overslag viser at energisystemet nærmer seg en positiv nettonåverdi etter 30 år. Boring og foringsrør står for den største kostnaden, men den er forventet til å være betydelig mindre. Samlet og vurdert kan prosjektet være besparende for Giskehallen.

En konseptutredning vil gi nyttig erfaring og mer kunnskap om sesonglagring av solvarme i løsmasse. Det representerer en bærekraftig løsning og et steg mot lavutslippsamfunnet. Et vellykket prosjekt kan også hjelpe andre kommuner og svømmehaller å nå klimamålene.

## 7 BIBLIOGRAFI

---

Abrahamsen, A. S. & Bergh, M., 2008. *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet*, s.l.: SSB.

Adaramola, S., u.d. *Solar energy resources - FORN360*, s.l.: s.n.

Borgnakke, C. & Sonntag, R. E., 2009. *Fundamentals of Thermodynamics*. 8. red. s.l.:Wiley & sons.

Båsum Boring AS, 2014. *Båsum Boring AS*. [Internett]

Available at: <http://www.basum.no/fagomrader/energibronner/standard-energibronn-med-lukket-system/>

[Funnet 1 mai 2017].

Dannevig, P. & Harstveit, K., 2015. *Vind. I Store norske leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/vind>

[Funnet 10 april 2017].

Drake Landing Solar Comunity, u.d. *hjemmside til dlsc*. [Internett]

Available at: [dlsc.ca](http://dlsc.ca)

[Funnet 07 mars 2017].

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

Engineering toolbox, u.d. *Engineering Toolbox*. [Internett]

Available at: [http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\\_162.html](http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html)

[Funnet 11 april 2017].

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

Available at: <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/konseptutredning-for-innovative-energi-og-klimalosninger-i-bygg-omrader-og-energisystem/>

[Funnet 7 mai 2017].

fornybar.no, u.d. *fornybar.no*. [Internett]

Available at: <http://www.fornybar.no/solenergi/ressursgrunnlag#sol1.1>

[Funnet 13 mars 2017].

Gabrielsson, A., Lehtmetts, M., Moritz, L. & Bergdahl, U., 1997. *Heat storage in soft clay*, Linköping: Swedish Geotechnical Institute.

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

Geofysisk institutt ved UiB, u.d. *Været i Bergen*. [Internett]

Available at: <https://veret.gfi.uib.no/?prod=3&action=today>

[Funnet 3 Mai 2017].

Giske, S., 2015. *Borede stålrørspeler i bløt grunn - erfaringer*, s.l.: Statens vegvesen.

Groven, E., 2017. [Intervju] (26 april 2017).



- Haugstad, R., 2009. *Pæler i Store norske leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/p%C3%A6ler>  
[Funnet 5 mai 2017].
- Heyerdahl, P., 2017. *Veiledning* [Intervju] (20 april 2017).
- Hus-Hansen, W., 2017. *Personlig samtale* [Intervju] (27 April 2017).
- Imset, T. & Rønning, S., 2015. *Stat of the art - pele og spuntrammning*, s.l.: Begrens Skade.
- Kynningsrud AS, u.d. *Kynningsrud AS*. [Internett]  
Available at: <http://www.kynningsrud.no/forretningsomrader/fundamentering/losninger/stalspunt-og-stalror/>  
[Funnet 2 Mai 2017].
- Langford, J. & Sandene, T., 2015. *Effekter av rammede peler i leire - litteraturstudie og erfaringsrapport*, s.l.: Begrens skade.
- Leggoe, D. J. W., 2016. *ENSC3003 - Fluid mechanics - Lecture notes - Fluid Properties*. Perth: The University of Western Australia .
- Lervik, F., 2016. *Adressa.no*. [Internett]  
Available at: <http://www.adressa.no/nyheter/trondheim/2016/10/08/Mye-forberedelser-lite-ny-vei-13602403.ece>  
[Funnet 27 april 2017].
- Mark Fedkin (modified after Duffie and Beckman, 2., u.d. *PennState Department of Earth and mineral engineering*. [Internett]  
Available at: <https://www.e-education.psu.edu/eme811/node/685>  
[Funnet 3 Mai 2017].
- Meteorologisk institutt, 2017. *yr.no*. [Internett]  
Available at: <https://www.yr.no/place/Norway/Rogaland/Sandnes/Sandnes/statistics.html>  
[Funnet 10 4 2017].
- Miljødirektoratet, 2017. *miljøstatus*. [Internett]  
Available at: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/klimagassutslipp-bygg/>  
[Funnet 8 mai 2017].
- NGU, 2015. *NGU - Kvikkleire og kvikkleireskred*. [Internett]  
Available at: <https://www.ngu.no/emne/kvikkleire-og-kvikkleireskred>  
[Funnet 25 april 2017].
- NGU, u.d. *Nasjonal løsmassedatabase*. [Internett]  
Available at: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>  
[Funnet 10 mai 2017].
- NVE, 2015. *NVE*. [Internett]  
Available at: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/solenergi/>  
[Funnet 13 mars 2017].
- Nyman, T., 2017. [Intervju] (21 mars 2017).
- Prestegaard, U., 2014. *Lading og lagring av i energibrønner for bygningsoppvarming*, s.l.: NTNU.

Prestvik, O. & Trømborg, D., 1999. *Undervisning om løsmasser, Høyskolen i vestfold*. [Internett]  
Available at: <http://www-bib.hive.no/tekster/hveskrift/rapport/1999-03/rapp199903-03.html>  
[Funnet 31 Mars 2017].

PVGIS © European Union, 2012. *Join Research Center, EU*. [Internett]  
Available at:  
[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/PVGIS\\_EU\\_201204\\_presentation.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_presentation.png)  
[Funnet 3 Mai 2017].

Quaschnig, V., 2004. *Erneuerbare-Energien-und-Klimaschutz.de*. [Internett]  
Available at: <http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index.php>  
[Funnet 27 april 2017].

Ramstad, R. K., 2011. *Grunnvarme i Norge - Kartlegging av økonomisk potensial*, s.l.: NVE.

Ramstad, R. K., 2013. *Resultater fra termisk responstest og dimensjonering av energibrønner*, s.l.: Asplan Viak .

SEKF, u.d. *Sandnes Eiendomselskap KF*. [Internett]  
Available at: <http://www.sekf.no/prosjekt/giskehallen-2>  
[Funnet 3 Mair 2017].

SSB, 2017. *SSB*. [Internett]  
Available at: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal/2017-02-24?fane=om#content>  
[Funnet 23 april 2017].

Statistisk sentralbyrå , u.d. *ssb*. [Internett]  
Available at: <http://www.ssb.no/a/aarbok/tab/tab-026.html>  
[Funnet 10 april 2017].

Store norske leksikon, 2009. *Offeranode*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/offeranode>  
[Funnet 4 mai 2017].

Store norske leksikon, u.d. *store norske leksikon - jæren*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/Jæren>  
[Funnet 09 03 2017].

Torstein, H., 2015. *Solvarmet bolig med lagring av energi i grunnen - masteroppgave*, s.l.: NMBU.

U.S. Department of Energy, u.d. *Energy.gov*. [Internett]  
Available at: <https://energy.gov/energysaver/heat-transfer-fluids-solar-water-heating-systems>  
[Funnet 2 mai 2017].

Veslegard, G. & Simonsen, A. S., 2013. *State of the art Boreteknikk*, s.l.: Begrens skade.

Wildi, T., 2006. *Electrical machines, drives, and power systems*. 6th ed red. New Jersey: Pearson Education.

Yunus, A. C. & Afshin, J. G., 2011. *Heat and Mass Transfer*. fourth edition red. New York: McGraw-Hill.

## 8 VEDLEGG

---

### 8.1 NETTONÅVERDIANALYSE

Investeringsutgiften	20 000 000	kr
Økonomisk levetid	30	år
Energi levert	1 050 000	kWh
el-pris	1.30	øre/kWh
Årlige inntekter	1 365 000	kr
Årlige utgifter etter 10 år	10 000	kr
Årlig inntjening	1 355 000	kr
Diskonteringsrente	0.05	
Nettonåverdi	-3 514 035	kr

*Tabell 17: Nøkkeltall for nettonåverdianalyse*

	Utgift	Besparelse	Kostnader	Kontantstrøm	Nåverdi	Kommentar
0	-20 000 000			-20 000 000	-20 000 000	
1			1 000 000	-1 000 000	-952 381	Kjøp av fjernvarme
2			1 000 000	-1 000 000	-907 029	Kjøp av fjernvarme
3		1 365 000		1 365 000	1 179 138	
4		1 365 000		1 365 000	1 122 989	
5		1 365 000		1 365 000	1 069 513	
6		1 365 000		1 365 000	1 018 584	
7		1 365 000		1 365 000	970 080	
8		1 365 000		1 365 000	923 886	
9		1 365 000		1 365 000	879 891	
10		1 365 000	50 000	1 315 000	807 296	
11		1 365 000		1 365 000	798 087	
12		1 365 000		1 365 000	760 083	
13		1 365 000		1 365 000	723 889	
14		1 365 000		1 365 000	689 418	
15		1 365 000	50 000	1 315 000	632 537	
16		1 365 000		1 365 000	625 322	
17		1 365 000		1 365 000	595 545	
18		1 365 000		1 365 000	567 186	
19		1 365 000		1 365 000	540 177	
20		1 365 000	50 000	1 315 000	495 610	
21		1 365 000		1 365 000	489 956	
22		1 365 000		1 365 000	466 625	
23		1 365 000		1 365 000	444 405	
24		1 365 000		1 365 000	423 243	
25		1 365 000	50 000	1 315 000	388 323	
26		1 365 000		1 365 000	383 894	
27		1 365 000		1 365 000	365 613	
28		1 365 000		1 365 000	348 203	
29		1 365 000		1 365 000	331 622	
30		1 365 000	50 000	1 315 000	304 261	
				Nåverdi	16 485 965	

*Tabell 18: Nåverdi regneark.*

## 8.2 UTSKRIFT FRA PV-SYST

PVSYST V6.53		11/04/17	Page 1/5
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Giskehallen</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Sandnes</b>	Country	<b>Norway</b>
<b>Situation</b>	Latitude	58.88° N	Longitude 5.63° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+1	Altitude 7 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data:</b>	<b>Sandnes</b>	Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>Giske simu1</b>		
	Simulation date	28/03/17 14h19	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>2 orientations</b>	Tilts/Azimuths	10°/-127° and 0°/-41°	
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteororm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	Linear shadings		
<b>PV Arrays Characteristics (3 kinds of array defined)</b>			
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>Poly 60 Wp 36 cells</b>
Original PVsyst database	Manufacturer	Generic	
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>	Orientation	#1	Tilt/Azimuth 10°/-127°
Number of PV modules	In series	30 modules	In parallel 21 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	630	Unit Nom. Power 60 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>37.8 kWp</b>	At operating cond. 33.7 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	447 V	I mpp 75 A
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>	Orientation	#2	Tilt/Azimuth 0°/-41°
Number of PV modules	In series	30 modules	In parallel 95 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	2850	Unit Nom. Power 60 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>171 kWp</b>	At operating cond. 152 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	447 V	I mpp 340 A
<b>Sub-array "Sub-array #3"</b>	Orientation	#2	Tilt/Azimuth 0°/-41°
Number of PV modules	In series	30 modules	In parallel 110 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3300	Unit Nom. Power 60 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>198 kWp</b>	At operating cond. 176 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	447 V	I mpp 394 A
<b>Total</b>	Arrays global power	Nominal (STC)	<b>407 kWp</b>
		Module area	<b>3775 m<sup>2</sup></b>
		Total	6780 modules
		Cell area	3173 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>			
	Model	<b>12 kWac inverter</b>	
Original PVsyst database	Manufacturer	Generic	
Characteristics	Operating Voltage	350-600 V	Unit Nom. Power 12.0 kWac
			Max. power (=>25°C) 14.0 kWac
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>	Nb. of inverters	3 units	Total Power 36 kWac
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>	Nb. of inverters	12 units	Total Power 144 kWac
<b>Sub-array "Sub-array #3"</b>	Nb. of inverters	13 units	Total Power 156 kWac
<b>Total</b>	Nb. of inverters	28	Total Power 336 kWac
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s

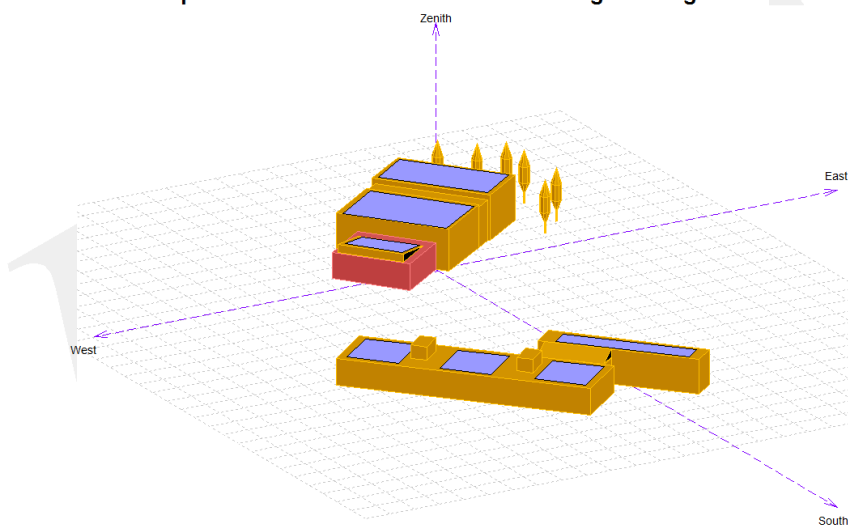
PVSYST V6.53		11/04/17		Page 2/5	
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters (continued)</b>					
Wiring Ohmic Loss	Array#1	102 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
	Array#2	23 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
	Array#3	19 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
	Global		Loss Fraction	1.5 % at STC	
Module Quality Loss			Loss Fraction	2.5 %	
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	$1 - b_o (1/\cos i - 1)$	bo Param.	0.05	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)				

### Grid-Connected System: Near shading definition

**Project :** Giskehallen  
**Simulation variant :** Giske simu1

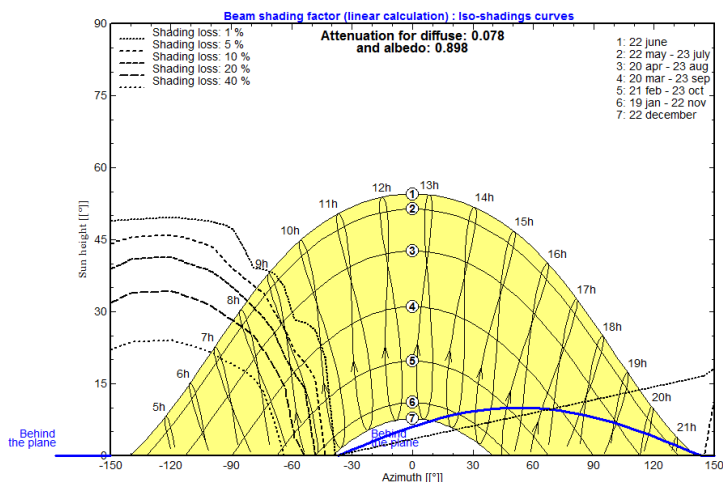
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
<b>Near Shadings</b>	Linear shadings	2 orientations	
PV Field Orientation		Tilt/Azimuth = 10°/-127° and 0°/-41°	
PV modules	Model	Poly 60 Wp 36 cells	Pnom 60 Wp
PV Array	Nb. of modules	6780	Pnom total <b>407 kWp</b>
Inverter	Model	12 kWac inverter	Pnom 12.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	28.0	Pnom total <b>336 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

#### Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



#### Iso-shadings diagram

Giskehallen - Legal Time



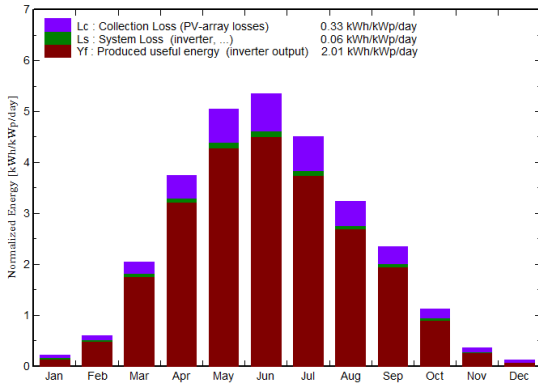
### Grid-Connected System: Main results

**Project :** Giskehallen  
**Simulation variant :** Giske simu1

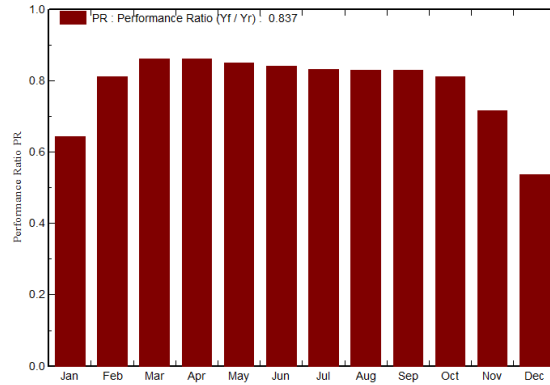
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
<b>Near Shadings</b>	Linear shadings	Tilt/Azimuth = 10°/-127° and 0°/-41°	
PV Field Orientation	2 orientations	Model	Poly 60 Wp 36 cells
PV modules		Pnom	60 Wp
PV Array	Nb. of modules	Pnom total	<b>407 kWp</b>
Inverter	Model	Pnom	12.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	Pnom total	<b>336 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
 System Production **Produced Energy 298383 kWh/year** Specific prod. 733 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR **83.70 %**

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 407 kWp**



**Performance Ratio PR**

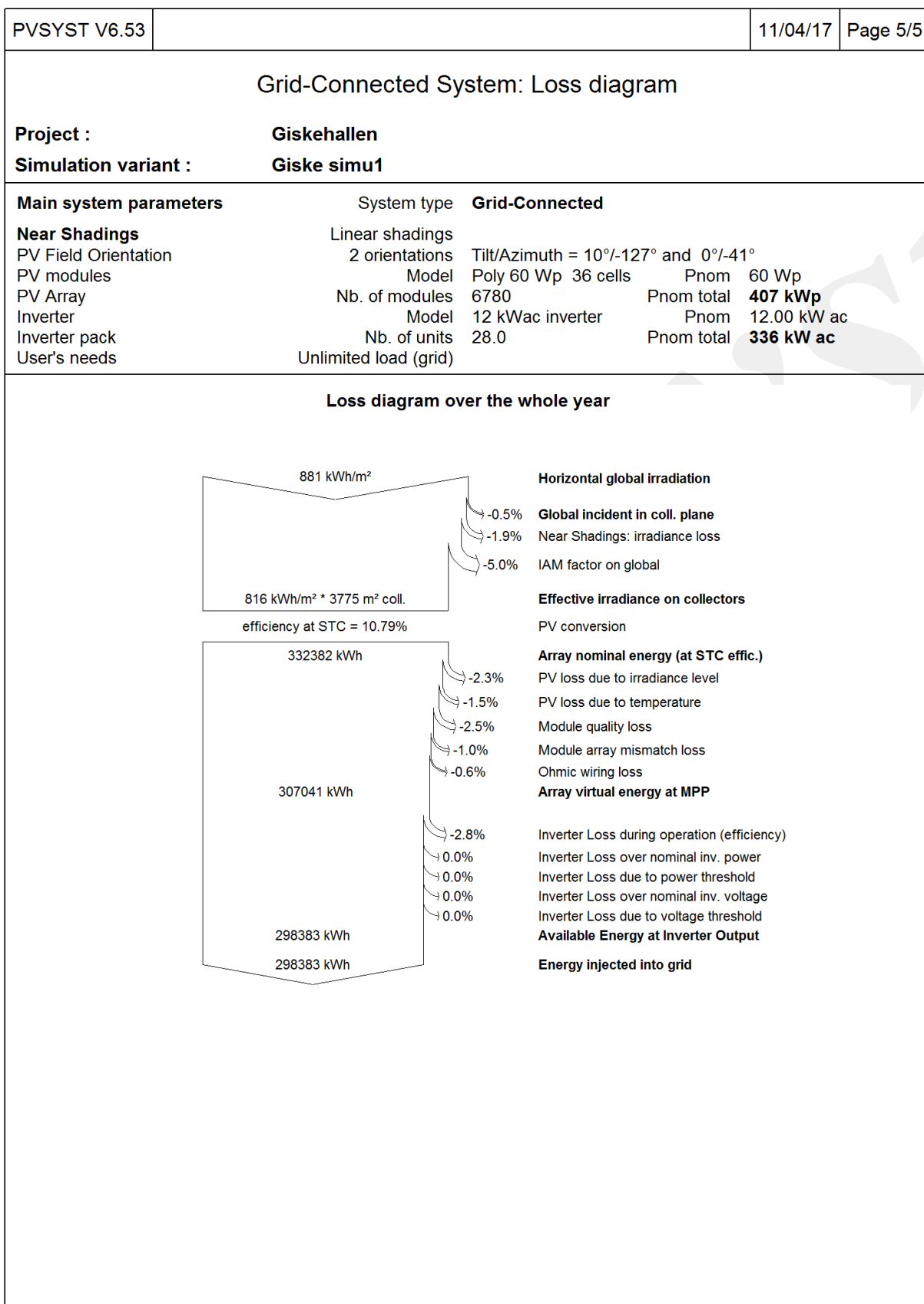


**Giske simu1**  
Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	
<b>January</b>	7.0	5.00	3.10	6.9	5.8	2037	1798	0.643
<b>February</b>	17.0	14.00	2.30	16.8	15.4	5888	5559	0.811
<b>March</b>	64.0	38.00	3.40	63.4	58.2	22884	22231	0.862
<b>April</b>	113.0	56.00	7.30	112.2	104.5	40362	39379	0.863
<b>May</b>	157.0	79.00	10.30	156.4	147.0	55366	54035	0.850
<b>June</b>	161.0	81.00	13.10	160.7	151.2	56319	54954	0.841
<b>July</b>	140.0	73.00	15.80	139.8	131.3	48508	47285	0.832
<b>August</b>	101.0	66.00	16.00	100.5	94.0	34878	33929	0.830
<b>September</b>	71.0	40.00	13.40	70.4	65.1	24505	23807	0.831
<b>October</b>	35.0	23.00	9.40	34.6	31.3	11880	11412	0.812
<b>November</b>	11.0	8.00	5.90	10.8	9.3	3402	3138	0.716
<b>December</b>	4.0	3.00	3.29	3.9	3.0	1013	856	0.537
<b>Year</b>	<b>881.0</b>	<b>486.00</b>	<b>8.65</b>	<b>876.3</b>	<b>816.2</b>	<b>307041</b>	<b>298383</b>	<b>0.837</b>

Legends: GlobHor    Horizontal global irradiation	GlobEff    Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor    Horizontal diffuse irradiation	EArray    Effective energy at the output of the array
T Amb    Ambient Temperature	E_Grid    Energy injected into grid
GlobInc    Global incident in coll. plane	PR    Performance Ratio





### 8.3 VÆRDATA FRA METONORM 7

# Stavanger/Sola

Location name

58.883

Latitude [°N]

5.633

Longitude [°E]

14150

WMO

7

Altitude [m a.s.l.]

III, 2

Climate region

**Standard**

Radiation model

**Standard**

Temperature model

**Perez**

Tilt radiation model

2000–2009

Temperature period

1991–2010

Radiation period

## Additional information

Uncertainty of yearly values: Gh = 5%, Bn = 10%, Ta = 0,3 °C

Trend of Gh / decade: -

Variability of Gh / year: 6,2%

Radiation interpolation locations: Satellite data (Share of satellite data: 100%)

P10 and P90 of yearly Gh, referenced to average: 93,5%, 106,9%

Month	G_Gh	G_Dh	Ta	FF
	[W/m2]	[W/m2]	[°C]	[m/s]
January	9	7	3.1	5.5
February	26	21	2.3	4.5
March	86	50	3.4	4.5
April	157	77	7.3	4.4
May	211	106	10.4	4.5
June	224	113	13.1	4.3
July	188	98	15.8	3.8
August	136	89	16.0	4.0
September	99	56	13.4	4.4
October	47	31	9.4	4.6
November	15	11	5.9	5.1
December	5	4	3.3	4.4
Year	100	56	8.6	4.5

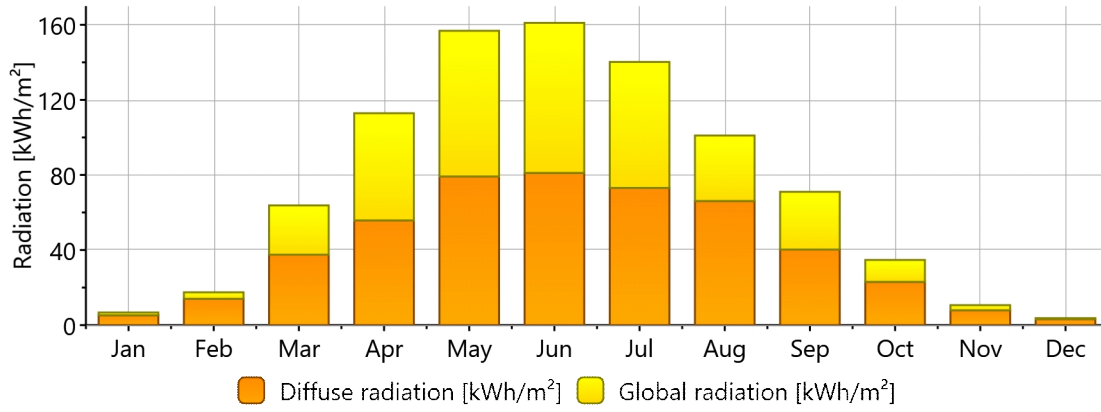
Ta: Air temperature

FF: Wind speed

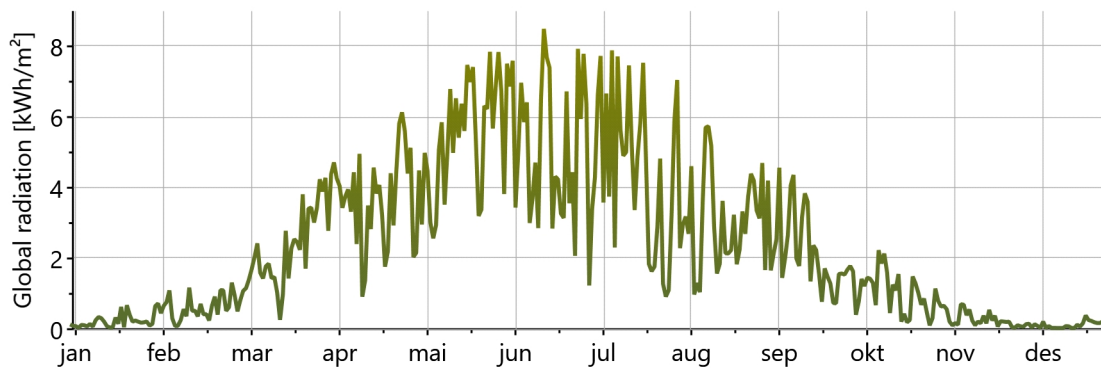
G\_Gh: Mean irradiance of global radiation horizontal

G\_Dh: Mean irradiance of diffuse radiation horizontal

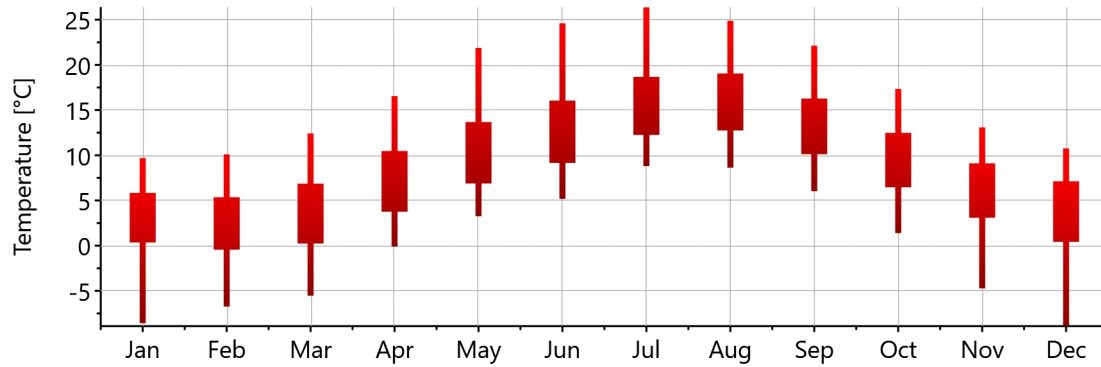
## Monthly radiation



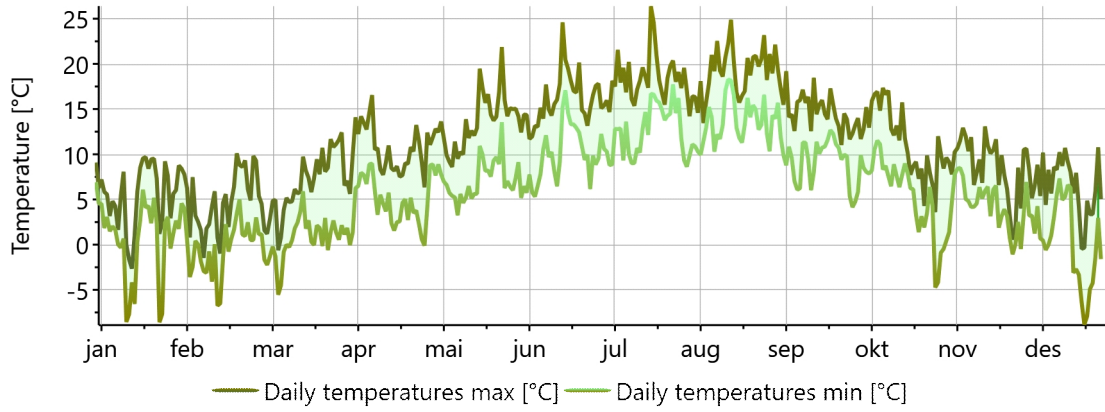
## Daily global radiation



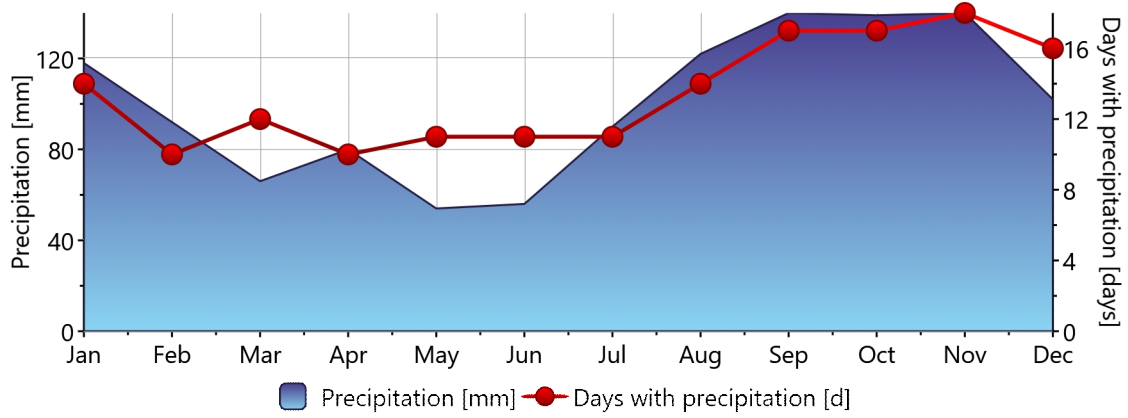
## Monthly temperature



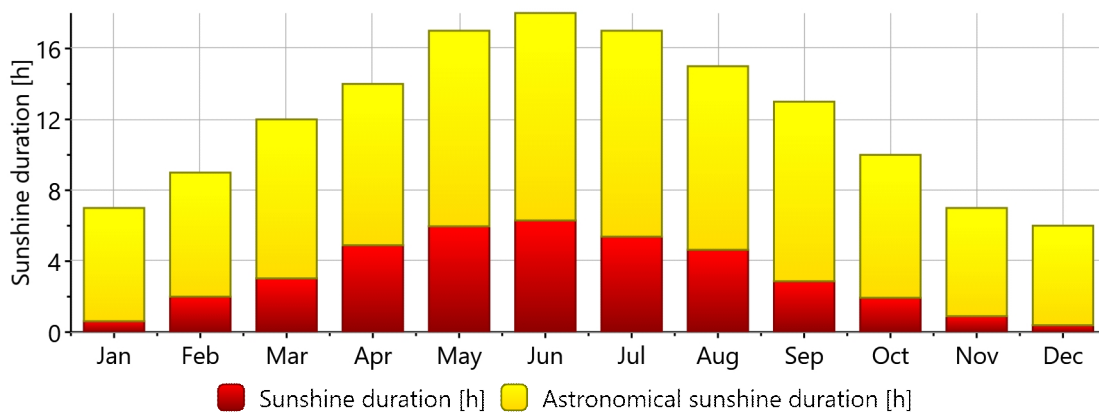
## Daily temperature



## Precipitation



## Sunshine duration







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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway