

Eiliv Erik Ulrich Løchen
Øyvind Bjørgum

Optimalisering av solenergisystem ved Biri Omsorgssenter

Bacheloroppgave i Ingeniørfag – fornybar energi

Veileder: Guri Krigsvoll

Mai 2019

Eiliv Erik Ulrich Løchen
Øyvind Bjørgum

Optimalisering av solenergisystem ved Biri Omsorgssenter

Bacheloroppgave i Ingeniørfag – fornybar energi
Veileder: Guri Krigsvoll
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Oppgavens tittel: Optimalisering av solenergisystem ved Biri Omsorgssenter	Dato: 20.05.2019		
	Antall sider: 65		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Eiliv Erik Ulrich Løchen – 999918 Øyvind Bjørgum – 473336			
Veileder: Guri Krigsvoll			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Alemayehu Gebremedhin			

I denne bacheloroppgaven har vi undersøkt hvilke solenergisystemer som vil være de mest optimale å realisere ved Biri omsorgssenter for å redusere energikostnadene samt CO₂-avtrykket til omsorgssenteret. Vi har tatt for oss hvordan solenergisystemer bestående av solceller, men også en kombinasjon av solceller og solfangere, kan optimaliseres for å oppnå dette. Bakgrunnen for undersøkelsen er at Gjøvik kommune har et mål om å redusere de årlige energikostnadene med fire millioner kroner.

I starten var det nødvendig å beregne solinnstrålingen ved Biri omsorgssenter for å kunne vite hvor stor den tilgjengelige solenergimengden var, og hvor mye av denne som var nyttbar. Videre var det naturlig å undersøke faktorer som kunne påvirke energiproduksjonen, eller ha betydning for lønnsomheten, og kartlegge hvor stor betydning de eventuelt ville ha. Deretter måtte vi utarbeide alternativer for solenergisystemer som kunne være gunstige å implementere på Biri. Basert på dette datagrunnlaget og gitte forutsetninger ble resultatene for alternativene beregnet.

Resultatet av denne oppgaven viser at det vil være økonomisk og miljømessig gunstig å installere et solenergisystem på Biri omsorgssenter for å dekke deler av elektrisitets- og varmtvannsbehovet. Våre beregninger indikerer at investeringen vil være lønnsom, og i tillegg bidra til å redusere energikostnadene samt CO₂-utslippene til Gjøvik kommune.

Stikkord:

Solenergi
Solceller
Solfanger
Biri Omsorgssenter

Eiliv U. Løchen

Øyvind Bjørgum

(sign.)

Abstract

In this bachelor's thesis we investigated which solar energy systems would be the most suitable to install at Biri care center to reduce energy costs, and in addition contribute to a lower carbon footprint. We examined how solar energy systems consisting of solar cells, but also a combination of solar cells and solar water heaters could be optimized to achieve this goal. The background for the examination is that Gjøvik municipality has decided to reduce their annual electricity costs by four million NOK.

Initially, it was necessary to calculate the solar irradiance at Biri care center to figure out what the available amount of solar energy was, and how much of this energy was usable.

Furthermore, it was natural to examine factors that would affect the energy production, or be of significance for the profitability, and determine how big an impact they would have on both. Then we had to develop different alternatives for solar energy systems that could be beneficial to implement at Biri. Based on this data basis and certain assumptions, the results for the chosen alternatives were developed.

The results of this bachelor's thesis suggest that it would be economically and environmentally beneficial to install a solar energy system at Biri care center to serve parts of the electricity- and hot water demands. Our calculations indicate that the investment will be profitable and will contribute to reducing the energy costs and CO₂-emissions of Gjøvik municipality.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet ved Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk (IVB) ved Fakultetet for ingeniørvitenskap ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Gjøvik våren 2019. Oppgaven representerer fullførelsen av en ingeniørfaglig bachelorgrad innen fornybar energi.

Denne oppgaven tar for seg hvordan et solenergisystem ved Biri omsorgssenter vil kunne optimaliseres, og hvor stor andel av energibehovet som kan dekkes. Dette gjøres ved å kalkulere solinnstrålingen, og ut fra dagens solcelle- og solfangerteknologi beregne hvor mye varmt tappevann og strøm som genereres. Vi valgte å undersøke dette med bakgrunn i vår interesse for solenergi, og måter den kan bidra til å dekke det økende energibehovet i samfunnet. Vi ønsket også å se om lokalprodusert solenergi er konkurransedyktig mot kraften fra det europeiske kraftmarkedet, da både strømprisene og presset etter å senke klimagassutslipp øker.

Vi vil takke vår veileder Guri Krigsvoll, førsteamanuensis ved NTNU i Gjøvik, for god veiledning gjennom perioden bacheloroppgaven ble skrevet. Vi vil også rette en takk til Sweco for at de delte tekniske data om Biri omsorgssenter med oss. Sist, men ikke minst, ønsker vi å takke Henrik Brennhagen Jakobsen, vår kontaktperson og klima- og miljørådgiver ved Gjøvik Kommune, og Alemayehu Gebremedhin, professor og studieansvarlig ved NTNU, for oppdraget.

Gjøvik, 20. mai 2019

Eiliv U. Løchen

Eiliv Erik Ulrich Løchen

Øyvind Bjørgum

Øyvind Bjørgum

Innholdsfortegnelse

Abstract	ii
Forord	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste	vi
Tabelliste	viii
Nomenklatur.....	ix
Greske bokstaver	x
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Leserveiledning	2
2 Solenergisystem, strøm og CO ₂	3
2.1 Solenergi.....	3
2.2 Solceller.....	4
2.3 Solfangere.....	7
2.4 Tilgjengelig solinnstråling.....	8
2.5 Strøm, strømpris og prisutviklingen.....	9
2.6 CO ₂ -kvotepris.....	13
3 Vurderingsmetode	15
3.1 Refleksjonskoeffisient.....	16
3.2 Turbiditet.....	16
3.3 Kombinasjon av energiforbruk og energihøsting.....	17
4 Biri omsorgssenter.....	18
4.1 Beregning av solinnstråling.....	19
5 Solenergi ved Biri omsorgssenter	23
5.1 Valg av alternativer	23
5.1.1 Alternativ 1 - Kombinasjon av solcellepaneler og solfangere	23
5.1.2 Alternativ 2 - Solceller på alle tak med optimalisert helningsvinkel	24
5.2 Energiproduksjon	25
5.3 Turbiditetsfaktorens påvirkning	27
5.4 Refleksjonskoeffisienten	29
6 Resultater.....	31
6.1 Alternativ 1.....	32
6.2 Alternativ 2.....	39

6.3	Sammenligning av alternativ 1 og 2.....	40
6.4	Sensitivitetsanalyse	42
7	Diskusjon.....	44
7.1	Miljø- og kostnadsgevinster	44
7.2	Elektrisitets- og varmtvannsbehov	45
7.3	Helningsvinkel	46
7.3.1	Betydningen av ulike helningsvinkler.....	46
7.3.2	Gjennomsnitt	47
7.4	Forsyningssikkerhet	48
7.5	Utvikling av solenergisystemet	48
8	Konklusjon	50
	Litteraturliste	51

Figurliste

Figur 1: De tre vanligste solcellepanelene på dagens marked (Clean Energy Reviews, 2014) Gjengitt med tillatelse.	4
Figur 2: Virkemåten til en solcelle (Mæhlum, 2017).....	5
Figur 3: Solcellepanelets oppbygning (Clean Energy Reviews, 2018).....	6
Figur 4: De viktigste komponentene i et solfangersystem (Norsk solenergiforening, u.d.).	7
Figur 5: Oppbygningen av en plan solfanger (Andresen, 2008).....	8
Figur 6: Spotprisens utvikling siden 2000 (Nord Pool, 2019).	11
Figur 7: Økningen i spotprisen og den totale strømprisen inkludert nettleie og avgifter fra 2012 til 2018 (Statistisk sentralbyrå, 2018).	12
Figur 8: Vår prognose på spotpris og strømpris (Nord Pool, 2019; Statistisk sentralbyrå, 2018).....	13
Figur 9: CO ₂ -kvotens prisutvikling siden 2014 (Sandbag, 2019).	14
Figur 10: Takflatene på Biri omsorgssenter og størrelsen på arealene det er mulig å plassere solcellepaneler og solfangere (Sweco, 2018).	18
Figur 11: Forandringene til den gjennomsnittlige solinnstrålingen med helningsvinkler fra 0-90°.	25
Figur 12: Solinnstrålingen over året på en flate med helningsvinkel lik 35°.	26
Figur 13: Energiproduksjon per kvadratmeter med helningsvinkel lik 35°.	27
Figur 14: Satellittbilde over Biri med punktene som blir brukt i analysen for turbiditetsfaktorens påvirkning på den gjennomsnittlige solinnstrålingen.	28
Figur 15: Analyse av turbiditetsfaktorens påvirkning på den gjennomsnittlige solinnstrålingen.	29
Figur 16: Analyse av refleksjonskoeffisientens påvirkning på den gjennomsnittlige solinnstrålingen.	30
Figur 17: Sammenhengen mellom varierende refleksjonskoeffisient og energiproduksjon... ..	30
Figur 18: Energiproduksjonen i fire forskjellige måneder til en solfanger montert med helningsvinkel lik 25,5°.	33
Figur 19: Varmtvannsproduksjon i de forskjellige alternativene i alternativ 1.....	34

Figur 20: Systemkostnadene og dekningsgraden av det totale energiforbruket for hvert av alternativene i alternativ 1.	35
Figur 21: Årlige gjennomsnittlige kontantstrømmer og total netto kontantstrøm over anleggets levetid for alternativ 1C.....	36
Figur 22: Årlige gjennomsnittlige kontantstrømmer og total netto kontantstrøm over anleggets levetid for alternativ 1D.	37
Figur 23: Årlige gjennomsnittlige kontantstrømmer og total netto kontantstrøm over anleggets levetid for alternativ 2.	39
Figur 24: Fordelingen av strømproduksjonen for alternativ 1C, 1D og 2 over året, samt energibehovet.	42
Figur 25: Sensitivitetsanalyse ved bruk av NNV med fokus på variasjoner i strømprisøkningen og kalkulasjonsrenten.	43
Figur 26: Solinnstråling over året ved varierende helningsvinkler på Biri omsorgssenter.....	47

Tabelliste

Tabell 1: Virkningsgraden, fordeler og ulemper samt forventet levetid for de forskjellige typene solcelleteknologi (Sendy, 2017; GreenMatch, 2015).	6
Tabell 2: Refleksjonskoeffisientene som brukes i videre analyser.	16
Tabell 3: Helningsvinklene til takene, samt det egnede arealet for installasjon av solcellepaneler og solfangere og den gjennomsnittlige årlige solinnstrålingen for hvert tak. .	19
Tabell 4: Variabler brukt i analysene for resultatet.	32
Tabell 5: Beskrivelse av de forskjellige alternativene innen alternativ 1.	33
Tabell 6: Den totale systemkostnaden, andel av dekket energibehov samt systemkostnad per prosent av energibehov dekket i alternativ 1.	35
Tabell 7: Teoretisk energiproduksjon for alternativ 1C og 1D.	38
Tabell 8: Sammenlikning av miljøbesparelser for alternativ 1 og 2.	40
Tabell 9: Oversikt over resultatene etter økonomiske analyser i alternativ 1C, 1D og 2.	41
Tabell 10: Solinnstrålingen med helningsvinkel lik 90° for hver time i november og desember.	48

Nomenklatur

Symbol	Beskrivelse	Enhet
<	“Mindre enn”	-
>	“Større enn”	-
-	Euro (1 euro = 100 cent)	€
-	Euro per tonn CO ₂	€/tCO ₂
A	Areal	m ²
E	Energiproduksjon	kWh
E_A	Energiproduksjon per areal	kWh/m ²
-	Gram per kilowatttime	g/kWh
I'_b	Fluksen av beam (direkte) solinnstråling på en skrånende overflate	W/m ²
I_b	Fluksen av beam (direkte) solinnstråling på en horisontal overflate	W/m ²
I_d	Fluksen av diffus solinnstråling på en horisontal overflate	W/m ²
I_{ext}	Solkonstanten = 1367	W/m ²
I_N	Solstråling på en vinkelrett overflate fra solens nåværende himmelposisjon	W/m ²
I_T	Total solinnstråling	W/m ²
K_0	Investeringskostnad	kroner
-	Kilogram	kg
-	Kilogram per kvadratmeter	kg/m ²
K_t	Kontantstrømmen for år t	kroner
-	Kroner (1 krone = 100 øre)	kr
-	Kroner per watt peak	kr/W _p
-	Kroner per kilowatttime	kr/kWh
-	Kilowatttime	kWh
-	Kilowatttime per kvadratmeter	kWh/m ²
-	Kvadratmeter	m ²
-	Megawatttime	MWh
n	Dagen i året	-
PR	Performance ratio (ytelsesfaktor)	-
r	Kalkulasjonsrente	%

R_b	Beam (direkte) solinnstråling	-
R_d	Diffus omregningsfaktor	-
R_r	Refleksjon omregningsfaktor	-
ST	Soltid	-
T_R	Linke turbiditetsfaktor	-
-	Watt	W
-	Watt per kvadratmeter	W/m^2
-	Watt peak	W_p

Greske bokstaver

Symbol	Beskrivelse	Enhet
α	Solhøyde	°
β	Vinkelen overflaten lager med horisontal	°
δ	Deklinasjonsvinkel	°
η	Virkningsgrad	%
θ_i	Innfallsvinkelen for en skrå overflate	°
θ_z	Innfallsvinkelen for en horisontal overflate	°
ρ	Refleksjonskoeffisient	-
ϕ	Breddegrad	°
ω	Timevinkel	°

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Strøm er en av de avgjørende faktorene for et velfungerende samfunn. Uten tilgang på strøm ville hverdagen vært svært annerledes, og ikke minst krevende. Omtrent alle apparater som brukes i løpet av en dag er avhengige av strøm for å fungere. Strøm gjør det enklere å dekke essensielle behov som belysning, oppvarming og matlaging. Det skal ikke være strømbrudd i mange timer før klagen strømmer inn til nettselskapene. Enovas byggstatistikk fra 2016 estimerer at hele 84,8% av energibehovet for et bo- og behandlingssenter dekkes av strøm, der mesteparten brukes til oppvarming av rom og tappevann (Enova, 2016). Grunnet blant annet et høyt energiforbruk, utfasing av fossile energikilder, politikk og klimaforandringer har strømprisene på det europeiske markedet variert mye over de siste årene. Dette har påvirket Norge i den forstand at strømprisen har økt.

I tillegg har inntoget av fornybare energikilder fått stadig mer oppmerksomhet. Denne utviklingen har ført til et betydelig prisfall som følge av et annet fokus i markedet, spesielt med tanke på solenergi. Den enorme satsingen på solenergi har ført til at en investering i solenergisystemer bestående av solcellepaneler og/eller solfangere har blitt mer vanlig. Solceller kan installeres for å dekke deler av strømforbruket og bidra til å redusere strømkostnadene. I tillegg vil det være meget gunstig å bruke solfangere til å dekke deler av varmebehovet, og særs det varme tappevannsbehovet direkte, uten å gå via transformasjonen varme – strøm – varme.

Opphavet til problemstillingen som belyses i denne bacheloroppgaven er at Gjøvik Kommune har vedtatt at det skal bygges et nytt omsorgssenter på Biri. Dette omsorgssenteret skal bygges med en passivhusstandard, for å sette et lavest mulig CO₂-avtrykk. Med et stort fokus på miljø og klima under drift, har kommunen som mål at det skal være et nullutslippsbygg. Det er dermed vedtatt at deler av energiforbruket skal dekkes med solenergi. Bakgrunnen for vedtaket om å installere et solenergisystem på Biri har blant annet sitt opphav i dette, samt strømprisutviklingen og frykten for at den kommer til å stige enda mer i fremtiden. Med bakgrunn i dette har kommunen som mål å kutte strømkostnadene med 4 millioner kroner i

året. I den sammenheng har vi, i samarbeid med Gjøvik kommune, valgt å undersøke mulighetene og lønnsomheten for ulike solenergisystemer ved Biri omsorgssenter.

1.2 Problemstilling

Målet med denne oppgaven er å utforske hvilke soldrevne energisystemer som vil være de mest hensiktsmessige for å dekke deler av energibehovet ved Biri omsorgssenter. Det legges i all hovedsak vekt på hvor mye av elektrisitets- og varmtvannsbehovet det er mulig å dekke.

Kostnadene rundt implementeringen av et slikt energisystem og eventuelle miljø- og kostnadsgevinster vil bli sammenlignet med det å benytte strøm direkte fra kraftnettet.

Problemstillingen for denne oppgaven blir dermed:

Hvordan kan man best bruke solenergi til å dekke elektrisitets- og varmtvannsbehovet ved Biri omsorgssenter?

1.3 Leserveiledning

Oppgaven er strukturert på en logisk måte, som etter en kort introduksjon til oppgaven fortsetter med å presentere innhentet og kjent data. Videre fremstilles våre egne beregninger og resultater som er relevante for å finne en løsning på problemstillingen. Deretter kommer et diskusjons- og konklusjonskapittel som samler våre tanker og meninger om resultatene.

2 Solenergisystem, strøm og CO₂

2.1 Solenergi

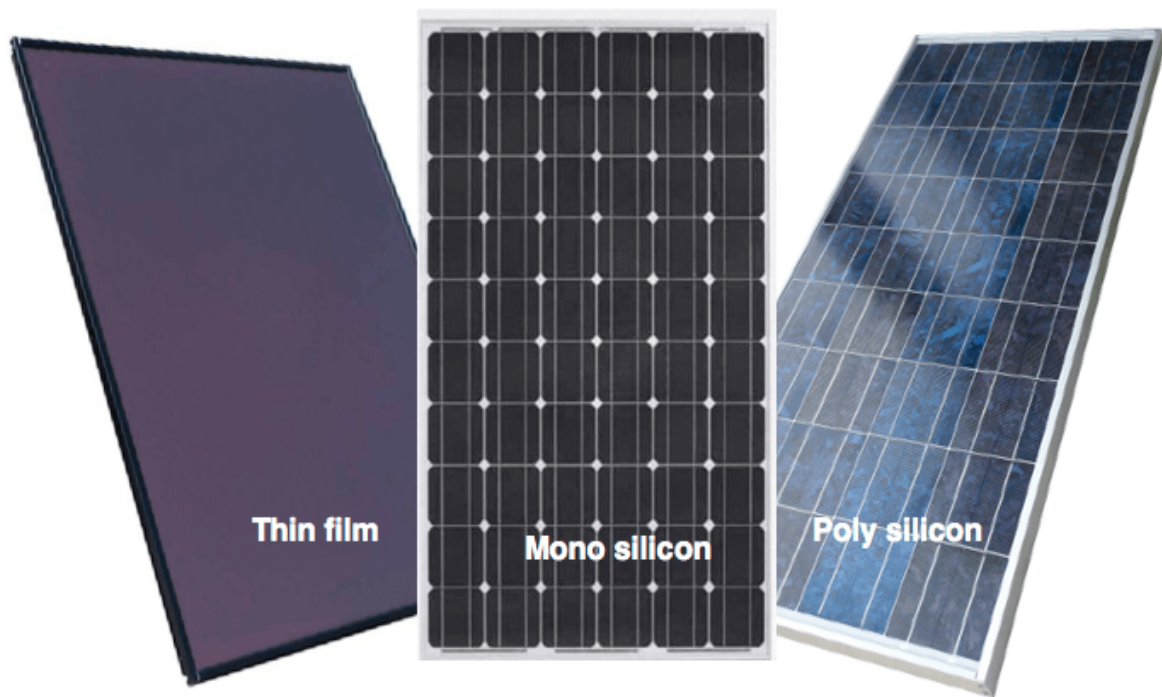
Solenergi er strålingsenergien som kommer fra solen. Selv om det kun er en brøkdel av denne strålingsenergien som treffer jorden, tilsvarer det ca. 15 000 ganger verdens totale energibehov. Intensiteten på solstrålingen er ca. 1 370 W/m², men på grunn av refleksjon og absorpsjon i atmosfæren er det i gjennomsnitt kun 500 W/m² som vil treffe jordens overflate og være nyttbar (Hofstad, 2019).

I motsetning til en fossil energikilde, som kull, er solenergi en fornybar energiresurs. En fornybar energikilde er en energikilde som ikke kan tømmes, men som ut ifra naturens kretsløp fornyer seg selv innen et menneskelig tidsperspektiv. Bruken av solenergiteknologi går helt tilbake til 1800-tallet under den industrielle revolusjonen. Det var franskmannen Edmond Becquerel som først brukte et solenergianlegg til å varme opp vann for å lage damp til å drive maskiner. Han er anerkjent som mannen som lagde verdens første fotovoltaiske celle i en alder av 19 år. Dette gjorde han i farens laboratorium ved å plassere sølvklorid i en sur løsning og lyse på det mens det var koblet til platinaelektroder. Dette resulterte i at det ble generert spenning og strøm. I starten ble den fotovoltaiske effekten også betegnet som Becquerel-effekten (Chua, 2016).

En av utfordringene med solenergi er å få utnyttet strålingen som treffer jordens overflate i størst mulig grad, og å transportere den dit behovet er. Solenergien kan i hovedsak utnyttes på to forskjellige måter – varmeproduksjon ved bruk av solfangere, og generering av elektrisitet ved bruk av solceller. Solceller har lenge vært lite utbredt på verdensbasis, dette på grunn av de høye kostnadene forbundet med utvinning og produksjon av halvledermateriale, som for eksempel silisium. Denne situasjonen har forandret seg betraktelig de siste årene mye på grunn av en økt satsing på fornybare energikilder. Solceller er nå ikke langt unna å være konkurransedyktige med ikke fornybare energikilder som kull, olje og gass. Bruken av solceller og solfangere vil øke nå som teknologien er tilgjengelig for folk flest, og det stadig er et større fokus på klima og miljø.

Prisen på solceller har sunket betraktelig de siste årene, som følge av økt produksjon, og en stadig nedgang i prisen på silisium. Dette har ført til at solceller har blitt mye mer utbredt og

flere vurderer å installere det på næringsbygg og i private hjem. Tilbakebetalingstiden for solceller er fremdeles noe lang, og derfor er det i hovedsak folk med interesse for solenergi som investerer i det. I dag er det mulig å legge solcelletakstein som erstatter et ellers ordinært tak, men som også produserer elektrisk strøm. Denne typen løsninger er mer estetisk enn den tradisjonelle utformingen av tynnfilm, mono- og polykrystallinske solceller som man ser i figur 1.



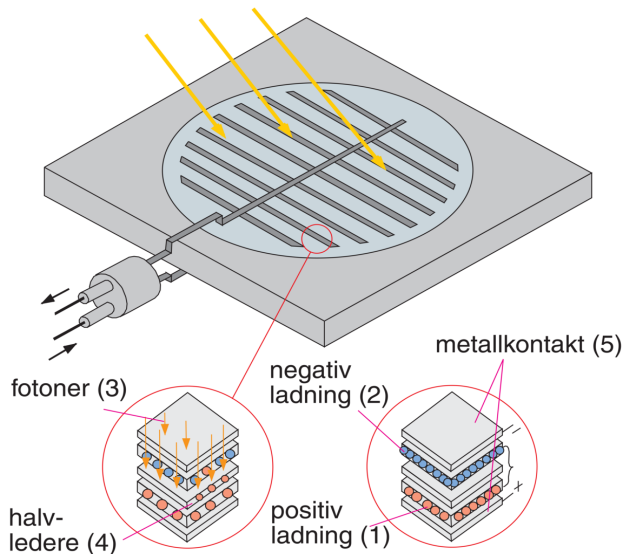
Figur 1: De tre vanligste solcellepanelene på dagens marked (Clean Energy Reviews, 2014) Gjengitt med tillatelse.

2.2 Solceller

Solceller omdanner energien i sollyset som faller på cellene direkte til elektrisk strøm ved hjelp av noe som kalles fotovoltaisk effekt. Fordelen med dette er at en unngår unødvendige tap som ville ha oppstått der den elektriske strømmen måtte ha blitt produsert gjennom flere ledd, som for eksempel i en dampturbin. De vanligste solcellene lages av halvledermaterialet silisium, men det finnes også andre typer celler som består av andre materialer (Mæhlum, 2017).

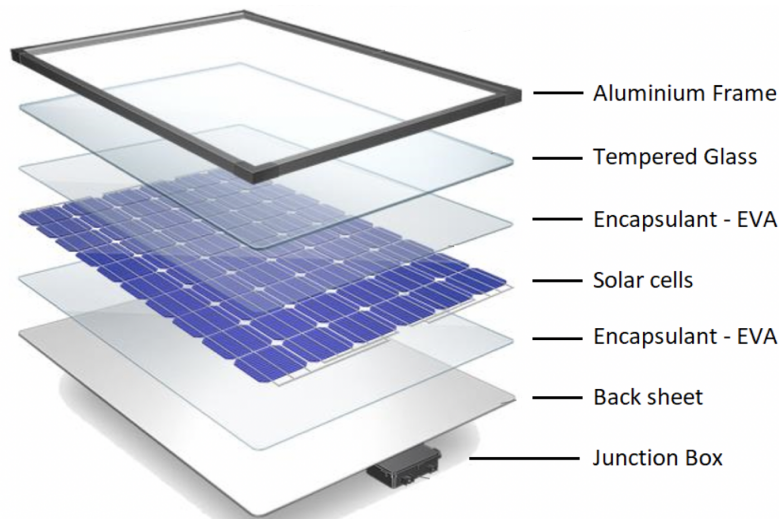
Virkemåten til en solcelle kan forklares med fem punkt som vist i figur 2. I den ene delen av cellen “dopes” halvledermaterialet ned med et stoff som har et valenselektron mindre (1). Det samme skjer i den andre delen, men der “dopes” halvledermaterialet ned med et stoff som har et valenselektron mer (2). På denne måten oppstår det en overgang som blir kalt positiv-

negativ-overgangen (PN-overgang). Når fotoner treffer solcellen (3) vil de slå løs elektroner, og disse elektronene vil prøve å krysse PN-overgangen for å finne en “ledig plass” på den andre siden av overgangen (4). Siden elektronene møter en “vegg” av elektroner med lik ladning som seg selv, vil de frastøte hverandre. Denne egenskapen kan utnyttes, og ved å legge en ledning som går utenfor denne PN-overgangen, vil elektronene vandre fra den ene siden til den andre (5) (Mæhlum, 2017).



Figur 2: Virkemåten til en solcelle (Mæhlum, 2017).

Solcellepaneler har en såkalt “sandwichstruktur” som vist i figur 3. Det betyr at de er konstruert av forskjellige lag som består av ulike materialer. Denne konstruksjonen er holdt sammen av en aluminiumsramme (aluminium frame) som beskytter hjørnene til solcellene, og er med på å stabilisere hele solcellepanelet. Samtidig er aluminiumsrammen lett, solid og meget værbestandig. Deretter kommer et lag med herdet glass (tempered glass) som beskytter mot vær og flyvende gjenstander. Glasset er relativt tynt (kun 3-4 mm tykt), men tåler store belastninger og temperatursvingninger. Hvis det likevel skulle skje at glasset knuses, vil det ende opp i mange små biter og ikke dannes større glasskår med skarpe kanter. Det er en nødvendighet at glasset som benyttes ikke reflekterer for mye av sollyset, men er transparent. Under glasset og rundt selve solcellen (solar cells) ligger det en solid, transparent duk (encapsulant – EVA) som bidrar til ekstra beskyttelse mot fuktighet og uønskede partikler. Denne duken, som er av en type polymer, fungerer også som en elektrisk isolator og bidrar til å forlenge solcellens levetid. Den siste essensielle delen til en solcelle er en koblingsboks (junction box) montert på baksiden (back sheet), som leder den genererte strømmen bort fra cellen (Clean Energy Reviews, 2018).



Figur 3: Solcellepanelets oppbygning (Clean Energy Reviews, 2018).

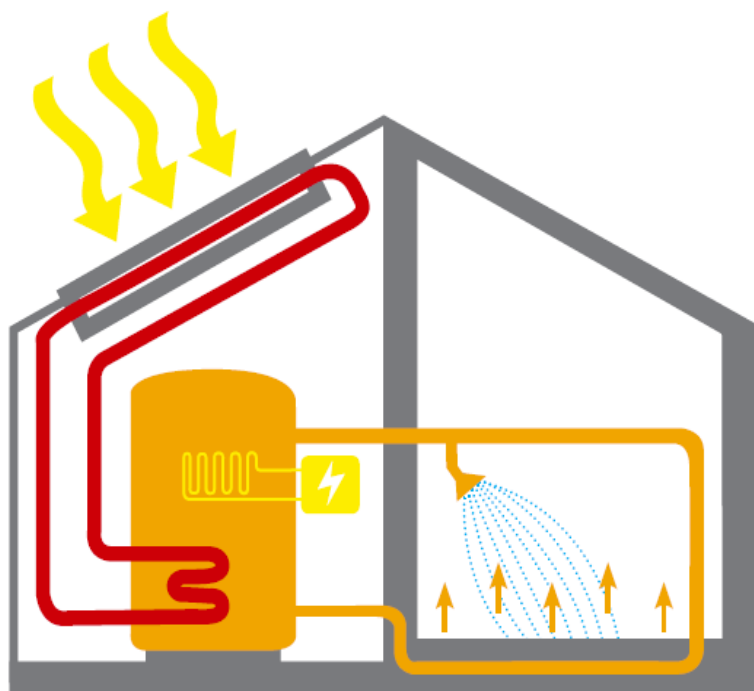
Virkningsgrad er et viktig begrep, som forteller hvor mye av solstrålingen som treffer cellene det er mulig å omforme til elektrisitet. Tabell 1 gir en oversikt over virkningsgraden, fordeler, ulemper og den forventede levetiden til de forskjellige solcelleteknologiene. Som tabellen viser, ligger virkningsgraden for solceller på mellom 7-20% avhengig av celletypen (GreenMatch, 2015). Solceller med en virkningsgrad på oppimot 41% eksisterer, men det er kun oppnådd i laboratorieforsøk der en kan konsentrere sollyset (Renewable Energy UK, u.d.). Utfordringene i solcelleteknologien ligger blant annet i å kunne absorbere en større andel av de ulike bølgelengdene lyset består av (Haug, 2015).

Tabell 1:
Virkningsgraden, fordeler og ulemper samt forventet levetid for de forskjellige typene solcelleteknologi (Sandy, 2017; GreenMatch, 2015).

Type solcelle	η	Fordeler	Ulemper	Levetid
Monokrystallinsk	~20%	Lite temperaturavhengig Høy effektivitet Lang levetid Plassbesparende	Høy pris Mye avfall ved produksjon	> 25 år
Polykrystallinsk	~16%	Lav pris Mindre avfall ved produksjon	Temperaturavhengig Lav effektivitet Plasskrevende Mindre estetisk	> 25 år
Tynnfilm	~7%	Lave kostnader Fleksible Estetisk	Lavest effektivitet Mer plasskrevende Kort levetid	< 10 år

2.3 Solfangere

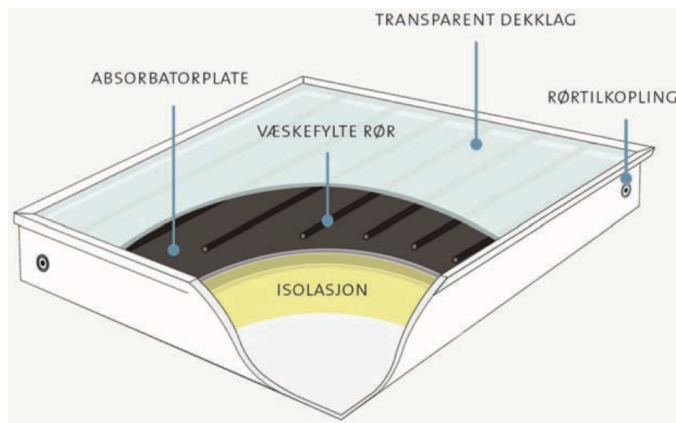
Solfangere generer varme ved å omdanne energien i solstrålene, og denne varmen utnyttes primært i form av oppvarming av rom og tappevann. Et solfangersystem består av flere deler, der selve solfangeren er utendørs og absorberer solenergien. Det er koblet et lagringssystem på solfangeren som lagrer den absorberte energien. Den siste delen er et system som sprer varmen i bygget der installasjonen er montert, som vist i figur 4 (Norsk solenergiforening, u.d.).



Figur 4: De viktigste komponentene i et solfangersystem (Norsk solenergiforening, u.d.).

Solfangerkonstruksjonen er sammensatt av tre komponenter; en topp-, midt- og bunndel, som illustrert i figur 5. Toppdelen består av et transparent materiale som lett slipper inn solstrålene, gjerne glass. Hvis dette materialet har for lav transmittans (ledningsevne) vil strålene bli reflektert av solfangeren, og den energien vil derfor ikke trenge gjennom toppdelen og er dermed ubrukelig. Det glasset også gjør, er å holde på de solstrålene som blir reflektert av absorpsjonsplatene i midtdelen, på samme måte som atmosfæren i drivhuseffekten. Absorpsjonsplatene består av en mørk flate som fører til høy absorpsjonskapasitet. Varmen ledes så til rør som ligger i en sløyfe på absorpsjonsplaten for å kunne ta opp så mye energi som mulig. I disse rørene flyter det som regel vann, eller vann tilsatt for eksempel frostvæske for å hindre at det fryser på vinterstid. Disse rørene blir ledet

inn i en akkumulatortank for å enten varme opp tappevann eller væsken som sirkulerer i varmesystemet i bygningen. Bunn delen av solfangerne består av isolasjon, som er der for å hindre at varmen slipper ut på baksiden av solfangeren og går til spille (Norsk solenergiforening, u.d.). En transparent overflate, en god absorptor og mye isolasjon vil føre til lite emittans, noe som vil si at mesteparten av solenergien er blitt utnyttet.



Figur 5: Oppbygningen av en plan solfanger (Andresen, 2008).

De mest kommersielle solfangerne er glazed- og unglazed plane solfangere og vakuumsolfangere. Sistnevnte har en noe annerledes sammensetning enn det som er beskrevet over. Glazed- og unglazed plane solfangere kan øke temperaturen med henholdsvis 50°C og 10°C, og er vanligst sørover i Europa, der bruken går til for eksempel oppvarming av basseng. Vakuumsolfangere brukes i situasjoner der det trengs en høy temperatur på vannet, da de kan øke temperaturen med 150°C, og egner seg dermed bedre i et kaldere klima (Boyle, 2012).

2.4 Tilgjengelig solinnstråling

Tilgjengelig solinnstråling er avhengig av flere faktorer der små variasjon kan føre til store utslag for den tilgjengelige solinnstrålingen. Tre av disse faktorene er turbiditet, refleksjon og helningsvinkel.

Det første solstrålene treffer når de nærmer seg jorden er atmosfæren. Linke turbiditetsfaktor (T_R) er en måte å beskrive mengden solinnstråling som spres utover, og absorberes i atmosfæren. Den sier noe om den optiske tykkelsen til atmosfæren, altså hvor langt lys kan nå i et medium før energien absorberes (Jan Remund, 2003). Enkelt sagt så beskriver den klarheten i atmosfæren og dempingen av innstrålingen. Verdien på faktoren varierer fra 1 til

7. Hvis værforholdene var perfekte og himmelen helt klar ville faktoren vært tilnærmet lik 1. I Europa om sommeren er det ofte mye vanndamp i atmosfæren som gjør at himmelen er mer hvit enn blå, derfor vil turbiditeten vanligvis ligge på omkring 3. I byer med mye luftforurensing kan faktoren være opp mot 6-7 (SoDa, 2017).

En andel av solstrålene som har trengt gjennom atmosfæren og nådd jorden reflekteres ut igjen. Refleksjonskoeffisienten (ρ), eller albedo, er et mål på mengden diffus stråling som reflekteres fra en overflate. Albedo har ingen enhet, men representeres normalt med en verdi fra 0 til 1, eller tilsvarende i prosent. Koeffisienten anvendes ofte innenfor astronomi og klimatologi. Det antas at jorden har en albedo på omtrent 0,35 på grunn av blant annet skyer i atmosfæren, og at denne påvirkes i noen grad av topografien på ulike steder. For eksempel vil mørke vannoverflater ha en albedo på mindre enn 0,10 i motsetning til nysnø som har den høyeste albedoen på nærmere 0,90 (Myhre, 2018).

Det finnes mange ulike faktorer som kan påvirke hvor mye lys som reflekteres på en flate, eksempelvis trær. Hovedårsaken er at lite lys reflekteres i områder med mye skog, da mesteparten av UV-strålene og det synlige lyset tas opp gjennom fotosyntesen. Ellers er det skyene som står for den største andelen av reflektert sollys. Menneskelige aktiviteter som jordbruk og avskoging er også utslagsgivende for mengden reflektert stråling (Myhre, 2018).

Den andelen av solstrålene som ikke har blitt reflektert er de som kan utnyttes i et solenergisystem. For å finne ut hvor mye som kan bli omgjort til nyttbar energi vil helningen til overflaten strålene treffer være av stor betydning. Helningsvinkelen (β) er vinkelen mellom en plan overflate, som regel solcellen/solfangeren, og horisontal (Boyle, 2012). Om solcellen/solfangeren ligger flatt på bakken eller tak vil helningen være 0° . I motsetning vil vinklingen være 90° om den er veggmontert. Om vinkelen er 90° vil det stråle en større mengde lys på flaten når solen står lavt på himmelen, enn om den hadde vært 0° .

2.5 Strøm, strømpris og prisutviklingen

Strøm er ikke noe som på magisk vis oppstår fra intet, den må genereres. I Norge produseres ca. 98% av strømmen med vannkraft og den årlige kraftproduksjonen er på ca. 150 TWh (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018). For å produsere strøm i vannkraftverk utnyttes den potensielle og kinetiske energien til vannet. Vannet føres inn på en vannturbin som konverterer den mekaniske energien til rotasjonsenergi. Denne rotasjonsenergien brukes til å

drive en generator som omformer den mekaniske energien til elektrisk energi. For å kunne regulere hvor mye strøm som produseres, har Norge ca. 1000 vannmagasiner med en samlet kapasitet på omtrent 70% av det årlige kraftforbruket (Energifakta Norge, 2019). Utenom vannkraft benyttes også vindkraft til å produsere noe av strømmen her i landet. På grunn av den store magasinkapasiteten er det snakk om at Norge skal fungere som Europas grønne batteri.

Prisen på strømmen avhenger av ulike elementer. Den består av en kraftpris og nettleie, der sistnevnte består av et fast og et variabelt ledd. I disse to leddene inngår en avgift til Enova og en forbruksavgift til staten som det også betales merverdiavgift på (Energis Norge, 2018). Kraftprisen varierer gjennom året og nettleien endrer seg avhengig av hvor du bor. Det er mange faktorer som er med på å påvirke strømprisen, en av disse er nedbør. Hvis det er mye nedbør og vannmagasinene har en høy fyllingsgrad vil dette føre til et utslag på strømprisen i form av at den synker. Er det derimot et tørt år med lite nedbør og et høyt forbruk vil prisen stige. I tillegg vil også temperaturen ha en innvirkning på strømprisen der lav temperatur fører til høyere priser og vice versa (Skagerak kraft, u.d.).

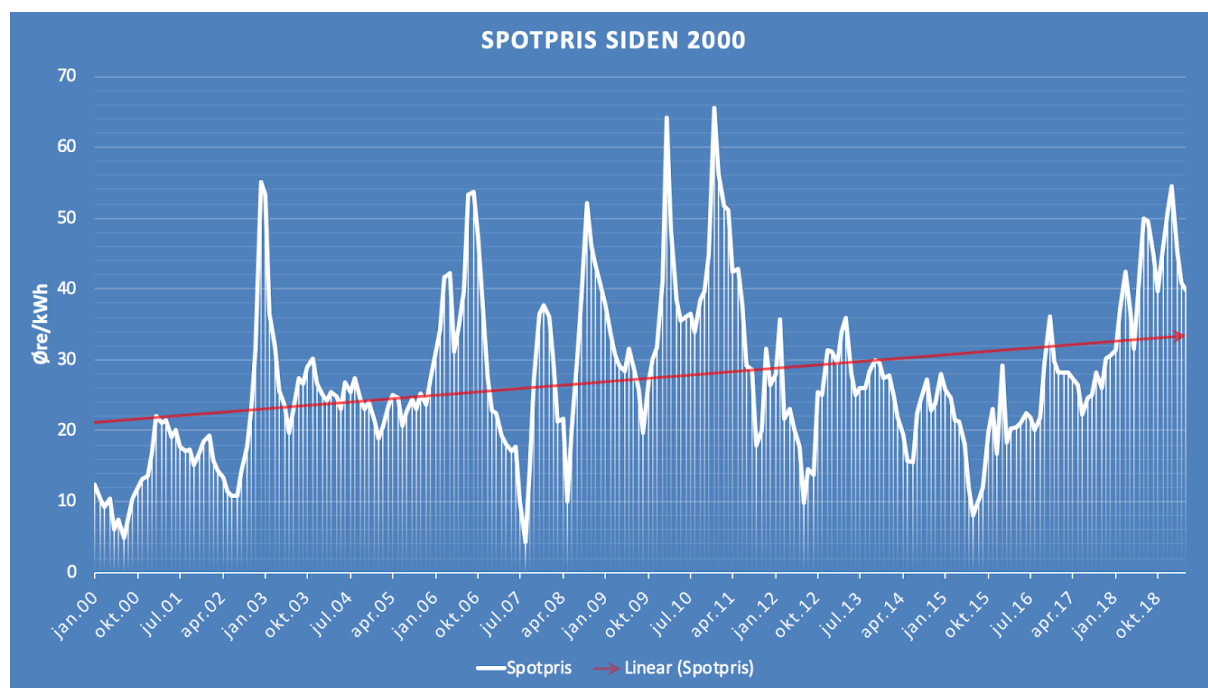
Norge er del av det europeiske kraftmarkedet og har kraftforbindelser til blant annet Russland, Polen og Tyskland (Ursin, 2018). Denne forbindelsen gjør det mulig å handle strøm avhengig av når det er mest gunstig. En av de største ulempene ved dette er at den importerte strømmen ikke er like fornybar sammenlignet med strømmen som genereres i Norge. Som nevnt tidligere er 98% av strømproduksjonen fra vannkraft og dermed fornybar, men med et flytende strømmarked er strømforbruket kun 54% fornybart ifølge Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Det vil si at 46% av strømmen vi forbruker her til lands kommer fra europeisk varmekraft, som i hovedsak består av kullkraft. CO₂-faktoren for den norske kraftproduksjonen er på 16,4 g/kWh, noe som er veldig lavt sammenlignet med den nasjonale varedeklarasjonen som ifølge NVE var på 531 g/kWh i 2017 (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018).

Det er vanskelig å si hvordan strømprisen kommer til å bli i fremtiden, men det kan tenkes at utfasingen av kull, olje og gass vil føre med seg en oppgang for å subsidiere utbygging av fornybar energi. De siste årene har strømprisen (inkludert avgifter og nettleie) steget jevnt som en kan se i figur 6. Det er nesten umulig å si hvordan kraftmarkedet kommer til å utvikle seg fordi det svinger mye avhengig av for eksempel politikk og nedbør. En økning vil likevel

være realistisk å se for seg, men hvor stor den kommer til å bli er det ingen som vet helt sikkert.

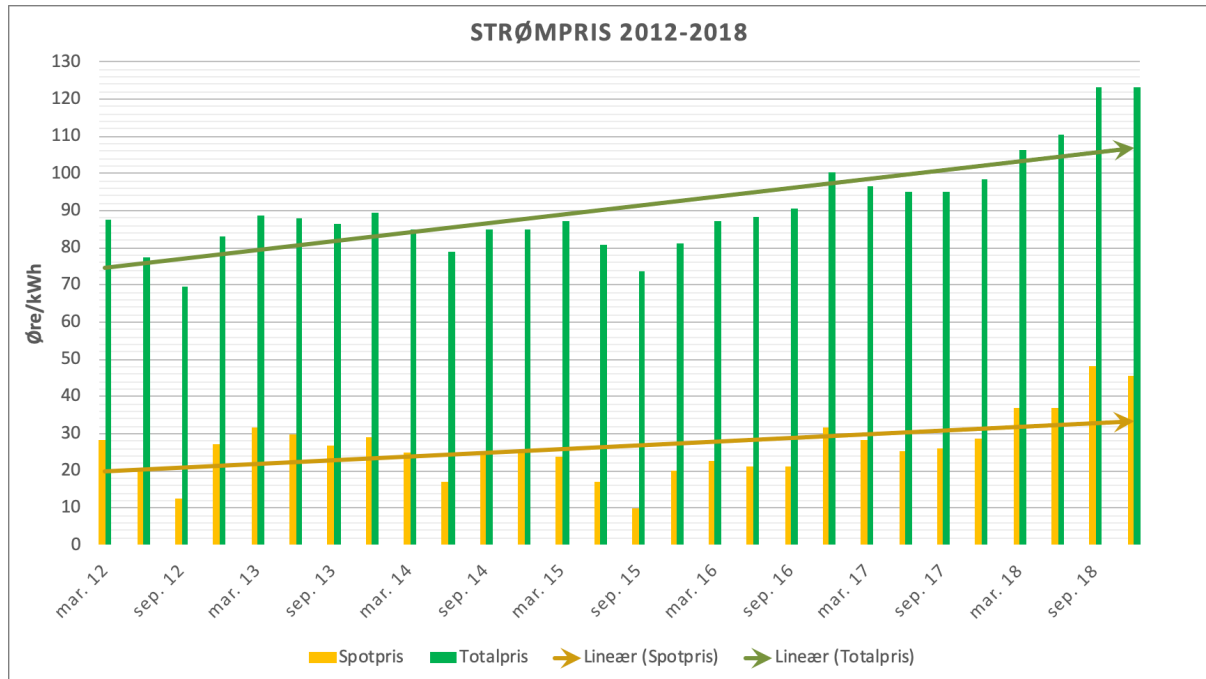
Samtidig som strømmen blir dyrere, øker forbruket av elektrisitet i Norge. Befolkningsvekst, utbygging av datasentre, økt satsing på kraftkrevende industri innen blant annet olje- og gasssektoren, og økt velstand er noen av årsakene til et økende elektrisitetsforbruk.

Overgangen fra fossilt drevne biler til elbiler vil også føre til at forbruket øker betydelig. På grunn av dette vil det være nødvendig å bygge ut kraftnettet i Norge, og det på kundens regning. Grunnen til det er at produksjonskapasiteten ikke klarer å holde følge med forbruket. Dette vil føre til at prisene, og da særlig nettleien, stiger som en direkte konsekvens av utbyggingen av kraftnettet (Hovland, 2018).



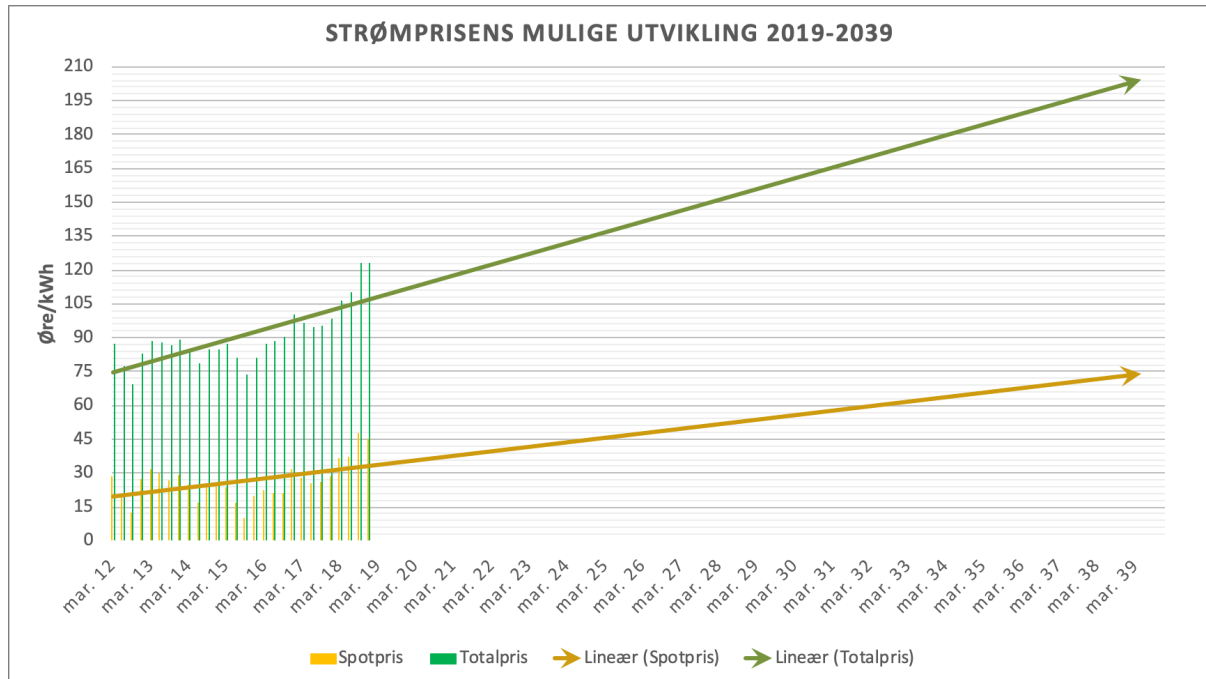
Figur 6: Spotprisens utvikling siden 2000 (Nord Pool, 2019).

Figur 6 viser at spotprisen har steget med 50% siden 2000, som er en betraktelig økning. Den røde pilen i grafen over er en trendlinje, og en slik linje brukes til å fastslå utviklingen over tid. I dette tilfellet ser man at pilen går oppover, noe som tilsier at prisen stiger. Det som man må legge merke til er at dette kun er prisen for selve strømmen, altså spotprisen. Det vil si at dette ikke inkluderer avgifter, merverdiavgift og nettleie. I takt med at prisen for strømmen går opp, vil også, som tidligere nevnt, avgiftene og nettleien gå opp. Over de siste 19 årene har det vært store variasjoner, men trenden kan tydelig sees (Nord Pool, 2019).



Figur 7: Økningen i spotprisen og den totale strømprisen inkludert nettleie og avgifter fra 2012 til 2018 (Statistisk sentralbyrå, 2018).

For enklere å kunne sammenligne spotprisen og totalprisen, er disse satt inn i samme graf (figur 7). Totalprisen inkluderer spotpris, nettleie, merverdiavgift og avgifter som forbruksavgift på elkraft. I motsetning til grafen i figur 6, er grafen over kun i perioden 2012-2018. Her ser vi at strømprisen har steget med 50% på de siste syv årene, samt at trenden for totalprisen er brattere enn for spotprisen. Vi kom frem til at trendlinjen til totalprisen har et stigningstall på 0,013, noe som vil tilsa en lineær økning på 1,3% hvert år. For å gjøre økonomiske vurderinger av solenergiløsningene har vi, basert på informasjonen over, laget en prognose for strømprisene som man kan se i figur 8. Prognosen baserer seg på at det ikke vil være store endringer i inflasjon eller rente.

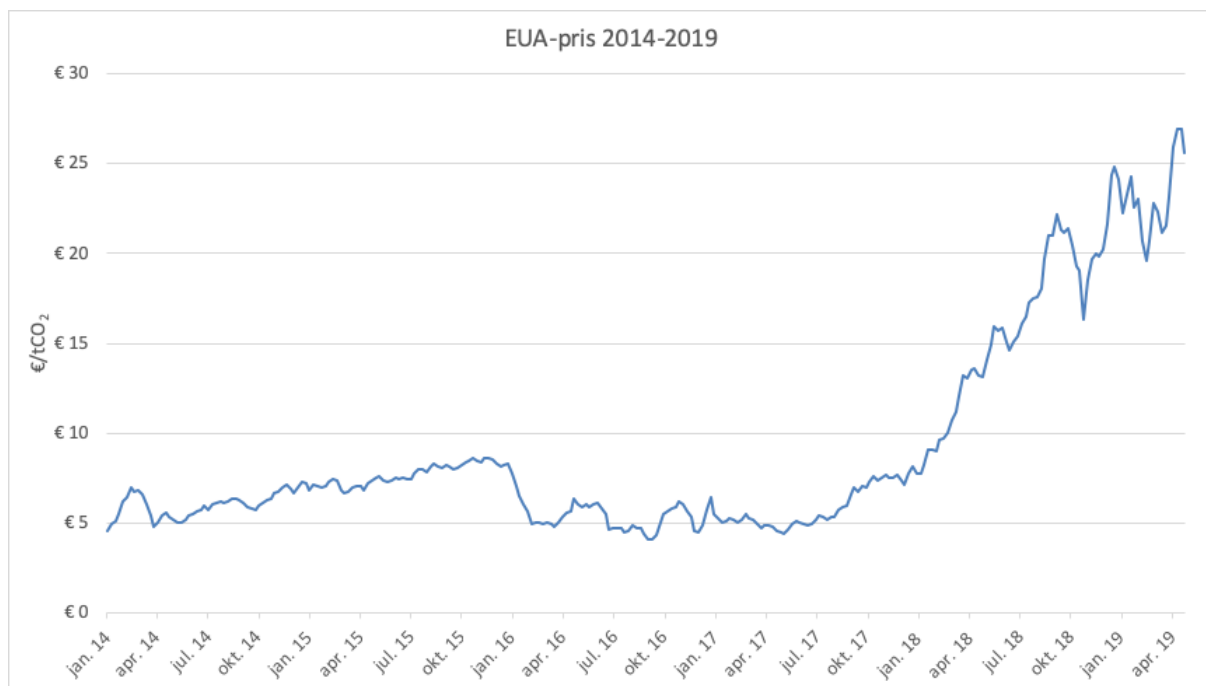


Figur 8: Vår prognose på spotpris og strømpris (Nord Pool, 2019; Statistisk sentralbyrå, 2018).

2.6 CO₂-kvotepris

I Europa eksisterer det et klimakvotestystem som gir land muligheten til å kjøpe eller selge retten til utslipp av et gitt antall tonn CO₂. Dette systemet gir myndighetene muligheten til å vedta en maksimal utslippsgrense som må etterleves av bedrifter. Derimot er det kun noen utvalgte sektorer som inngår i kvotesystemet, som for eksempel kraftproduksjon og energikrevende industri. I lang tid var det et problem med lav etterspørsel etter klimakvoter, som førte til at prisene gikk ned grunnet et stort kvoteoverskudd (Energi og klima, 2019). En del av denne trenden ser man i perioden 2014 til 2017 i figur 9. I 2017 kom landene i EU og Europaparlamentet til enighet om endringer som skulle forbedre kvotesystemet, og som en direkte konsekvens av dette vedtaket har kvoteprisen steget betraktelig siden 2017 som man ser i samme figur (Energi og klima, 2019).

Figur 9 viser at EUA (European Emission Allowances)-prisen i løpet av første kvartal 2019 har ligget på rundt 20-27 €/tCO₂ (Twidale, 2019). I markedet er det en stigende trend på prisene, og ifølge ulike analytikere kan kvoteprisen dobles i løpet av noen få år og firedobles innen 2030 (Carbon tracker, 2018). På bakgrunn i dette vil det i denne oppgaven opereres det med en økning av EUA-prisen på 2,7% hvert år.



Figur 9: CO₂-kvotens prisutvikling siden 2014 (Sandbag, 2019).

3 Vurderingsmetode

Den mest essensielle delen av oppgaven gikk ut på å beregne solinnstrålingen for studieområdet som var Biri omsorgssenter for å finne ut potensialet for energiproduksjon. Med tanke på den teknologiske kompetansen og utstyret en besitter i dag, er det naturlig for bedrifter som tar for seg montering, rådgivning og prosjektering av solenergi å benytte simuleringsprogrammer. Dette for å finne de mest egnede områdene for energiproduksjon. Det finnes tilsvarende programmer som vi kunne ha benyttet oss av, men med disse er det ikke mulig å gjøre spesifikke endringer i formlene som beregner solinnstrålingen. Derimot er det mulig å gjøre dette hvis en regner ut solinnstrålingen manuelt ved hjelp av for eksempel Excel. Grunnen er at formelen for solinnstråling krever at man først beregner en rekke andre variabler. Disse variablene er ulike vinkler og faktorer som er direkte avhengig av hverandre. I dette tilfellet var det snakk om å endre blant annet: helningsvinkel, refleksjonskoeffisient og turbiditetsfaktoren. Ved å foreta endringer i disse tre verdiene vil den beregnede totale solinnstrålingen variere, og resultatet vil bli en energiproduksjon som er lavere eller høyere avhengig av hva som endres.

Styrken med å gjøre beregningene på en slik måte er at en kan få med seg, og ta hensyn til lokale variasjoner i beliggenhet, vær og klima. Videre er det mulig å endre helningsvinkelen til solcellene for å finne ut hva som vil være det mest optimale for energiproduksjonen i en gitt situasjon og tilpasse deretter. For eksempel kan en simulere hvordan energiproduksjonen fra solceller påvirkes om mindre stråling reflekteres tilbake ut i verdensrommet, som følge av mindre snø og is grunnet temperaturstigningen. Et annet eksempel er økningen av turbiditet grunnet luftforurensing i store byer (SoDa, 2017).

Alle metoder har sine svake sider og det gjelder også for denne. For det første er alle beregningene gjort i Excel, noe som muliggjør menneskelige feil i større grad enn i et simuleringsprogram. I tillegg vil det være mindre usikkerhet tilknyttet simuleringsprogrammer fordi de benytter seg av et større datagrunnlag som øker nøyaktigheten. Verdiene våre baserer seg på et begrenset antall beregninger og et mindre kvantum av datamateriale som kan føre til større variasjoner med betydning for måleresultatene.

3.1 Refleksjonskoeffisient

Det er vanskelig å finne nøyaktige verdier for denne koeffisienten siden den i stor grad avhenger av både geografiske- og meteorologiske forhold som stadig forandrer seg. Derfor var det nødvendig å gjøre fornuftige antagelser for hver av månedene i løpet av et år, basert på faglig kompetanse. I analysene som blir gjort i denne oppgaven er det refleksjonskoeffisientene i tabell 2 som brukes.

Tabell 2:
Refleksjonskoeffisientene som brukes i videre analyser.

Måned	jan.	feb.	mars	apr.	mai	juni	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	des.
ρ	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6

3.2 Turbiditet

For å finne turbiditetsfaktorer for Biri omsorgssenter benyttet vi en webtjeneste fra SoDa, hvor vi hentet ut månedlige verdier for Biri (SoDa, 2017).

For å se sensitiviteten til turbiditetsfaktoren valgte vi å ta for oss ti posisjoner rundt omsorgssenteret på Biri, men en radius på én kilometer som man kan se i figur 14 i kapittel 5. Ved å benytte programvare fra Google Earth var det mulig å finne den nøyaktige posisjonen og elevasjonen til de forskjellige punktene. Med data fra disse ti stedene ble SoDa igjen benyttet for å finne turbiditetsfaktoren. Noen av resultatene etter simuleringene for november og desember ble korrigert, da de avvok betydelig fra de andre verdiene. Hvis en ikke hadde foretatt seg noen endringer for disse månedene, ville mengden solinnstråling vært usannsynlig høy med tanke på årstiden. Dette ble gjort med hensikt i å gi den beste tilnærmingen til virkeligheten.

Dataene som webtjenesten benytter seg av for å beregne turbiditeten kommer fra en sammensetning av informasjon fra satellitter og målinger gjort på jordoverflaten i 2003 (SoDa, 2017). Grunnet gamle verdier er det en reell mulighet for at de har endret seg siden da. Denne metoden var den beste som ble funnet for å beregne turbiditetsfaktoren, da alternativet ville vært å gjøre antagelser med lite grunnlag.

3.3 Kombinasjon av energiforbruk og energihøsting

For å ha et sammenligningsgrunnlag (solceller/solfanger kontra elektrisitet fra kraftnettet) i oppgaven ble det tatt utgangspunkt i et energinotat utarbeidet av Sweco som beregnet blant annet det totale netto energibehovet, tappevannsbehovet og oppvarmingsbehovet i løpet av et år ved Biri omsorgssenter (Sweco, 2018). Dette muliggjør beregninger for hvilke kostnader som er å forvente hvis en hadde dekket hele energibehovet med strøm. Siden det uten en detaljert vurdering av bygningens energibehov, og slik få et forbruksmønster for varme utover varmtvann, ble det vanskelig å detaljert beregne energiproduksjonens dekningsgrad. Den beste tilnærmingen vi kom frem til var å beregne energiforbruket ut fra forskjellige typer boliger, og dermed finne den prosentvise fordelingen for et år.

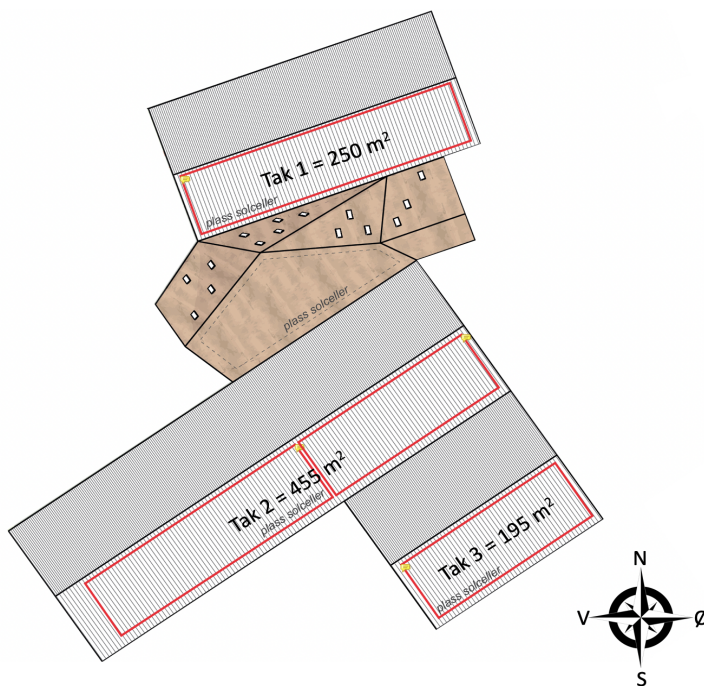
Etter å ha beregnet solinnstrålingen per kvadratmeter kalkuleres det hvor mange kilowattimer det er mulig å produsere hver måned. For å gjøre dette må solinnstrålingen per kvadratmeter multipliseres med soltimene for den måneden. Det ble tatt utgangspunkt i dataene fra en nettside som illustrerte tidene for soloppgang og solnedgang på Biri (Timeanddate, 2019).

4 Biri omsorgssenter

Biri omsorgssenter ligger i åpent lende på breddegrad 60,9518, og bruksarealet (BRA) er 4416 m² som er grovt fordelt på fire bokollektiv, kafé og aktivitetssenter, velværesenter, administrasjonslokaler, kjøkken, lager og tekniske rom (Sweco, 2018). Det totale energibehovet for hele omsorgssenteret er beregnet til 560,7 MWh. 44,1% av dette er varmebehovet som igjen består av 131,6 MWh til varmtvann og 115,8 MWh til oppvarming (uten bruk av varmepumpe). De resterende 55,9% går til elspesifikke formål (Sweco, 2018).

Figur 10 viser en illustrasjon av omsorgssenteret i fugleperspektiv. Hvert av takene har fått et nummer som vil bli brukt når det refereres til det konkrete taket senere i oppgaven. Arealet som er innenfor det markerte røde området på takene i figuren, er der det er mulig å plassere solcellepaneler og solfangere med tanke på takkonstruksjonen.

For å kunne gjøre beregninger tilknyttet omsorgssenteret trengs det informasjon om blant annet breddegrad, bruksarealet, energibehov, takvinkler og takareal. Disse opplysningene ble gitt til oss av Sweco, og alle utregninger tar utgangspunkt i tall fra dem (Sweco, 2018).



Figur 10: Takflatene på Biri omsorgssenter og størrelsen på arealene det er mulig å plassere solcellepaneler og solfangere (Sweco, 2018).

Under følger tabell 3 som viser helningsvinkelen for takene, samt arealet det er gunstig å installere et solenergisystem på og den gjennomsnittlige årlige solinnstrålingen, se kapittel 4.1 for beregningen av solinnstrålingen.

Tabell 3:

Helningsvinklene til takene, samt det egnede arealet for installasjon av solcellepaneler og solfangere og den gjennomsnittlige årlige solinnstrålingen for hvert tak.

Tak	Helningsvinkel β	Egnet areal for installasjon av solcellepanel/solfangere [m ²]	Gjennomsnittlig årlig solinnstråling [W/m ²]
1	25,5°	250	206,63
2	16,5°	455	204,36
3	25,5°	195	206,63

4.1 Beregning av solinnstråling

Total solinnstråling er beregnet ved å finne solinnstrålingen for hver time mellom kl. 08:00 og kl. 17:00 for den 22. i hver måned. Deretter er gjennomsnittet av de ti times-verdiene (fra kl. 08-17) beregnet, og satt som den spesifikke dagens solinnstråling som representerer hele måneden. Under følger et eksempel på hvordan solinnstrålingen ble regnet ut for 22. juni, kl. 08:00, med helningsvinkel $\beta = 25,5^\circ$.

Deklinasjonsvinkelen δ er

$$\delta = 23,45 * \sin\left(\frac{360}{365} * (184 * n)\right) \quad (4.1)$$

hvor $n = 174$, fordi 22. juni er den 174. dagen i året.

$$\delta_{174} = 23,45 * \sin\left(\frac{360}{365} * (284 + 174)\right) = 23,45^\circ$$

Timevinkelen ω er

$$\omega = (ST - 12) * 15^\circ \quad (4.2)$$

hvor $ST = 8$ er klokkeslettet.

$$\omega_8 = (8 - 12) * 15^\circ = -60^\circ$$

Innfallsvinkelen for en *horisontal* overflate θ_z er

$$\cos \theta_z = \cos \delta * \cos \phi * \cos \omega + \sin \delta * \sin \phi \quad (4.3)$$

$$\cos \theta_z = \cos 23,45^\circ * \cos 60,9518^\circ * \cos(-60^\circ) + \sin 23,45^\circ * \sin 60,9518^\circ = 0,57$$

$$\Rightarrow \theta_z = 55,21^\circ$$

Innfallsvinkelen for en *skrå* overflate vendt rett sør θ_i er

$$\cos \theta_i = \cos(\phi - \beta) * \cos \delta * \cos \omega + \sin \delta * (\phi - \beta) \quad (4.4)$$

$$\cos \theta_i = \cos(60,9518^\circ - 25,5^\circ) * \cos 23,45^\circ * \cos(-60^\circ) + \sin 23,45^\circ * (60,9518^\circ - 25,5^\circ) = 0,62$$

$$\Rightarrow \theta_i = 51,69^\circ$$

Solhøyden α er

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (4.5)$$

$$\alpha = 90^\circ - 55,21^\circ = 34,79^\circ$$

Solinnstrålingen på en vinkelrett overflate fra solens nåværende himmelposisjon I_N er

$$I_N = I_{ext} * e^{\frac{-T_R}{0,9+0,94*\sin\alpha}} \quad (4.6)$$

hvor $T_R = 3,7$ er turbiditetsfaktoren og $I_{ext} = 1367 \frac{W}{m^2}$ er solkonstanten.

$$= 1367 \frac{W}{m^2} * e^{\frac{-3,7}{0,9+0,94*\sin 34,79^\circ}} = 104 \frac{W}{m^2}$$

Fluksen av beam (direkte) solinnstråling på en horisontal overflate I_b er

$$I_b = I_N * \cos \theta_z \quad (4.7)$$

$$I_b = 104 \frac{W}{m^2} * 0,57 = 59,34 \frac{W}{m^2}$$

Fluksen av beam (direkte) solinnstråling på en skrånende overflate I'_b er

$$I'_b = I_N * \cos \theta_i \quad (4.8)$$

$$I'_b = 104 \frac{W}{m^2} * 0,62 = 64,48 \frac{W}{m^2}$$

Fluksen av diffus solinnstråling på en horisontal overflate I_d er

$$I_d = \frac{1}{3} * (I_{ext} - I_N) * \cos \theta_z \quad (4.9)$$

$$I_d = \frac{1}{3} * \left(1367 \frac{W}{m^2} - 104 \frac{W}{m^2} \right) * 0,57 = 240,22 \frac{W}{m^2}$$

Beam solinnstråling R_b er

$$R_b = \frac{I'_b}{I_b} = \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_z} \quad (4.10)$$

$$R_b = \frac{64,48^\circ}{59,34^\circ} = \frac{0,62}{0,57} = 1,09$$

Diffus omregningsfaktor R_d er

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (4.11)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos 25,5^\circ}{2} = 0,95$$

Refleksjon omregningsfaktor R_r er

$$R_r = \rho * \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (4.12)$$

hvor $\rho = 0,2$ er refleksjonskoeffisienten.

$$R_r = 0,2 * \frac{1 - \cos 25,5^\circ}{2} = 0,0097$$

Den totale solinnstrålingen I_T er

$$I_T = I_b * R_b + I_d * R_d + R_r(I_b + I_d) \quad (4.13)$$

$$I_T = 59,34 \frac{W}{m^2} * 1,09 + 240,22 \frac{W}{m^2} * 0,95 + 0,0097(59,34 \frac{W}{m^2} + 240,22 \frac{W}{m^2})$$

$$= 295,90 \frac{W}{m^2}$$

5 Solenergi ved Biri omsorgssenter

5.1 Valg av alternativer

Det er vedtatt at solenergi skal være en del av byggeprosjektet, men ikke spesifisert størrelsen på solenergisystemene, ei heller i hvilken grad de skal bestå av solceller eller solfangere.

Derfor ble det i denne oppgaven valgt ut to mulige energisystemer for å undersøke hva det mulige utfallet vil bli ved en eventuell realisering. Alternativene vil gjøre det mulig å få et sammenligningsgrunnlag som vil være opphavet til resultatene i analysen, og deretter gjøre det mulig å trekke en konklusjon. Det første alternativet vil være å kombinere solceller og solfangere til et solenergisystem på taket til omsorgssenteret. Her blir det lagt vekt på å finne det ideelle forholdet mellom solceller og solfangere for best å dekke energiforbruket på Biri omsorgssenter. Det andre alternativet er å installere kun solcellepanel på alle takflater, med vekt på optimaliseringen av disse.

En dekningsgrad på 100% ved hjelp av solfangere er ikke realistisk å oppnå i løpet av et helt år, og heller ikke nødvendig fordi varmeproduksjonen ikke vil samsvare med varmebehovet til enhver tid. En mer realistisk tilnærming i dette tilfellet vil være å ta utgangspunkt i å dekke halvparten av det varme tappevannsbehovet. Solfangerne er mer effektive når det gjelder oppvarming av vann sammenlignet med å bruke strøm fra for eksempel en solcelle. På en annen side er det ikke umulig å kun benytte solceller til å dekke hele energibehovet til et bygg, men i stor grad urealistisk med tanke på hvor stor investeringskostnaden ville ha blitt og takarealene som måtte ha blitt dekket med solceller.

5.1.1 Alternativ 1 - Kombinasjon av solcellepaneler og solfangere

Det kan tenkes at den mest naturlige sammensetningen av et energisystem vil være en kombinasjon av solceller og solfangere siden dette vil gi en form for balanse i systemet, og ikke være for avhengig av et segment. I tillegg er det interessant å se hvordan hver enkelt del i solenergisystemene måler seg opp mot hverandre i form av hvor høy dekningsgrad det er mulig å oppnå, og hvilken kombinasjon som vil ha størst økonomisk lønnsomhet.

Et energisystem som kombinerer både solceller og solfangere vil være fordelaktig fordi solfangere har, som tidligere nevnt, en høy virkningsgrad. Fordelen med solfangerne er at energien som høstes fra solen overføres direkte til varmtvann, uten noe tapsledd. Om man kun

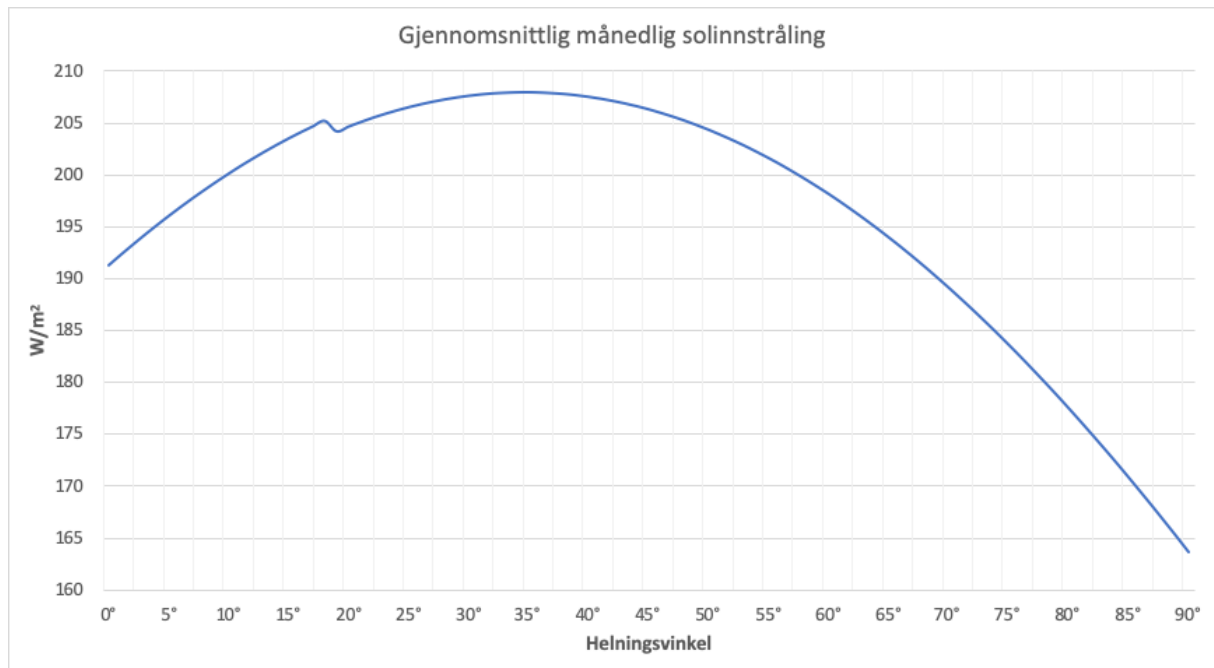
har solceller, men fremdeles ønsker å dekke varmtvannsbehovet med solenergi, er det dårlig business. For det første har solcellene en mye lavere virkningsgrad enn solfangere, noe som fører til at energi fra en mye større flate må brukes til å varme opp samme mengden vann (Energiverket, u.d.). Det vil si at solfangerne er mer plasseffektive for sitt formål enn det solcellene vil være.

I dette alternativet settes helningsvinkelen på solenergisystemet lik helningsvinkelen til takene, som er vist i tabell 3 i kapittel 4. Hovedgrunnen til at det vil være en idé å installere det i flukt med taket, er at forskjellen på solinnstrålingen fra en helningsvinkel på 15° til en helningsvinkel på 45° er liten, som man kan se i figur 11 i kapittel 5.1.2. En annen grunn er at en installasjon i flukt med taket vil føre til en lavere installasjonskostnad, da det ikke vil være nødvendig å bruke ekstra ressurser på å installere et monteringsystem for å holde panelene i den optimale vinkelen. Et annet argument er at det potensielt vil være lettere for snø å gli av taket. Om vinklingen til panelet er større enn takvinkelen, vil snøen gli av solenergisystemet men samle seg nederst, bak panelet som er montert foran. Potensielt vil snøen bygge seg opp og dekke solcellepanelet/solfangeren. I et alternativ der panelene installeres i samsvar med takets vinkel vil snøen kunne gli fra det øverste panelet til det nederste, uten å bli hindret. Det fører til at snøen detter ned på bakken fra tak 3 og sørligste del av tak 2, mens snøen fra tak 1 og den nordligste delen av tak 2 vil hope seg opp da de nevnte takene ikke er frittstående som vises i figur 10 i kapittel 4. Der vil det eventuelt være mulig å få montert en løsning som tiner snøen, eller måke snøen ned for hånd. Om solcellene/solfangerne er montert i parallell med taket vil de også være mindre utsatt for vær og vind, og da spesielt sistnevnte, som fører til lavere vedlikehold og medfølgende kostnader.

5.1.2 Alternativ 2 - Solceller på alle tak med optimalisert helningsvinkel

Når man skal installere solceller er det viktig å plassere de slik at det absorberes mest mulig solstråling. Dette alternativet omhandler nettopp det å få mest mulig ut av mengden solstråling som treffer en overflate. For at solcellene skal kunne virke med høyest mulig effektivitet er helningsvinkelen en viktig faktor. Grafen i figur 11 viser hvordan den gjennomsnittlige solinnstrålingen forandrer seg ut fra helningsvinkelen på overflaten. For å få høyest snitt, ifølge våre beregninger, vil det være best å montere med en helningsvinkel lik 35° , som gir en gjennomsnittlig årlig solinnstråling på $207,93 \text{ W/m}^2$. Hakket som vises mellom $17,5^\circ$ og 20° kommer av gjennomsnittsberegningen, som blir diskutert i kapittel 7.3.2. Som nevnt i kapittel 5.1.1 er det flere utfordringer ved å montere panelene i en annen

helningsvinkel enn taket, men om det fører til mer energiproduksjon så er det en mulighet for at man kan spare det inn, og muligens tjene på det over anleggets levetid.



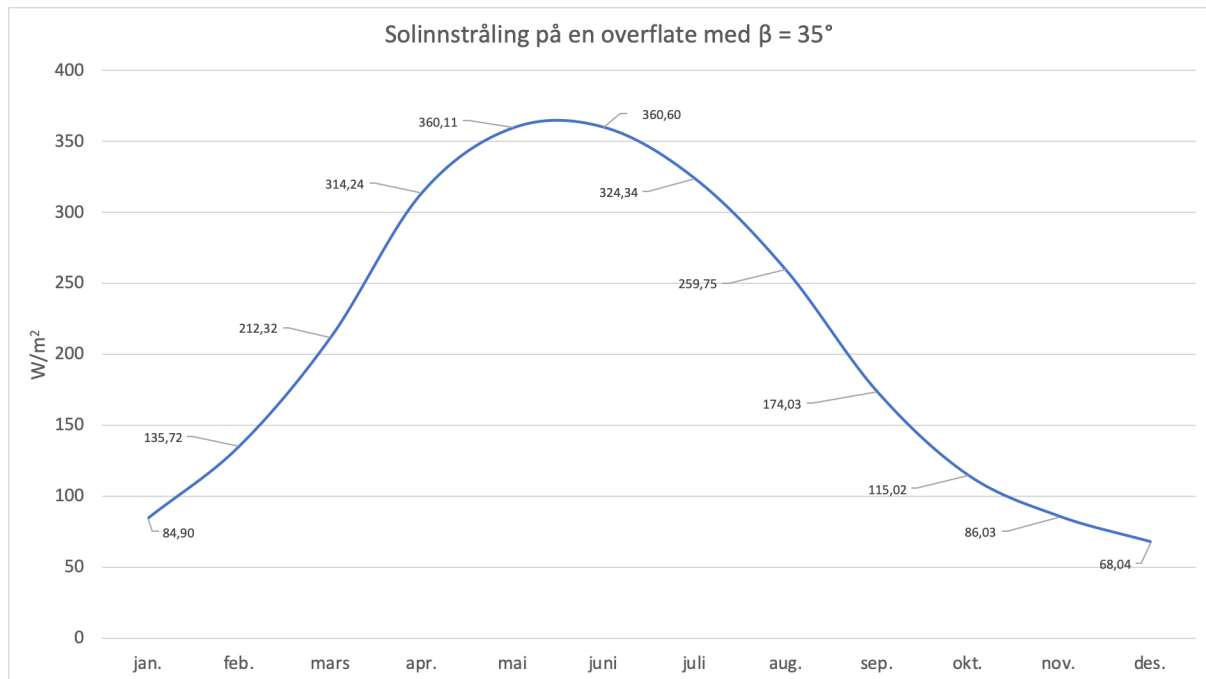
Figur 11: Forandringene til den gjennomsnittlige solinnstrålingen med helningsvinkler fra 0-90°.

5.2 Energiproduksjon

For å kunne beregne hvor mye energi solcellene og solfangerne klarer å generere hvert år, trengs forskjellige variabler. Under følger en forklaring på hvordan dette gjøres. Legg merke til at tallene som brukes her er for en helningsvinkel på 35°, og ved andre helningsvinkler vil kurvene og resultatene være forskjellige fra disse. Det første som må gjøres er å beregne energiproduksjonen per areal. Deretter benyttes de forskjellige virkningsgradene og ytelsesforholdene for panelene og systemene, samt takarealet det skal installeres på for å finne energiproduksjonen.

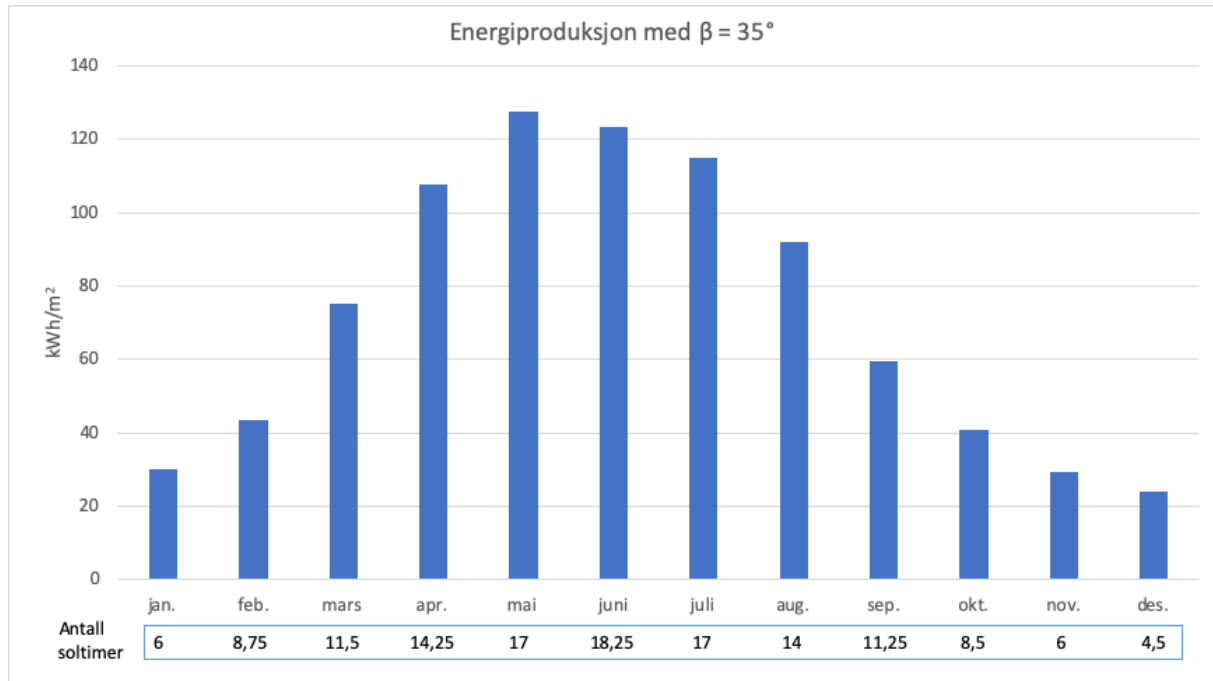
Solinnstrålingen i figur 12 gir et mål på hvor mye effekt per kvadratmeter det er mulig å utnytte i gjennomsnitt, i løpet av hver måned, over et helt år ved Biri omsorgssenter. Et eksempel på hvordan dette ble regnet ut, ble beskrevet i kapittel 4.1. Figuren viser hvordan

solinnstrålingen varierer gjennom året på Biri gitt en helningsvinkel på 35° . Det vil være lavest solinnstråling i vintermånedene, og høyest i sommermånedene.



Figur 12: Solinnstrålingen over året på en flate med helningsvinkel lik 35° .

Figur 13 viser solinnstrålingen i kilowattime per kvadratmeter. Denne figuren gjenspeiler det samme som figur 12, men forskjellen er at effekten har blitt multiplisert med snittet av antall soltimer for hver måned, som er 11,42 timer for Biri (Timeanddate, 2019). Det fører til at med en helningsvinkel lik 35° , er energiproduksjonen per areal i løpet av et år på $867,7 \text{ kWh/m}^2$, som ligger innenfor innstrålingsverdiene i Norge og er mellom $700\text{-}1000 \text{ kWh/m}^2$ (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2015).



Figur 13: Energiproduksjon per kvadratmeter med helningsvinkel lik 35°.

I alternativ 2 skal alle takflatene dekket med solceller, noe som gir $A = 900 \text{ m}^2$. Antar man at de installerte solcellene er av typen monokrystallinske, er virkningsgraden på 20% som vist i tabell 1. Solcellens ytelsesforhold (PR) beskriver alle de andre tapene, eksempelvis temperaturtap og tap i vekselretter og kabler. Denne settes til $PR = 0,75$ som er standardverdien (Photovoltaic-software.com, 2019). Energiproduksjonen per areal ble beregnet tidligere, og er $E_A = 867,7 \text{ kWh/m}^2$. Man har nå alle nødvendige verdier for å beregne energiproduksjonen for alternativ 2 med følgende formel:

$$E = A * \eta * E_A * PR \quad (5.1)$$

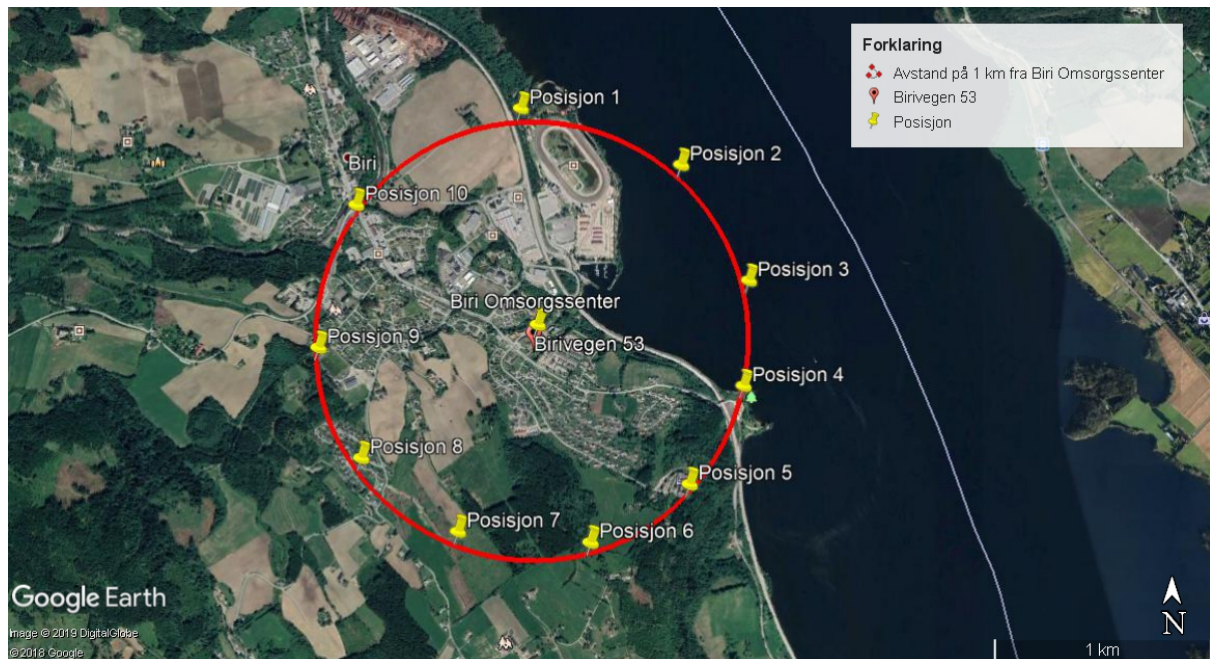
$$E = 900 \text{ m}^2 * 0,20 * 867,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,75 = 117\,139,5 \text{ kWh}$$

Det vil også være mulig å beregne energiproduksjonen for alternativ 1, men det forutsetter at det er bestemt hvilke tak som skal dekket med solcellepanel og solfangere. Det trengs da informasjon om den spesifikke helningsvinkelen og medfølgende solinnstråling, samt arealet.

5.3 Turbiditetsfaktorens påvirkning

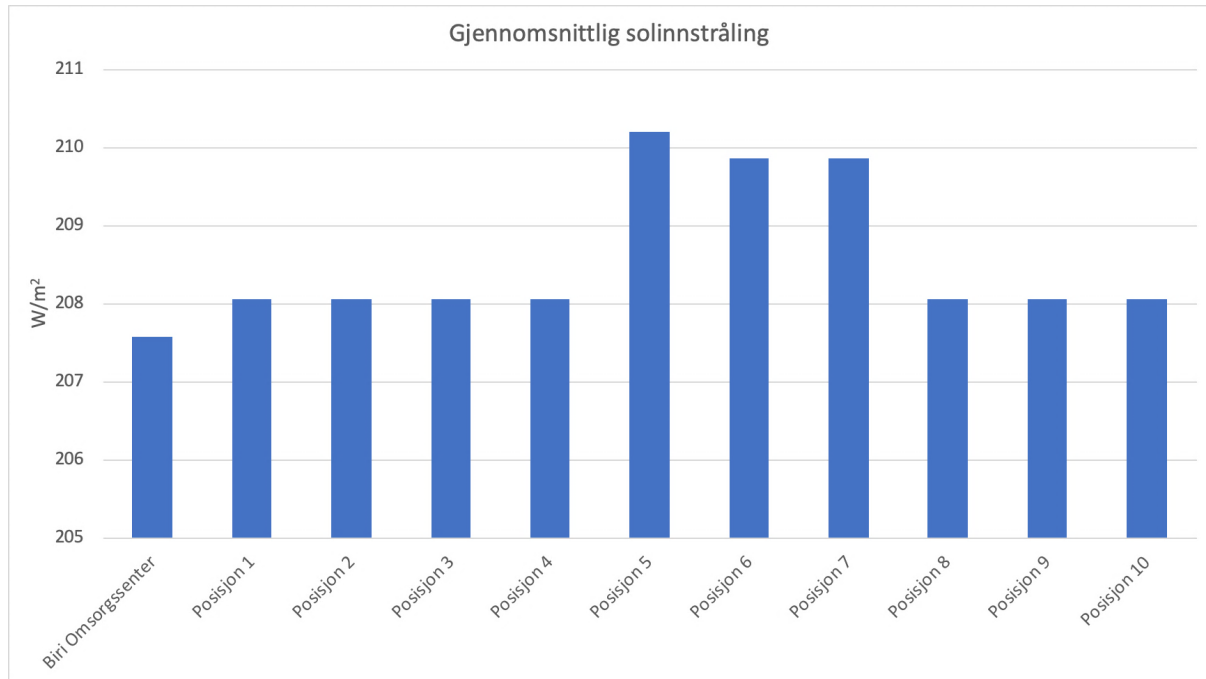
For begge alternativene vil turbiditetsfaktoren ha en viss påvirkningsevne på resultatene. På det grunnlaget var det naturlig å ta for seg et område rundt Biri omsorgssenter for å undersøke

hvilke variasjoner dette vil føre til. Figur 14 viser et satellittbilde av 10 punkt som ble brukt i denne analysen.



Figur 14: Satellittbilde over Biri med punktene som blir brukt i analysen for turbiditetsfaktorens påvirkning på den gjennomsnittlige solinnstrålingen.

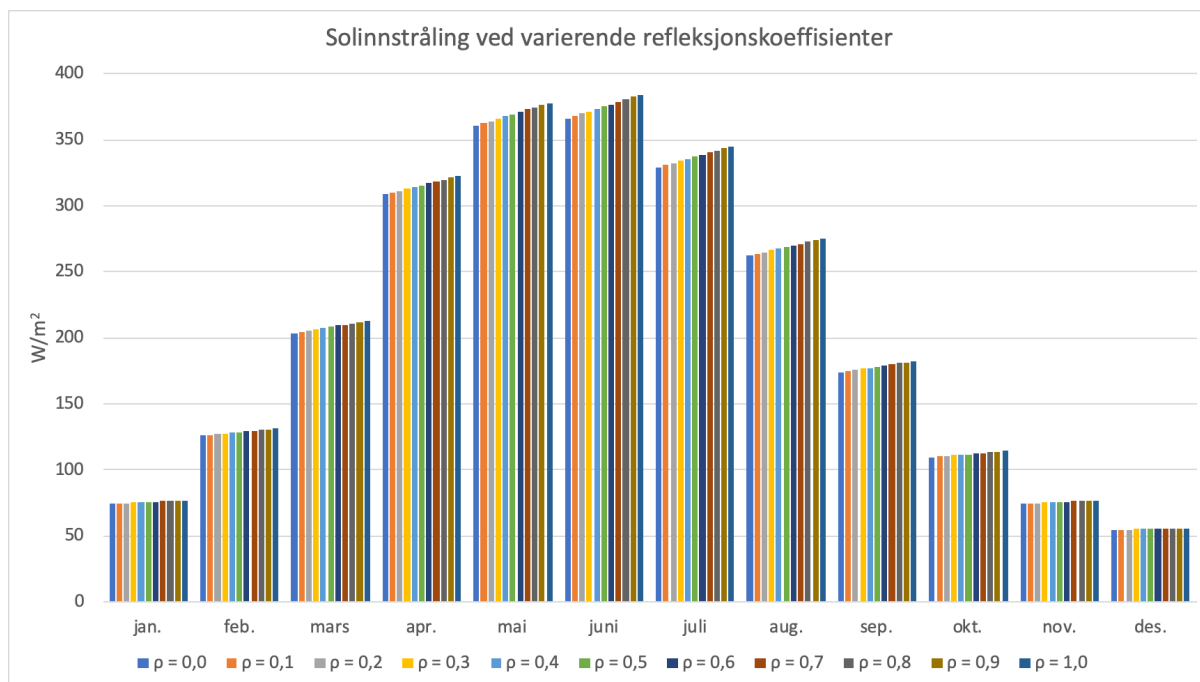
Figur 15 illustrerer den gjennomsnittlige solinnstrålingen for punktene, samt Biri omsorgssenter, for å ha et sammenlikningsgrunnlag. Her kommer det frem at forskjellene er små, da det kun er 2-3 W/m² som skiller posisjonene med høyere elevasjon fra resten (posisjon 5, 6 og 7). Dette kommer antageligvis som et resultat av differansen i elevasjon. Eksempelvis ligger posisjon 6 på 273 moh., noe som er 150 meter høyere enn posisjon 4 på 123 moh. Elevationen fører til at det blant annet er mindre tåke og dis ved den eleverte posisjonen, enn den som ligger lavere i terrenget. Simuleringene viser at forskjellene er nokså marginale ved så lokale forhold som kun én kilometer unna.



Figur 15: Analyse av turbiditetsfaktorens påvirkning på den gjennomsnittlige solinnstrålingen.

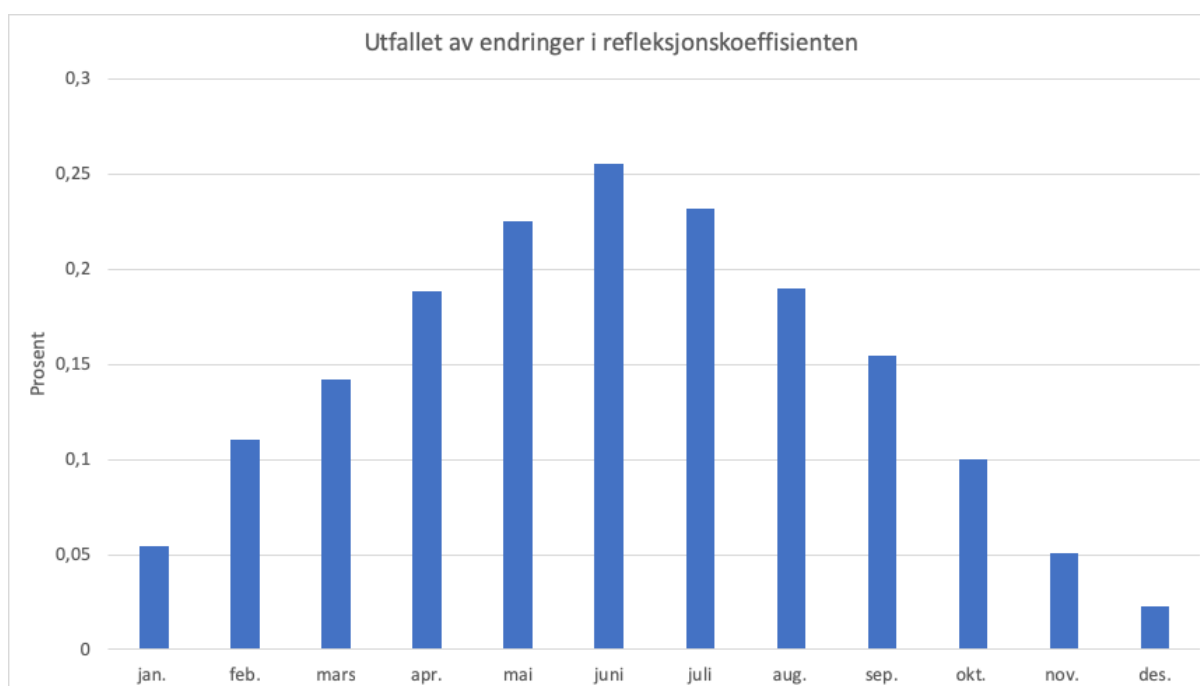
5.4 Refleksjonskoeffisienten

Diagrammet i figur 16 illustrerer hvordan variasjoner i refleksjonskoeffisienten fører til endringer i den gjennomsnittlige solinnstrålingen. I vintermånedene desember og januar ser man at innstråling er tilnærmet konstant selv om den stiger minimalt når koeffisienten nærmer seg 1. I kontrast med februar som har en noe høyere vekst, men denne er også marginal. Derimot kan en se at i vår- og sommermånedene er det en betydelig økning i solinnstrålingen avhengig av verdien på refleksjonskoeffisienten. Selv om det ikke er realistisk at verdien bli akkurat 0 eller så høy som 1, var det for simuleringens skyld nødvendig å bruke disse verdiene for å kunne vise hvilken innvirkning det eventuelt ville hatt.



Figur 16: Analyse av refleksjonskoeffisientens påvirkning på den gjennomsnittlige solinnstrålingen.

Generelt sett tilsvarer endringene i refleksjonskoeffisienten en forskjell i innstråling på ca. 2-17 W/m² som er om lag 2-5%, avhengig av måneden. Av diagrammet i figur 17 kan en se at endringen i energiproduksjonen er minimal når verdien på koeffisienten varierer mellom 0 og 1. I juni måned utgjør det en andel på rett over 0,25 %. Det viser at koeffisienten har en viss innflytelse, men i et helhetlig perspektiv vil forskjellene være neglisjerbare.



Figur 17: Sammenhengen mellom varierende refleksjonskoeffisient og energiproduksjon.

6 Resultater

De økonomiske beregningene tar utgangspunkt i formler for beregning av netto nåverdi, internrente og tilbakebetalingstid. Netto nåverdi og internrente er gode måter å vurdere om en investering er lønnsom eller ikke, mens bruk av kun tilbakebetalingstiden vil gi et ufullstendig bilde på om investeringen bør gjennomføres. Derfor er det naturlig å kombinere disse metodene. Netto nåverdi beregningene inneholder en CO₂-ekvivalent som angir hvor store besparelsene er i kroner, som følge av endringer i CO₂-utslipp forbundet med bruk av strøm fra kraftnettet kontra egenprodusert. I tillegg vil CO₂-utslipp fra solcellepanel og solfangere med en levetid på 30 år være henholdsvis 60 g/kWh og 200 kg/m² (Bergsmark, 2016; Botsaris, 2011).

$$NNV = K_0 + \sum_{t=0}^T \frac{(K_t)}{(1+r)^t} \quad (6.1)$$

$$IR = \text{Renten som gir: } K_0 + \sum_{t=0}^T \frac{(K_t)}{(1+r)^t} = 0 \quad (6.2)$$

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{\text{Anskaffelseskostnaden}}{\text{Årlig kontantstrøm}} \quad (6.3)$$

I de to alternativene er det brukt variabler for eksempelvis strømprisen, systemkostnader, CO₂-utslipp m.m. Alle variablene som er brukt vises i tabell 4. To viktige variabler verdt å merke seg, er kostnadene for bytte av vekselretter, og prisen på solcelle- og solfangeranlegg. Størrelsen og prisen på vekselretteren varierer ut fra hvor stort takareal som dekkes av solcellepaneler og dermed hvor mye strøm som blir generert. Rad fire i tabellen viser prisen for solcelleanlegget inkludert montering (Holm, 2016). Her ser man at prisen i alternativ 2 er 50 øre høyere enn i alternativ 1. Denne differansen kommer av at solcellepanelene monteres, som tidligere nevnt, i flukt med taket i alternativ 1, men ikke i alternativ 2. I rad tre viser tabellen prisen for solfangeranlegg inkludert montering (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2015).

Tabell 4:
Variabler brukt i analysene for resultatet.

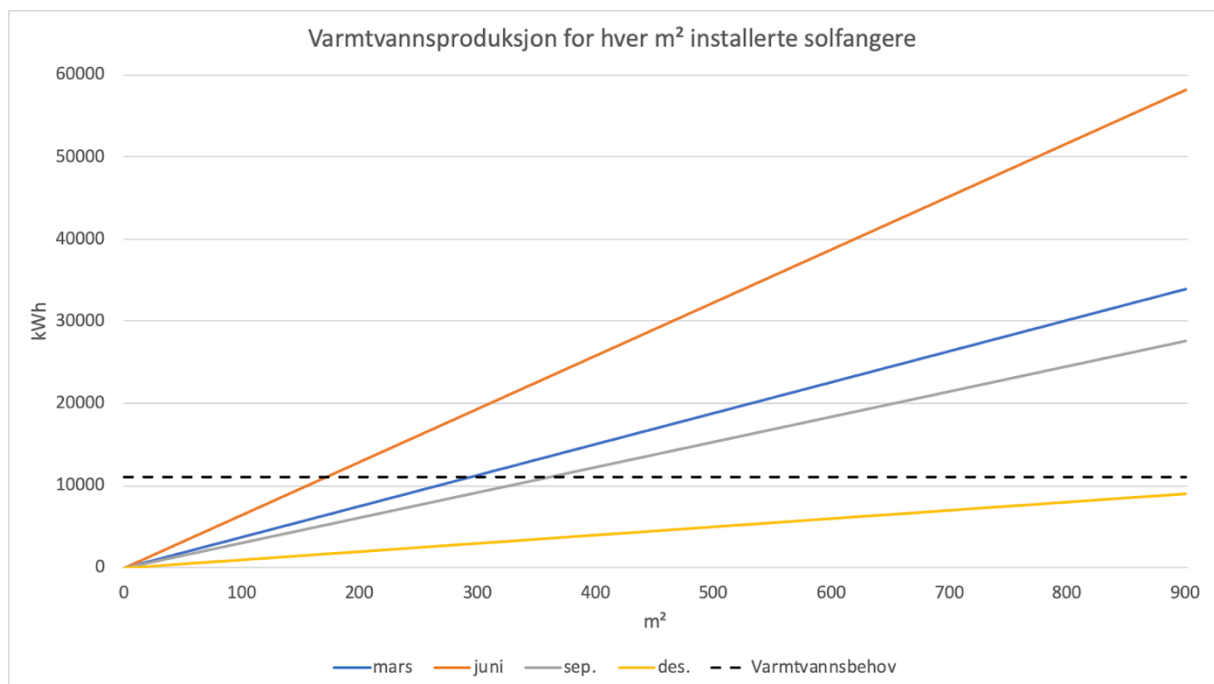
Variabler	Verdier
Valutakurs Euro til NOK	1 € = 9,75 kr
Spotpris og nettleie inkl. avgifter [kr/kWh]	1,16
Pris solfanger inkl. montering av komplett anlegg [kr/m ²]	3 250
Pris solcellepanel inkl. montering av komplett anlegg [kr/Wp]	Alt. 1: 12,0 Alt. 2: 12,5
Kostnad for bytte av vekselretter [kr]	Alt. 1C: 100 000 Alt. 1D: 50 000 Alt. 2: 120 000
Wp/panel for solceller [Wp]	300
Forventet levetid (anlegg) [antall år]	30
CO ₂ -faktor for kraftmiks [g/kWh]	531
CO ₂ -utslipp	Solceller 60 [g/kWh/år] Solfangere 200 [kg/m ²]
Årlig økning i CO ₂ -pris utover inflasjon [%]	2,70
Årlig økning i strømpris og nettleie inkl. avgifter utover inflasjon [%]	1,30
Drift- og vedlikeholdskostnader [% av systemkostnad]	0,50
Årlig degradering av produksjon [%]	0,50
Kalkulasjonsrente [%]	2,50

6.1 Alternativ 1

Beregningene i dette alternativet er gjort med hensyn på solfangere og takarealet de skal installeres på. Implisitt dekkes da det resterende takarealet av solceller. Grunnen til at valget falt på denne typen løsningsmetode var tilfeldig og basert på at vi simpelthen måtte starte et sted.

Den stiplede linjen i figur 18 indikerer det månedlige energibehovet til oppvarming av varmtvann ved Biri omsorgssenter. NS 3031 angir en midlere effekt på 3,40 W/m² og et årlig energibruk lik 29,8 kWh/m² for oppvarming av tappevann. Multipliseres dette med BRA gir det et månedlig forbruk på 10 963 kWh. Da vannoppvarmingen og forbruket er en kontinuerlig prosess og effektvariasjonene er vanskelig å forutsi, antas det at effekten er konstant over døgnet, hele året. Et annet argument for dette er at behovet for varmt tappevann ikke varierer i særlig grad, da forbruket ikke er sesongavhengig.

Ved å sammenligne produksjon og behov i figur 18 kommer det frem at behovet i desember ikke ville ha blitt dekket, selv om det ble installert solfangere på alle takflatene. For mars, juni og september dekkes behovet ved installasjon av henholdsvis 292 m², 170 m² og 357 m². Med et solfangerareal på mellom 170 m² og 357 m² vil varmtvannsbehovet dekkes opp mot halve året.



Figur 18: Energiproduksjonen i fire forskjellige måneder til en solfanger montert med helningsvinkel lik 25,5°.

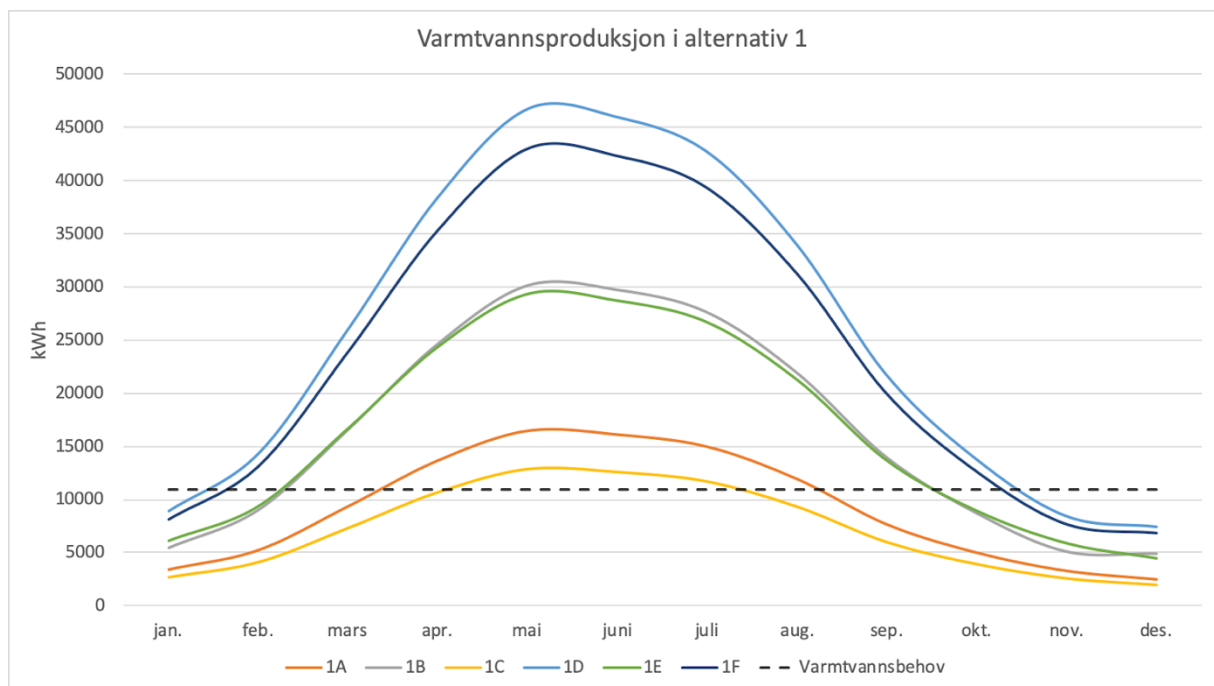
Tabell 5 viser de forskjellige kombinasjonene av solceller og solfangere som vil være de naturlige alternativene gitt takflatene på Biri omsorgssenter, som er tidligere vist i figur 10.

Tabell 5:
Beskrivelse av de forskjellige alternativene innen alternativ 1.

Alternativ	Tak dekket med solfangere (areal)	Tak dekket med solcellepanel (areal)
1A	1 (250 m ²)	2 og 3 (650 m ²)
1B	2 (455 m ²)	1 og 3 (445 m ²)
1C	3 (195 m ²)	1 og 2 (705 m ²)
1D	1 og 2 (705 m ²)	3 (195 m ²)
1E	1 og 3 (445 m ²)	2 (455 m ²)
1F	2 og 3 (650 m ²)	1 (250 m ²)

For å kunne gi et bedre bilde på hvor stort areal som burde dekkes, ble det laget et diagram som viser varmtvannsproduksjonen over de forskjellige månedene ut fra de ulike alternativene, samt varmtvannsbehovet. I figur 19 kommer det tydelig frem at i de fleste

alternativene vil produksjonen overstige forbruket. Dette bekrefter det som beskrives i avsnittet over, at det vil være mer attraktivt å dekke maksimalt 357 m² med solfangere. Grunnen til dette er at det vil være svært kostbart å installere solfangere som dekker hele varmtvannsbehovet i vintermånedene, fordi det vil føre til overproduksjon av varmt tappevann i de andre månedene, som “går tapt” i den forstand at det ikke kan nyttiggjøres. Dermed vil det være hensiktsmessig å heller installere solfangere på et mindre areal som dekker varmtvannsforbruket om sommeren, og dermed benytte strøm til å dekke det resterende behovet om vinteren.

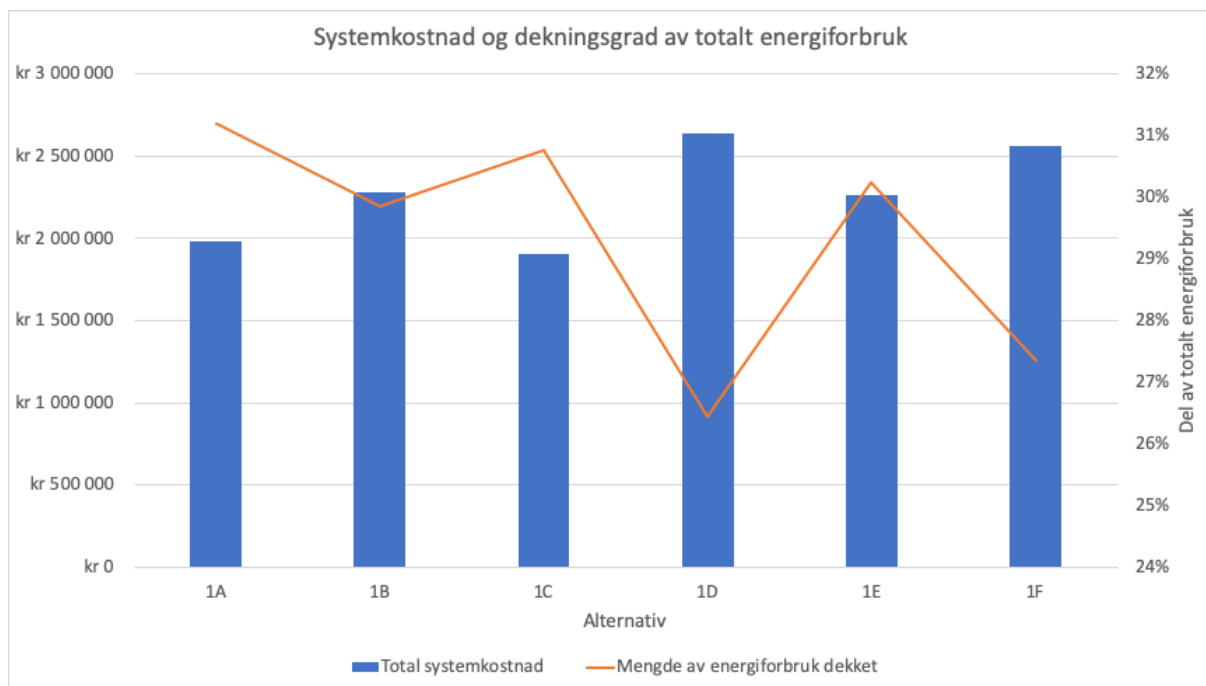


Figur 19: Varmtvannsproduksjon i de forskjellige alternativene i alternativ 1.

For å kunne avgjøre hvilke / hvilket tak som skal dekket med solfangere, ble systemkostnadene for hvert enkelt alternativ beregnet, som vises i figur 20. Systemkostnaden inkluderer montering av solenergisystemet og alle komponentene som trengs, som solcellepaneler, solfangere, vekselrettere, akkumulatortank, kabler og rør.

Verdiene på venstre side av figur 20 viser systemkostnadene for hvert alternativ.

Prosentandelene som vises på høyre side av samme figur betegner hvor mange prosent av det totale energiforbruket som dekket ved å velge det alternativet, som et linjediagram mot sekundæraksen.



Figur 20: Systemkostnadene og dekningsgraden av det totale energiforbruket for hvert av alternativene i alternativ 1.

Valg av alternativ for videre full økonomisk analyse gjøres basert på kostnaden som kreves for å dekke én prosent av energibehovet, som vist i tabell 6. Tabellen viser at alternativ 1C har den laveste totale systemkostnaden, mens alternativ 1D har den høyeste. Da alternativ 1C har den laveste systemkostnaden per prosent dekket energibehov, blir den fulle økonomiske analysen gjort på det alternativet, samt alternativ 1D, for å kunne sammenligne forskjellene.

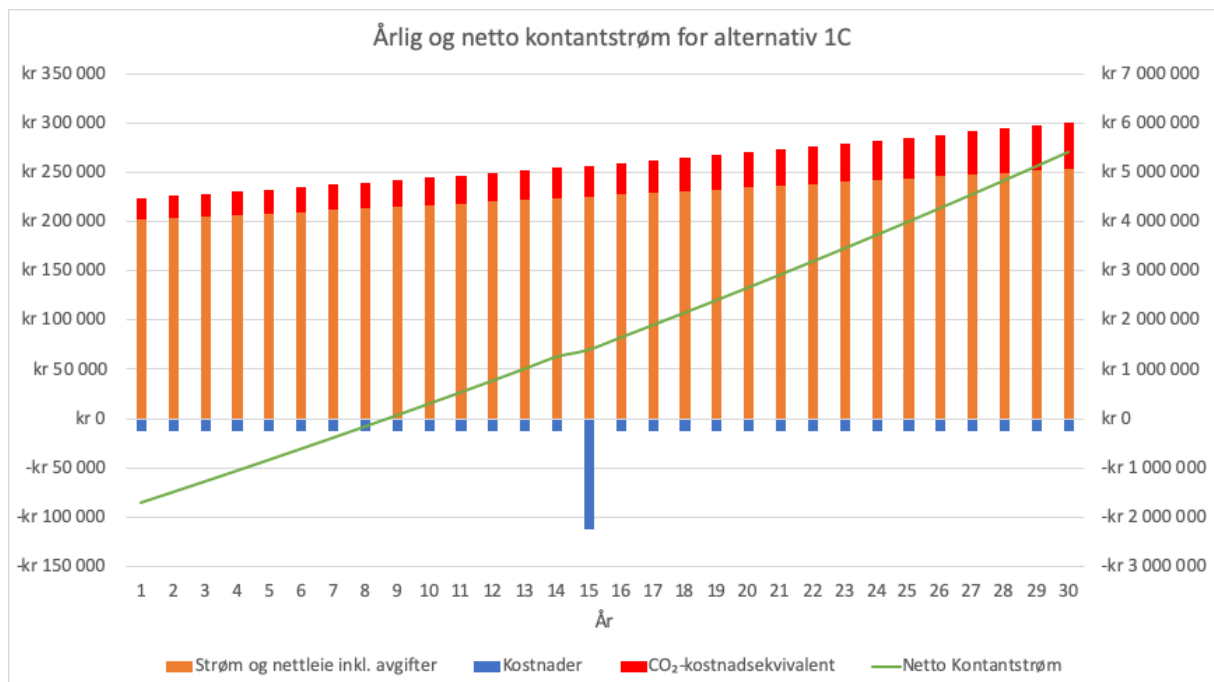
Tabell 6:

Den totale systemkostnaden, andel av dekket energibehov samt systemkostnad per prosent av energibehov dekket i alternativ 1.

Alternativ	Total systemkostnad [kr]	Energibehov dekket [%]	Systemkostnad per prosent av energibehov dekket [kr]
1A	1 982 500	31,2	kr 63 564
1B	2 279 750	29,9	kr 76 335
1C	1 902 750	30,8	kr 61 869
1D	2 642 250	26,4	kr 99 903
1E	2 265 250	30,2	kr 74 919
1F	2 562 500	27,4	kr 93 676

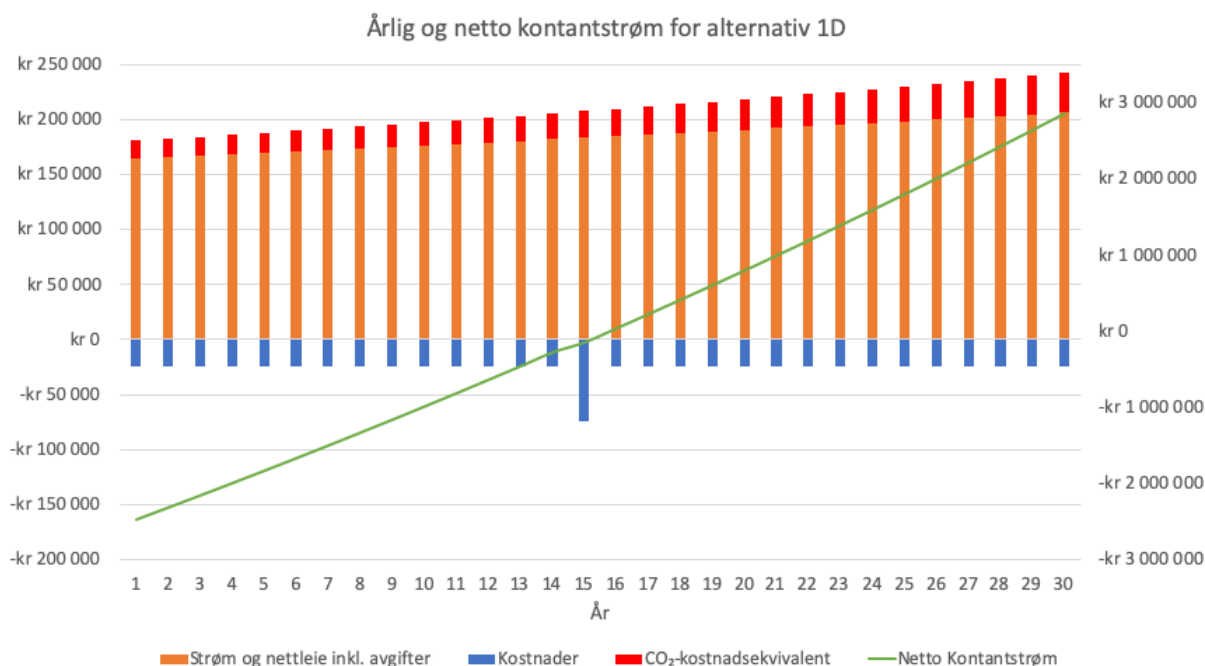
Grafen i figur 21 representerer alternativ 1C og illustrerer hvor mye det er mulig å spare på egenprodusert strøm og varmt tappevann hvert år, i motsetning til strøm fra kraftnettet som omfatter spotpris, nettleie og avgifter. Verdiene for “Strøm og nettleie inkl. avgifter”, “Kostnader” og “CO₂-kostnadsekvivalent” vises mot primæraksen i figur 21. Den grønne

linjen representerer netto kontantstrøm som vises mot sekundæraksen. Der den netto kontantstrømmen krysser x-aksen = 0 og går fra negativ til positiv kan tilbakebetalingstiden avleses til 9 år. X-aksen representerer forventet levetid for solenergisystemet, og halvveis i denne anslås det at man må bytte vekselretter. Det er dette som fører til de økte kostnadene i år 15. Den høyre siden av samme figur presenterer total netto kontantstrøm over anleggets forventede levetid, som en linje mot sekundæraksen. Netto nåverdi for dette alternativet er 3 094 606 kroner inkludert CO₂-kostnadsekvivalenten, og internrenten er 10%. Siden internrenten > 2,5% (kalkulasjonsrenten), vil dette alternativet være mer lønnsomt enn for eksempel innskudd i banken. Grunnen er at et bankinnskudd tilsvarende investeringskostnaden vil gi en lavere avkastning på grunn av lav rente.



Figur 21: Årlige gjennomsnittlige kontantstrømmer og total netto kontantstrøm over anleggets levetid for alternativ 1C.

I figur 22 vises blant annet de gjennomsnittlige kontantstrømmene samt den netto kontantstrømmen for alternativ 1D fra tabell 5. Ut fra de gitte forutsetningene vil denne investeringen gi en netto nåverdi på 1 125 259 kroner inkludert CO₂-kostnadsekvivalenten, og en internrente på 0%. I tillegg er tilbakebetalingstiden 16 år. Den beregnede netto nåverdien illustrerer at investeringen vil gi en avkastning som er høyere enn kravet satt til 2,5%, men siden internrenten < 2,5% (kalkulasjonsrenten) vil ikke denne investeringen være lønnsom likevel. Dessuten er dette også det minst profitable alternativet av de som fremkommer i tabell 6, og bør dermed unngås.



Figur 22: Årlige gjennomsnittlige kontantstrømmer og total netto kontantstrøm over anleggets levetid for alternativ 1D.

Som nevnt i kapittel 5.2 vil det nå være mulig å regne ut energiproduksjonen for dette alternativet, da man vet hvilke tak som skal dekket med solceller og solfangere, og dermed helningsvinkelen og arealet. Under følger tabell 7 der energiproduksjonen er utregnet med bruk av formel 5.1. Virkningsgraden og ytelsesfaktoren til solcellene er, som vist i kapittel 5.2, satt til $\eta = 0,20$ og $PR = 0,75$. For solfangere er virkningsgraden satt til $\eta = 0,85$ og virkningsgraden til systemet satt til $\eta_S = 0,60$. η_S kan brukes på samme måte som ytelsesfaktoren for solceller, da det beskriver for eksempel varmetap i rør og akkumulatortank. Ved å multiplisere η og η_S får man den totale virkningsgraden for systemet, som er 0,51 (Energiverket, u.d.)

Tabell 7:
Teoretisk energiproduksjon for alternativ 1C og 1D.

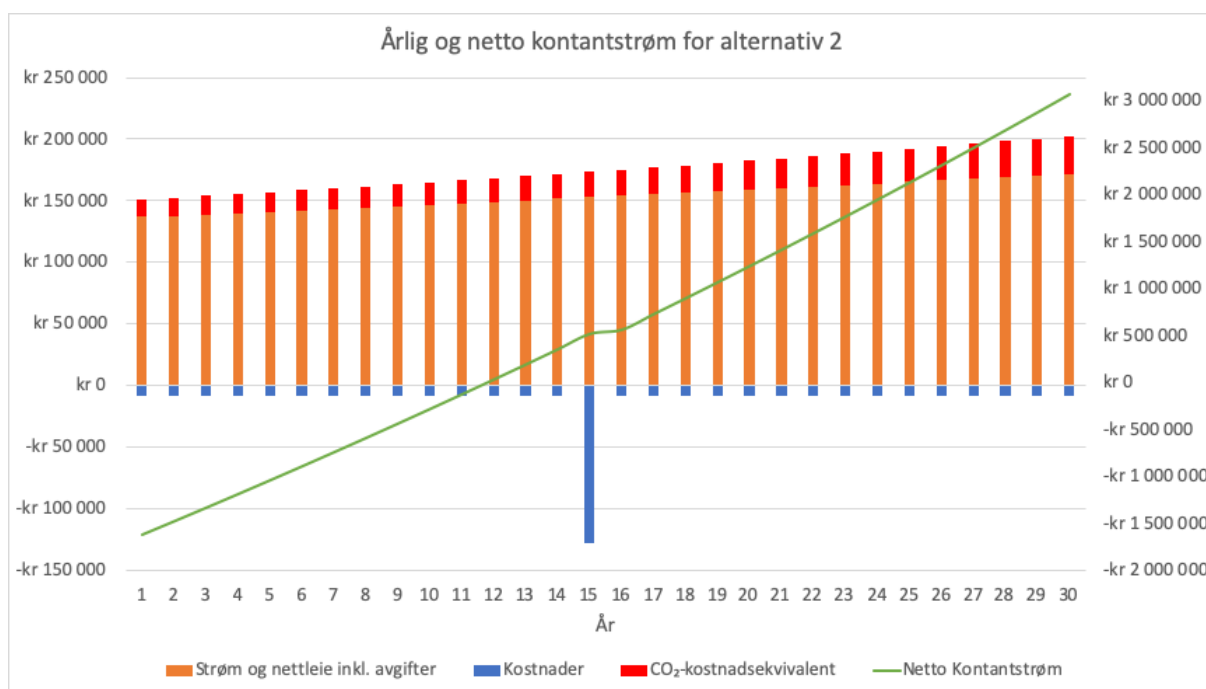
Alternativ	Teoretisk energiproduksjon	Total teoretisk energiproduksjon
1C	For solfangerne med $\beta = 25,5^\circ$: $E = 195 \text{ m}^2 * 0,85 * 862,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,60 =$ 85 776 kWh	85 776 kWh +32 344 kWh +58 231 kWh = 176 350 kWh
	For solcellene med $\beta = 25,5^\circ$: $E = 250 \text{ m}^2 * 0,20 * 862,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,75 =$ 32 344 kWh	
	For solcellene med $\beta = 16,5^\circ$: $E = 455 \text{ m}^2 * 0,20 * 853,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,75 =$ 58 231 kWh	
1D	For solfangerne med $\beta = 25,5^\circ$: $E = 250 \text{ m}^2 * 0,85 * 862,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,60 =$ 109 969 kWh	109 969 kWh +197 985 kWh +25 228 kWh = 333 182 kWh
	For solfangerne med $\beta = 16,5^\circ$: $E = 455 \text{ m}^2 * 0,85 * 853,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,60 =$ 197 985 kWh	
	For solcellene med $\beta = 25,5^\circ$: $E = 195 \text{ m}^2 * 0,20 * 862,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0,75 =$ 25 228 kWh	

I tabellen kommer det frem at alternativ 1D produserer over dobbelt så mye energi som alternativ 1C. Det kommer også frem at mesteparten av denne energien stammer fra solfangerne. Tidligere vist i dette kapittelet blir det overproduisert varmtvann ved å installere solfangere på et så stort areal som i 1D, som da vil gå tapt siden varmtvannsbehovet ikke er større enn produksjonen.

6.2 Alternativ 2

I alternativ 2 er det installert 900 m² solcellepaneler med en helningsvinkel på $\beta = 35^\circ$, som nevnt da alternativene ble presentert. Ved å installere solceller på alle tak med watt peak (Wp) lik 300 W per solcellepanel, vil Wp for hele anlegget bli lik 135 000 W.

Som man ser ut fra grafen i figuren 23 vil denne investeringen være lønnsom i løpet av det 11. leveåret. Det er forutsatt betingelsene beskrevet i tabell 4. Investeringen gir en nettonåverdi lik 1 725 903 kroner inkludert CO₂-kostnadsekivalenten, og en internrente på 6%. Siden nettonåverdi > 0 og internrenten er større enn kalkulasjonsrenten på 2,5%, bør prosjektet gjennomføres. I alternativ 1 ble det vist hvor mye det kostet å dekke én prosent av energiforbruket ut fra systemkostnaden. Det kan også gjøres i dette alternativet, og prisen blir da ca. 77 500 kroner for å dekke én prosent. Som tidligere nevnt er kostnaden for installasjonen av dette alternativet 50 øre/Wp høyere enn i alternativ 1. Det tilsvarer at det må investeres 67 500 kroner mer, og fører til en netto nåverdi som er 75 000 kroner lavere.



Figur 23: Årlige gjennomsnittlige kontantstrømmer og total netto kontantstrøm over anleggets levetid for alternativ 2.

Figur 21, 22 og 23 tar ikke hensyn til et eventuelt bidrag fra Enova, som støtter slike prosjekter med opptil 45% av merkostnaden (Enova, 2019). Det vil si kostnadsforskjellen på å installere en konvensjonell løsning og en fornybar løsning.

6.3 Sammenligning av alternativ 1 og 2

Tabell 8 viser besparelsen av CO₂ og penger i løpet av levetiden på 30 år for alle alternativene. Ut fra den vises det at alternativ 1C har den høyeste besparelsen av CO₂ i løpet av et år med 91,7 tonn, mens alternativ 1D og 2 ligger noe under dette med henholdsvis 74,8 og 62,2 tonn. Resultatet etter det første året vil bli en besparelse på 23 500 kroner for alternativ 1C, i kontrast med alternativ 2 som kun har et spart beløp på 15 900 kroner. Årlig vil den totale mengden CO₂ spart være 2 751 tonn i løpet av 30 år for alternativ 1C, som tilsvarer en besparelse på 1 065 000 kroner. Dette er ekvivalent med CO₂-utslippet fra et bensinforbruk på 39 100 liter hvert år (Environmental Protection Agency, 2018). For alternativ 1D vil det i år 30 ha blitt spart 2 244 tonn CO₂ sammenlignet med 1 866 tonn CO₂ i alternativ 2. Samtidig vil den totale summen sparte penger være lik 869 100 kroner i alternativ 1D, mens den er noe lavere i alternativ 2 med 722 500 kroner.

Tabell 8:
Sammenlikning av miljøbesparelser for alternativ 1 og 2.

	1C	1D	2
Årlig mengde CO ₂ spart på strøm [tonn]	91,7	74,8	62,2
Total mengde CO ₂ spart på strøm [tonn]	2 751	2 244	1 866
Bensin ekvivalent årlig [liter]	39 100	31 900	26 500
Sparte penger i år 1 [kr]	23 500	19 200	15 900
Sparte penger i år 15 [kr]	34 100	27 800	23 100
Sparte penger i år 30 [kr]	50 900	41 500	34 500
Totalt sparte penger [kr]	1 065 000	869 100	722 500

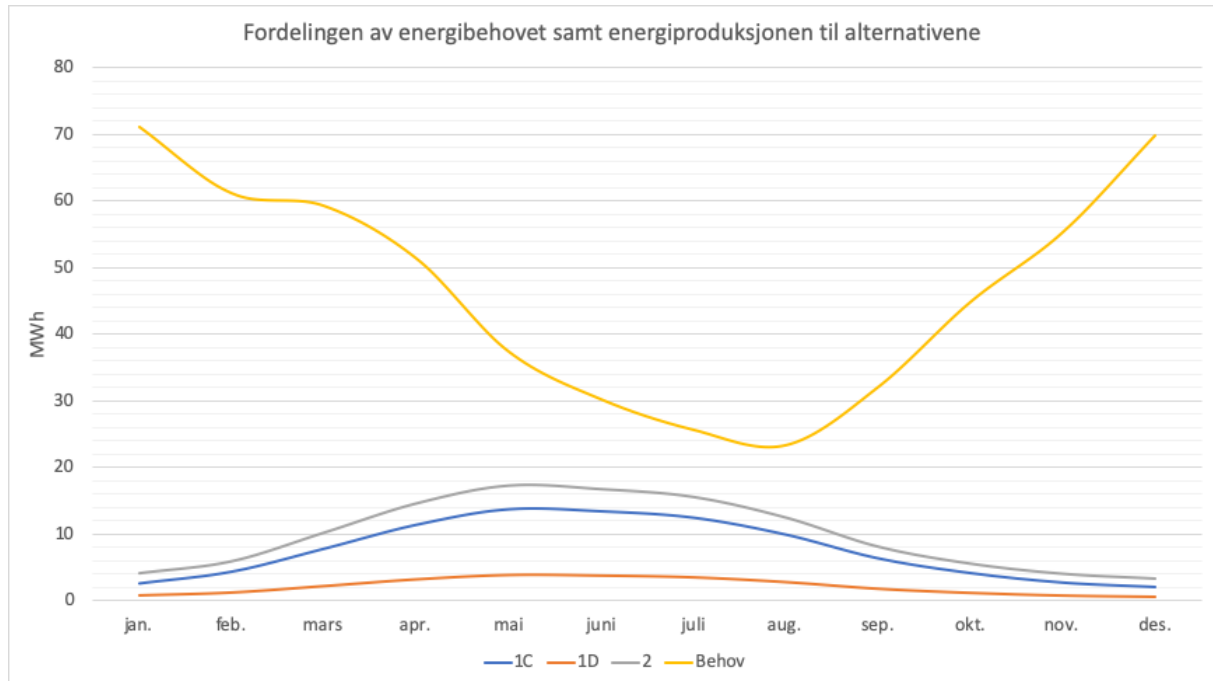
I kolonnen “CO₂ spart totalt” i tabell 9 vises mengden CO₂ spart ved å bruke solenergi i form av kroner, som i denne oppgaven blir kalt for CO₂-kostnadsekvivalent. Beregningen av dette gjøres ved å se på mengden CO₂ som slippes ut per genererte kilowatttime strøm fra kraftnettet, og trekker fra mengden CO₂ som slippes ut ved produksjonen av selve solenergisystemet (gruvedrift, transport osv.). Denne summen multipliseres så med CO₂-kvotepriisen og vises her som kroner. Det kunne også ha blitt vist som tCO₂, men ved å sette en pris på den er det mulig å inkludere den i netto nåverdiberegningen som vist i kolonnen “NNV med CO₂” i tabell 9. Grunnen til at dette blir slått sammen er for å kunne gi et inntrykk av hvilket alternativ som er best for økonomien og for miljøet. Kolonnen “NNV” viser netto nåverdien ekskludert denne CO₂-kostnadsekvivalenten som er nevnt over. Det blir gjort det

samme som med CO₂-kostnadsekvivalenten, men besparelsen for CO₂ er ikke tatt med i denne netto nåverdiberegningen. Kolonnen “Investeringskostnad” er prisen for solenergisystemene. Der kommer det frem at alternativ 1D er en god del dyrere enn de to andre, og grunnen er at det inkluderer en større andel solfangere, som er dyrere enn solceller. Kolonnen “Kroner spart” viser hvor mye som er spart ved å installere solenergisystemet over systemets levetid. Dette inkluderer spart CO₂ og strøm, samt at installasjonskostnaden og prisen for bytte av vekselretter er trukket fra. Her vises det at alternativ 1 har størst besparingspotensiale.

Tabell 9:
Oversikt over resultatene etter økonomiske analyser i alternativ 1C, 1D og 2.

Alternativ	CO ₂ spart totalt [kr]	Investeringskostnad [kr]	Kroner spart [kr]	NNV [kr]	NNV med CO ₂ [kr]
1C	986 000	1 902 750	4 418 080	2 439 377	3 094 606
1D	756 000	2 642 250	2 117 800	623 196	1 125 259
2	641 000	1 687 500	2 553 314	1 225 621	1 725 903

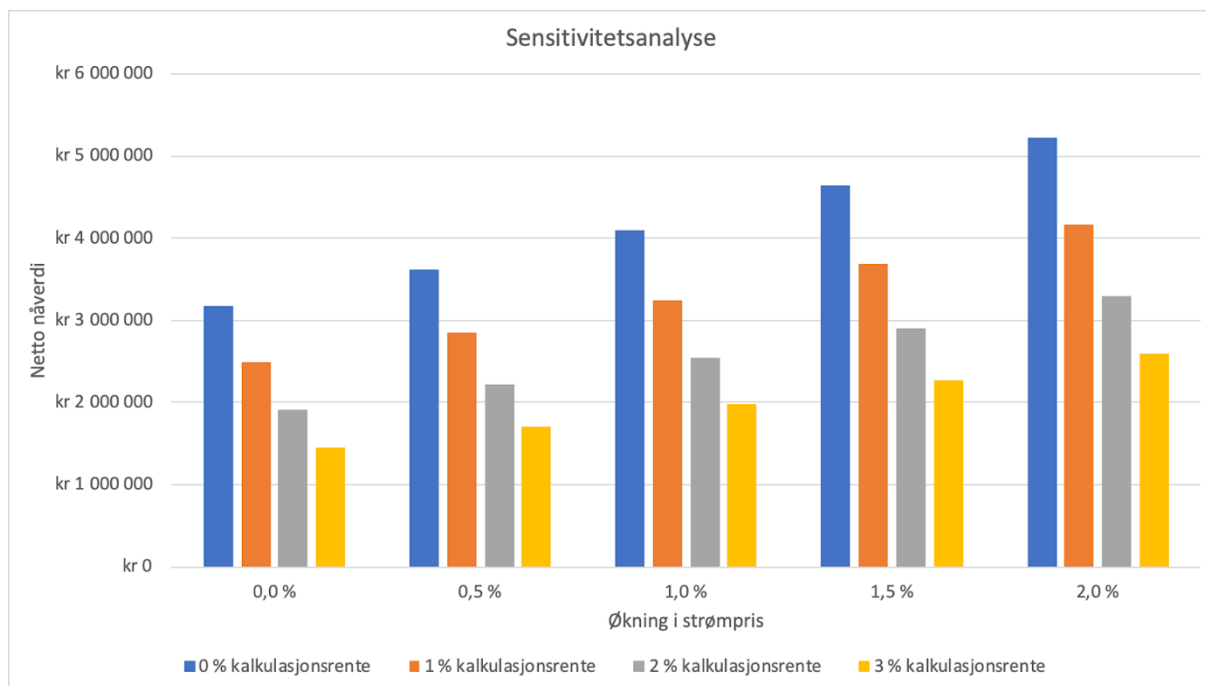
Som det fremkommer i figur 24 genererer ingen av alternativene strøm utover behovet for den respektive måneden, som vises ut fra grafene i figuren under. Den gule grafen viser det totale energibehovet for omsorgssenteret, og krysses ikke av de andre grafene. Det totale energibehovet som er angitt i denne oppgaven skiller ikke mellom varmtvannsbehov, oppvarmingsbehov eller elspesifikke formål. Det vil si at for alternativ 1C og 1D vil behovskurven for strøm se annerledes ut fordi deler av varmtvannsbehovet blir dekket av produksjonen til solfangerne. Dette vil uansett ikke føre til at produksjonen overstiger forbruket. Måten behovet i denne figuren ble fordelt over de ulike månedene ble beskrevet i kapittel 3.3. For å vise et eksempel ble det i alternativ 2 beregnet at forbruket for juli måned vil være på omlag 25,5 MWh, mens produksjonen vil være på 15,5 MWh. Det tilsier at 60% av energibehovet for den måneden er dekket ved bruk av solceller. Når mengden generert strøm ikke overstiger forbruket vil det ikke være nødvendig å koble solcelleanlegget til strømmettet. En fordel ved dette er at om det forekommer et strømbrudd i strømmettet, kan man fortsette å generere strøm med solcellene. Hadde solcellene vært koblet til strømmettet måtte all produksjon fra solcellene blitt stoppet. En av grunnene til dette er at hvis strømbruddet har ført til at det må utføres arbeid på linjen, kan de som utfører arbeidet få kraftig støt om solcellene genererer strøm og sender den på nettet.



Figur 24: Fordelingen av strømproduksjonen for alternativ 1C, 1D og 2 over året, samt energibehovet.

6.4 Sensitivitetsanalyse

For å understreke hvor sensitiv netto nåverdianalysen er, er det hensiktsmessig å se på hvor stor betydning økning i strømpris eller en endring i kalkulasjonsrenten vil være. Figur 25 viser hvor sensitiv analysen er, med et utgangspunkt i alternativ 1C. I det originale alternativet er strømprisøkningen satt til 1,3% hvert år utover inflasjon, mens kalkulasjonsrenten er satt til 2,5% noe som førte til en netto nåverdi på 2 439 377 kroner uten CO₂-kostnadsekvivalenten. Figuren viser at små endringer i både kalkulasjonsrente og strømpris vil ha store utslag på nåverdien. Om man har en strømpris som øker med 1% årlig utover inflasjon, vil en kalkulasjonsrente på 0% gi en netto nåverdi på omlag 4 100 000 kroner. Øker man renten til 1% vil netto nåverdien synke med nesten 860 000 kroner. Dette fører til en usikkerhet på hvor stor lønnsomheten vil være gjennom systemets levetid.



Figur 25: Sensitivitetsanalyse ved bruk av NNV med fokus på variasjoner i strømprisøkningen og kalkulasjonsrenten.

Som vi ser av figur 25 vil nåverdien øke med en høyere strømpris, fordi framtidige inntekter får større verdi. Motsatt vil nåverdien avta med økt kalkulasjonsrente, da framtidige inntekter vil avta i verdi. Likevel, alle de undersøkte alternativene vil ha positiv nåverdi for samtlige kombinasjoner av strømpris og kalkulasjonsrente.

7 Diskusjon

Resultatene indikerer at det vil være lønnsomt å investere i et solenergisystem på Biri for å dekke elektrisitets- og varmtvannsbehovet. Dessuten vil dette føre til lavere energikostnader for Gjøvik kommune og et mindre CO₂-avtrykk. Likevel er det ikke alle alternativene for solenergisystemer som er like attraktive, og dette drøftes med bakgrunn i litteraturstudiet fra kapittel 2 og resultatene fra kapittel 6.

7.1 Miljø- og kostnadsgevinster

Sett ut fra Gjøvik kommunes mål om å drifte en omsorgsbolig på Biri med et lavt CO₂-avtrykk, indikerer resultatene at implementeringen av et solenergisystem vil bidra til å oppnå denne målsettingen. Uansett om besparelsen av CO₂ varierer ut ifra hvilket alternativ som velges til å erstatte deler av energiforbruket, vil det likevel være betydelige reduksjoner i CO₂-utslipp i løpet av levetiden til energisystemet. Videre vil CO₂-kvoteprisen kunne angi hvor store disse besparelsene er i kroner for hvert år. I tillegg, hvis analytikernes påstander om den fremtidige utviklingen av kvoteprisen for CO₂ (som omtalt i kapittel 2.6) stemmer, kan besparelsene bli vesentlig større enn det som er antatt i denne oppgaven (Carbon tracker, 2018). Bruk av egenprodusert energi vil være hensiktsmessig for å erstatte deler av strømforbruket, og redusere klimagassutslippene. Derimot vil regnestykket endre seg hvis kraftmiksen som brukes til å produsere strømmen endrer seg, og blir mer fornybar. Disse besparelsen/fordelene bør også sees opp imot det etiske perspektivet ved prosjektet, som i all hovedsak vil omhandle produksjonen av solcellene.

Siden Norge ikke har et eget kraftmarked, men er tilknyttet det europeiske markedet vil endringer der påvirke hvordan strømprisen blir her i landet (Ursin, 2018). Verdens energisystemer er i forandring, og det grønne skiftet fører til at flere land må gjøre endringer i hvordan de produserer energi. Et økt fokus på klima og miljø fører til at CO₂-prisen stiger og prisene på kull og gass går også opp. Resultatet av dette er en høyere strømpris i Europa. Den globale økonomien kan også påvirke strømprisen på grunn av svingninger i valutaen, og spesielt dollaren. Grunnen til at strømprisen er så lett påvirkelig av dollaren er fordi kullprisen i dollar og en lav kurs vil føre til økt eksport fra kullkraftproduserende land som Tyskland (Skagerak kraft, u.d.).

Ifølge våre beregninger vil det være lønnsomt å investere i et solenergisystem på Biri omsorgssenter. En slik investering vil bidra til å redusere det totale forbruket av strøm som leveres fra kraftnettet, siden solcellene forsyner omsorgssenteret med egenprodusert strøm. I tillegg vil solfangerne bidra til å redusere kostnadene forbundet med oppvarming av varmtvann, da mengden strøm som må brukes til dette blir redusert. Oppvarming av vann er svært energikrevende så her vil det være et stort besparingspotensial. Derfor vil det være fordelaktig å benytte en kombinasjon av solceller og solfangere i et energisystem for å kunne dekke en høyest mulig prosentandel av det totale energiforbruket. Likevel er det ikke hensiktsmessig å velge et alternativ som inneholder en for stor andel solfangere, fordi det vil være lite kostnadseffektivt på grunn av overproduksjon, som forklart i kapittel 6.1.

Det kan oppleves som den allmenne oppfatningen er at en investering i solenergi må være lønnsom umiddelbart for å i det hele tatt å vurdere det. De økonomiske beregningene gjort med nåverdi- og internrentemetoden antyder at tilbakebetalingstiden for de tre alternativene ligger på henholdsvis 9, 11 og 16 år. En vanlig misoppfatning er at en tilbakebetalingstid på for eksempel 11 år tilsier at investeringen ikke er lønnsom, noe resultatene bekrefter ikke er tilfellet. Metoder som internrentemetoden og netto nåverdi viser lønnsomheten bedre enn tilbakebetalingstiden ettersom de fremstiller de faktiske besparelsene i kroner. Dette kommer tydelig fram i figur 21 og 23 i kapittel 6 (Multiconsolt og Asplan Viak, 2018).

7.2 Elektrisitets- og varmtvannsbehov

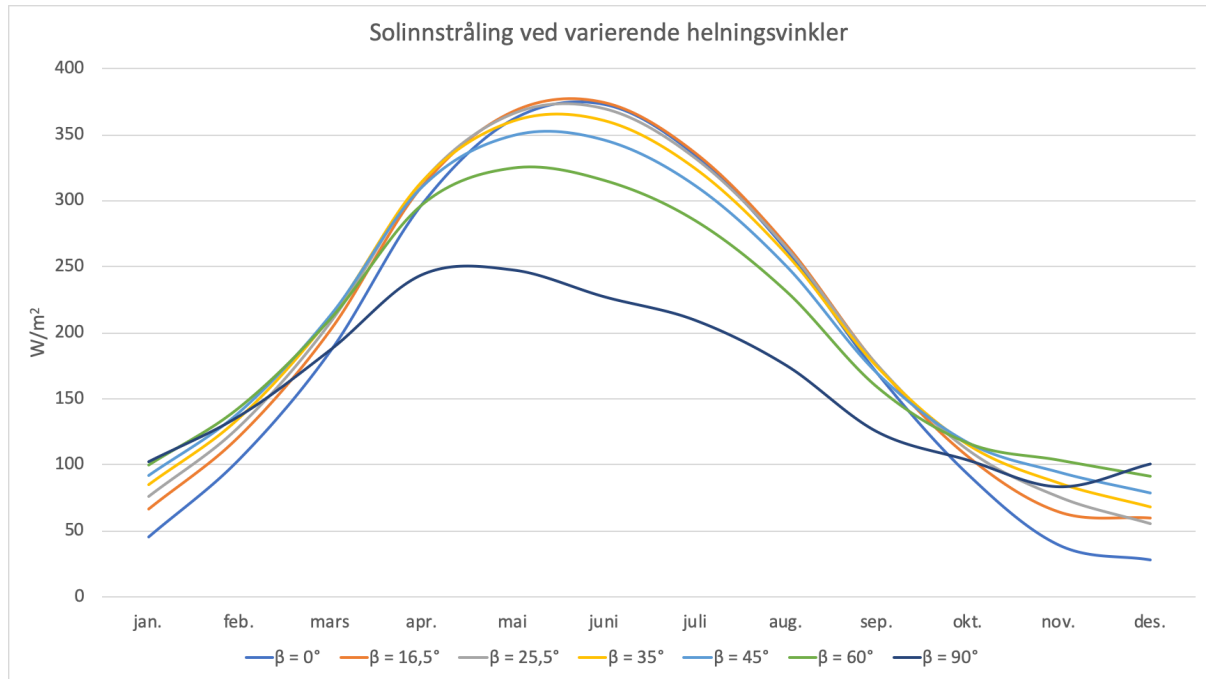
En av de største utfordringene er å vite den faktiske fordelingen av energibehovet over året, og da spesielt elektrisitetsbehovet. På grunn av at energiforbruket er beregnet ut fra standarder, vil det faktiske behovet være ulikt det beregnede behovet. En behovsoversikt med faktiske data vil føre til en bedre avklaring på hvor stort energibehovet er og hvor stor andel av dette som kan dekkes med et solenergisystem. Med bakgrunn i dette vil det være mulig å optimalisere anlegget i større grad enn det som har blitt gjort i denne oppgaven. De anslagene som er gjort for fordelingen av strømforbruket over året, kan vise seg å være meget forskjellig fra det faktiske forbruket til omsorgssenteret. Dermed kan man potensielt ha et stort problem med tanke på overproduksjon av strøm i sommermånedene. I kapittel 6.3 kommer det frem at dette ikke ville være et problem fordi forbruket var såpass mye høyere enn produksjonen av strøm. Det kan være en feilkilde da det er snakk om forbruket over hele måneden. Ved å se på én konkret dag i for eksempel juli måned, er sjansen stor for at solcellene generer mer strøm

enn det som blir brukt. En annen faktor som spiller inn er kjøling, og om det er veldig varmt denne julidagen kreves det også store mengder energi for å holde innnetemperaturen nede. En mulig løsning vil være å koble batterier til solenergisystemet som kan ta den mulige overskuddsstrømmen og lagre den til senere bruk. Et eksempel på et slikt batteri er Teslas Powerwall, som hver har en kapasitet på 14 kWh. Prisen for et slikt batteri er 76 200 kroner inkludert merverdiavgiften, og det må også tas med i investeringskostnaden om man velger å benytte seg av det (Tesla , 2019).

7.3 Helningsvinkel

7.3.1 Betydningen av ulike helningsvinkler

Helningsvinkelen er som tidligere nevnt en variabel av stor betydning for solinnstrålingen. Figur 26 viser hvordan solinnstrålingen varierer over året ut fra hvor bratt helningsvinkelen er. I denne oppgaven ble det tatt utgangspunkt i vinklingen på takene samt en optimal helningsvinkel for utførelsen av de videre beregningene. Det man kan se fra grafen i figuren er at ved slakere helningsvinkler er produksjonen relativt liten om vinteren i motsetning til en bratt helningsvinkel. I Norge er energibehovet helt klart størst om vinteren, da store mengder energi går til romoppvarming. I tillegg er strømprisene som regel høyere om vinteren, da det er større etterspørsel, mindre produksjon og mer import av kraft. Det kan derfor argumenteres om det ikke ville vært bedre å installere solcellene og solfangerne på en brattere helningsvinkel for å utnytte mest mulig av vintersolen da man trenger energien som mest. Problemet er at om helningsvinkelen er bratt vil produksjonen i sommermånedene være lavere, og det er i denne perioden man får generert mest kraft. I tillegg, som tidligere nevnt, vil blant annet installasjonskostnadene og vedlikeholdskostnadene være større. Det er en stor kabal som skal gå opp, og det kreves kraftige simuleringsprogram som tar hensyn til faktorer som CO₂-utslipp, CO₂-pris, strømbesparelse, strømpris og dens variasjon over året samt en hel del andre variabler for å få så nøyaktige resultater som mulig.



Figur 26: Solinnstråling over året ved varierende helningsvinkler på Biri omsorgssenter.

7.3.2 Gjennomsnitt

Verdiene for hver måned er som tidligere nevnt regnet ut fra et gjennomsnitt for hver time i én dag for den måneden, som representerer hele måneden. Ved å bruke gjennomsnitt kan fremstillingen av verdiene bli unøyaktige. Et eksempel på dette vises i figur 26 med grafen for $\beta = 90^\circ$ (mørkeblå). Der ser man at verdien for november ($83,59 \text{ W/m}^2$) er lavere enn for desember ($100,79 \text{ W/m}^2$). For å regne snittet som vist i tabell 10, er det brukt de timene der verdien var > 0 . Som man ser i tabellen er solinnstrålingen veldig lav kl. 8 og kl. 16 i november. Dette er med på å trekke snittet for måneden ned. Om disse klokkeslettene ikke hadde vært med i gjennomsnittsberegningen ville snittet vært $106,14 \text{ W/m}^2$. Derfor kan det være en feilkilde å kun se på snittet i seg selv, uten å se på samtlige verdier for den måneden. En grafisk fremstilling kan derfor bli tvetydig noe grafen for $\beta = 90^\circ$ i figur 26 er et godt eksempel på. Det er et gjennomgående problem, men størst er det i vintermånedene der solinnstrålingen er generelt lav, så de små verdiene vil ha stor innvirkning for snittet når $\beta = 90^\circ$. Hadde kalkulasjonene blitt gjennomført for hvert kvarter eller til og med for hvert minutt, ville ikke grafen sett slik ut. Den ville da ha hatt en flatere og glattere kurve, uten humper og dumper som man ser på grafen for $\beta = 90^\circ$. Uten å bruke egnede dataprogram som er designet for å simulere og løse slike oppgaver vil det bli svært utfordrende å fremstille presise data for solinnstrålingen.

Tabell 10:

Solinnstrålingen med helningsvinkel lik 90° for hver time i november og desember.

Kl. Måned	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	Snitt
November	4,7	57,9	104,2	135,9	147,1	135,9	104,2	57,9	4,7	0	83,6
Desember	0	47,2	98,7	133,8	146,3	133,8	98,7	47,2	0	0	100,8

7.4 Forsyningsikkerhet

Forsyningsikkerhet er en betegnelse på evnen et kraftsystem har til å kontinuerlig levere strøm til sluttbrukere. Dette begrepet innebærer blant annet noe som kalles for energisikkerhet som er definisjonen på evnen kraftsystemet har til å dekke energibruken (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2019).

I 2018 ble det innrapportert 39 uønskede situasjoner som omhandlet energiforsyningen til NVE. En av tre klager som ble innrapportert var som følger av været, og det utgjorde sammen med teknisk svikt den største trusselen for forsyningsikkerheten (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2019). I en verden der det kontinuerlig kreves enorme mengder energi, er det en reell fare for at nettet kan svikte og strømmen blir borte i perioder. Dette er både på grunn av været, men også at kapasiteten til strømmettet ikke er stor nok. I Sweco sine planer er det ikke nevnt noe om en backup generator. Dersom det da skulle bli et lengre brudd som rammer omsorgssenteret på Biri, er brukerne godt nok rustet til å klare seg i flere døgn uten varme og varmtvann? Det er snakk om et titalls eldre mennesker som er helt avhengig av en kontinuerlig tilgjengelighet på disse tingene, og om disse behovene ikke blir dekket kan det ha alvorlige helsemessige konsekvenser. Dette er satt helt på spissen, og det må nok store katastrofer til for at dette scenarioet skal bli realitet, men prinsippet står fortsatt. Om omsorgssenteret klarer å dekke 30% av eget energibehov ved bruk av solenergi vil de kunne klare seg mye lenger enn om de ikke hadde det. Verdien til et solenergisystem går utover det man ser i kroner, det gir en trygghet som kan være livsviktig.

7.5 Utvikling av solenergisystemet

Solenergisystemene beskrevet i denne oppgaven er såkalte klassiske system, der de aktive delene kun består av solceller og solfangere. Det kommer stadig ny teknologi som bidrar til

blant annet smartere energistyring, økning av solcellenes produksjonsevne og nye løsninger på eksisterende måter å høste solenergi.

Et eksempel på smartere energistyring er den tjenesten som blant annet selskapet Tibber tilbyr. Tjenesten er i form av en app som binder forbruker og strømleverandør sammen. En av de største fordelene med dette er at appen automatisk registrerer når strømprisen er på det laveste. Når strømprisen er lav kommuniserer appen med for eksempel ladestasjonen til elbilen og setter den til lading. Om man gir appen tilgang til flere artikler i boligen vil energikostnaden gå ned uten at man trenger å kutte på energiforbruket (Innovasjon Norge, u.d.).

Når det kommer til økning av solcellers produksjonsevne er forbedringspotensialet størst på vinteren. På denne årstiden kan solceller være nærmest ineffektive på grunn av snø og dårligere solforhold. Hvis en først har bestemt seg for å investere i solceller, og vet at snø kan bli et problem vil det være lurt å velge solceller med WeightWatchers eller lignende teknologi. Denne teknologien tar en liten andel av strømmen som cellene generer, og sender den tilbake gjennom panelene for å smelte snø og is. Måten dette skjer på er at sensorer kontinuerlig måler vekten av snøen på solcellepanelene. Når en viss grenseverdi er nådd vil snøsmeltingen starte. Ved å gjøre dette kan en ikke bare øke produksjonen om vinteren, men også fjerne store mengder snø effektivt fra store takarealer (FUSen, u.d.). Dette kan løse problemet som er nevnt i kapittel 5.1.1 med tanke på opphopningen av snø på takene.

En ny løsning på en eksisterende teknologi er PVT, som er en hybrid mellom solceller og solfangere. Et PVT-panel virker på samme måte som en solfanger, bare at det ligger en ekstra film rett under det transparente overmaterialet, som da er solcellene. Det er flere fordeler ved å kombinere disse to teknologiene, blant annet vil solfangeren absorbere varmestrålingen fra solen samt varmen generert av solcellen. Dette fører til økt effektivitet hos solcellen da ytelsen er bedre ved lavere temperaturer. En annen fordel er at en slik løsning vil være mer plass effektiv. Bygninger som til vanlig kombinerer disse to teknologiene i form av separate solcellepaneler og solfangere, vil kunne installere PVT på et mindre areal og likevel få generert samme mengde varmtvann og strøm (YouGen, 2017).

8 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å undersøke hvordan et solenergisystem best ville dekke energibehovet til nye Biri omsorgssenter. For å gjøre dette tok vi utgangspunkt i følgende problemstilling:

Hvordan kan man best bruke solenergi til å dekke elektrisitets- og varmtvannsbehovet ved Biri omsorgssenter?

Gjennom analysen av mulige solenergisystemer på Biri er den beste måten å bruke solenergi til å dekke elektrisitets- og varmtvannsbehovet på, å installere et system med en kombinasjon av solceller og solfangere. Ifølge beregninger vist i oppgaven, vil et system med solceller installert på tak 1 og 2 samt solfangere på tak 3 dekke elektrisitets- og varmtvannsbehovet best. Denne løsningen fører til at det årlig dekkes 61,9% av varmtvannsbehovet og 21,3% av elektrisitetsbehovet. Investeringskostnaden for denne løsningen er på 1 902 750 kroner og nedbetalingstiden vil være 9 år. Gitt en levetid på 30 år vil netto nåverdien uten CO₂-kostnadsekivalent være 2 439 377 kroner og internrenten lik 10%. Ved å ikke bruke strøm fra kraftnettet vil 91,7 tonn CO₂ bli spart hvert år, gitt dagens kraftmiks.

Litteraturliste

- Andresen, I., 2008. *Planlegging av solvarmeanlegg for lav- energiboliger og passivhus. En introduksjon*. [Internett]
Available at: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_22.pdf
[Funnet 18. Mai 2019].
- Bergsmark, S. S., 2016. - *Solstrøm i Norge er et unødvendig, ulønnsomt og tvilsomt klimatiltak*. [Internett]
Available at: <https://enerwe.no/solenergi-stein-storlie-bergsmark/solstrom-i-norge-er-et-unodvendig-ulonnsomt-og-tvilsomt-klimatiltak/138468>
[Funnet 7. Mai 2019].
- Botsaris, P. & A. K. & G. G. & T. I. (., 2011. *Life Cycle Costs and Environmental Life Cycle Analysis of Solar Water Heaters in Greece*, Stavanger: Democritus University of Thrace, School of Engineering Department of Production Engineering and Management, Faculty of Materials, Processes and Engineering.
- Boyle, G., 2012. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. 3. utgave red. Milton Keynes: Oxford University Press.
- Carbon tracker, 2018. *EU carbon prices could double by 2021 and quadruple by 2030*. [Internett]
Available at: <https://www.carbontracker.org/eu-carbon-prices-could-double-by-2021-and-quadruple-by-2030/>
[Funnet 6. Mai 2019].
- Chua, N., 2016. *Edmond Becquerel: The Man Behind Solar Panels*. [Internett]
Available at: <http://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/>
[Funnet 17. Mai 2019].
- Clean Energy Reviews, 2014. *What are monocrystalline, polycrystalline and thin film solar panels?*. [Internett]
Available at: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/pv-panel-technology>
[Funnet 5. Februar 2019].
- Clean Energy Reviews, 2018. *Solar panel construction*. [Internett]
Available at: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
[Funnet 5. Februar 2019].
- Energi og klima, 2019. *Kvotemarked: EU og verden*. [Internett]
Available at: <https://energiogklima.no/klimavakten/kvotemarked-eu-og-verden/>
[Funnet 6. Mai 2019].
- Energifakta Norge, 2019. *Kraftproduksjon*. [Internett]
Available at: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/>
[Funnet 14. Februar 2019].

EnergiNorge, 2018. *Syv ting du bør vite om strømprisene*. [Internett]
Available at: <https://www.energinorge.no/fagomrader/strommarked/nyheter/2018/syv-ting-du-bor-vite-om-stromprisene/>
[Funnet 15. Februar 2019].

Energiverket, u.d. *Derfor er solfangere langt mer effektive enn solceller*. [Internett]
Available at: <https://www.energiverket.no/solfangere-mer-effektive-enn-solceller/>
[Funnet 16. April 2019].

Enova, 2016. *Enovas byggstatistikk 2016*, s.l.: Enova SF.

Enova, 2019. *Fullskala innovativ energi- og klimateknologi*. [Internett]
Available at: <https://www.enova.no/bedrift/energisystem/ny-teknologi-i-energisystem/fullskala-innovativ-energi--og-klimateknologi/>
[Funnet 7. Mai 2019].

Environmental Protection Agency, 2018. *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. [Internett]
Available at: https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator?fbclid=IwAR0krVAyu1flzlu-ZNMEpLQVzTKET9rFcHJz_vK5Fe6irPcUTMLKMMDezoA
[Funnet 14. Mai 2019].

FUSen, u.d. *SNØSMELTING MED SOLCELLEANLEGG*. [Internett]
Available at: <https://www.fusen.no/solceller-med-snosmelting>
[Funnet 22. Januar 2019].

GreenMatch, 2015. *Types of solar panels*. [Internett]
Available at: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>
[Funnet 1. Mai 2019].

Haug, H., 2015. *Hvordan lage verdens beste solcelle?*. [Internett]
Available at: <https://www.naturfag.no/artikkel/vis.html?tid=2131335>
[Funnet 17. Mai 2019].

Hofstad, K., 2019. *Solenergi*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/solenergi>
[Funnet 30. Januar 2019].

Holm, Ø., 2016. *National Survey Report of PV Power Applications in Norway*, s.l.: International Energy Agency PVPS.

Hovland, K. M., 2018. *Venter kraftig økt forbruk i Norge: Disse vil sluke mest strøm*. [Internett]
Available at: <https://e24.no/energi/stroem/venter-kraftig-oekt-forbruk-i-norge-disse-vil-sluke-mest-stroem/24309250>
[Funnet 18. Februar 2019].

Innovasjon Norge, u.d. *Ny app gir deg billigere strøm*. [Internett]
Available at:

<https://www.innovasjon Norge.no/no/tjenester/kundehistorier/kundehistorie/tibber-as/>
[Funnet 18. April 2019].

Jan Remund, L. W. M. L. T. R. J. P., 2003. *Worldwide Linke turbidity information*. [Internett]
Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00465791/document>
[Funnet 19. Mai 2019].

Mæhlum, L., 2017. *Solceller*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/solceller>
[Funnet 10. Mars 2019].

Multiconsolt og Asplan Viak, 2018. *Solcellesystemer og sol i systemet*, s.l.: Solenergiklyngen.

Myhre, T., 2018. *Albedoeffekt*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/albedoeffekt>
[Funnet 19. Mai 2019].

Nord Pool, 2019. *Historical market data*. [Internett]
Available at: <https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/>
[Funnet 18. Februar 2019].

Norges vassdrags- og energidirektorat, 2015. *Kostnader i energisektoren*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Norges vassdrags- og energidirektorat, 2015. *Solenergi*. [Internett]
Available at: <https://www.nve.no/energiforsyning/solenergi/>
[Funnet 5. Februar 2019].

Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018. *Nasjonal varedeklarasjon 2017*. [Internett]
Available at: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2017/>
[Funnet 12. Mai 2019].

Norges vassdrags- og energidirektorat, 2019. *Været største utfordring for forsyningsikkerheten i 2018*. [Internett]
Available at: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-sikkerhet-og-energiforsyningsberedskap/vaeret-storste-utfordring-for-forsyningsikkerheten-i-2018/>
[Funnet 14. Mai 2019].

Norsk solenergiforening, u.d. *Solfangere*. [Internett]
Available at: <https://www.solenergi.no/solvarme/>
[Funnet 5. Februar 2019].

Photovoltaic-software.com, 2019. *How to calculate the annual solar energy output of a photovoltaic system?*. [Internett]
Available at: <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>
[Funnet 11. Mars 2019].

Renewable Energy UK, u.d. *40 Percent Efficiency PV Solar Panels*. [Internett]
Available at: <http://www.reuk.co.uk/wordpress/solar/40-percent-efficiency-pv-solar-panels/>
[Funnet 17. Mai 2019].

Sandbag, 2019. *EUA Price*. [Internett]
Available at: <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>
[Funnet 6. Mai 2019].

Sendy, A., 2017. *SolarReviews*. [Internett]
Available at: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels#advantagesMonocrystalline>
[Funnet 5. Februar 2019].

Skagerak kraft, u.d. *Hva påvirker strømprisen i Norden?*. [Internett]
Available at: <https://www.skagerakkraft.no/krafthandel/hva-pavirker-stromprisen-i-norden-article729-1021.html>
[Funnet 15. Februar 2019].

SoDa, 2017. *Linke turbidity factor*. [Internett]
Available at: <http://www.soda-pro.com/help/general-knowledge/linke-turbidity-factor>
[Funnet 18. Mars 2019].

SoDa, 2017. *LINKE TURBIDITY FACTOR, OZONE, WATER VAPOR AND ANGSTROEMBETA*. [Internett]
Available at: <http://www.soda-pro.com/web-services/atmosphere/linke-turbidity-factor-ozone-water-vapor-and-angstroembeta>
[Funnet 18. Mars 2019].

Statistisk sentralbyrå, 2018. *Elektrisitetspriser*. [Internett]
Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/09387>
[Funnet 20. Februar 2019].

Sweco, 2018. *Biri Omsorgssenter - Energinotat*, Gjøvik: Sweco.

Sweco, 2018. *Biri Storstugu - A3 hefte*, Gjøvik: Sweco.

Tesla , 2019. *Powerwall*. [Internett]
Available at: https://www.tesla.com/no_NO/powerwall?redirect=no
[Funnet 15. Mai 2019].

Timeanddate, 2019. *Biri, Oppland fylke, Norway — Sunrise, Sunset, and Daylength, May 2019*. [Internett]
Available at: <https://www.timeanddate.com/sun/@6355199>
[Funnet 13. Februar 2019].

Twidale, S., 2019. *Analysts raise EU carbon price forecasts, warn of short-term Brexit jitters - Reuters poll*. [Internett]
Available at: <https://www.reuters.com/article/uk-eu-carbon-poll/analysts-raise-eu-carbon-price-forecasts-warn-of-short-term-brexite-jitters-reuters-poll-idUSKCN1PA1CM>
[Funnet 6. Mai 2019].

Ursin, L., 2018. *Hva bestemmer strømprisen?*. [Internett]
Available at: <https://energiogklima.no/nyhet/ekspertintervjuet-hva-bestemmer-stromprisen/>
[Funnet 15. Februar 2019].

YouGen, 2017. *Solar PV-T systems - what are the pros and cons?*. [Internett]
Available at: <http://www.yougen.co.uk/blog-entry/2833/Solar+PV-T+systems+-+what+are+the+pros+and+cons%273F/>
[Funnet 12. Februar 2019].

