

Daniel Vetle Flo - 471136

Anne Maren Pauline Velo - 473328

Optimalisering av solcellesystem ved Biri Omsorgssenter

Implementering av solceller med hensyn på økonomiske og miljømessige mål

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag - Fornybar Energi

Veileder: Guri Krigsvoll

Mai 2019

Oppgavens tittel: Optimalisering av solcellesystem ved Biri omsorgssenter	Dato: 19.05.19		
	Antall sider: 58		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Daniel Vetle Flo – 471136 Anne Maren Velo – 473328			
Veileder: Guri Krigsvoll			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Alemayehu Gebremedhin			

Sammendrag:

Følgende bacheloroppgave ble utviklet av et samarbeid mellom NTNU, Gjøvik kommune og Sweco AS. Formålet med oppgaven var å konfigurere et solcelleanlegg for et nytt omsorgssenter som ligger i Biri. Et annet mål var å forstå økonomiske og miljømessige konsekvenser ved implementering av et solcellesystem. Det ble utarbeidet en casestudie som førte til den beste løsningen som var tilgjengelig. For Gjøvik kommune står det i energi- og miljøplanene at målet er å redusere lokale CO₂-utslipp ved å velge nye fornybare energikilder. Oppgaven var hovedsakelig en teoretisk oppgave, da alle aspekter av beregningene er basert antakelser fra pålitelige kilder.

Under gjennomførelsen av analysen, blir nesten hver beregning gjort med programvaren SIMIEN basert på dokumenter og data gitt av Sweco. Senteret ble utformet i programmet som gjorde hver beregning så presis som mulig. Etter at bygningens kvalifikasjoner var representert innenfor SIMIEN, begynte prosessen med å konfigurere forskjellige solcellesystemer. Med så forskjellige resultater for hvert system resulterte den økonomiske vurderingen med monokrystallinske solceller som det favoriserte alternativet. Med ett alternativ gjenværende, ble ytterligere økonomiske beregninger gjort for å forstå andre aspekter av systemet.

Stikkord:

Solceller
Energibehov
Økonomi
Miljø

 Daniel Vetle Flo

 Anne Maren Pauline Velo

Abstract

Gjøvik municipality's energy and environment plan states the need for reduced local CO₂ emission by choosing renewable energy sources. This Bachelor thesis describes configuration of a solar cell system for a newly constructed care center at Biri and is jointly developed by NTNU, Gjøvik municipality and Sweco AS. The main goal is to understand the economic and environmental impact of a solar system and hence select the best solution available. This thesis is mainly a theoretical one as many of the calculations are based on assumptions due to limited amount of live data. When analyzing the different alternatives, almost every calculation was made in the SIMIEN software, based on documents and data provided by Sweco AS.

The care center building qualifications and different solar cell systems has been modelled into the SIMIEN software which made every calculation as precise as possible. The initial three solar cell systems were selected based on Multiple-criteria decision analysis. With different results for each system, the economic review resulted with monocrystalline solar cells as the favored option. With one option remaining, further aspects were evaluated to finally select the preferred system.

Forord

Ved institutt for vareproduksjon og byggeteknikk på NTNU skal alle studenter fullføre et bachelorprosjekt det sjette semesteret. Prosjektet gjennomføres gruppevis, vanligvis med 2-3 studenter per gruppe. Bacheloren vektlegges med 20 studiepoeng. Hver student skal legge oppimot 500 timer med arbeid ved fullført prosjekt. Ved valg av oppgave er det essensielt at den er relatert til studieløpet. Oppgaven kan gjøres i samarbeid med bedrift, eller uten; teoretisk basert.

Oppgaven ble presentert av emneansvarlig for den fornybare linjen, og vekket stor interesse for oss. I januar 2019 møtte vi oppdragsgiver for å få bedre oversikt i oppgavens oppbygging. Oppdragsgiver og studenter ble enige og like etter ble avtale dokumenter signert og levert. Oppdragsgiver er Gjøvik kommune som ønsket ingeniørhjelp og nye synspunkter på en problemstilling, men ble misforståelse mellom NTNU og kommunen. Dette resulterte i at kommunen ikke trengte hjelp og heller ble veileder til en teoretisk problemstilling. Problemstillingen gikk ut på å optimalisere bruken av solenergi for det nye Biri omsorgssenter.

Vi som prosjektgruppe er fornøyde med resultatet, innsatsen og tror oppdragsgiver verdsetter arbeidet og muligens tar hensyn til våre beregninger gitt at de har gjort sine egne. Oppgaven var av stor interesse for begge medlemmer i prosjektgruppen og resulterte i jevnt og godt samarbeid.

Vi vil takke Guri Krigsvoll for veiledningen hun har tilbudt gjennom semesteret. Vi vil også takke Gjøvik kommune og Henrik Brennhaugen Jakobsen som oppdragsgiver og for muligheten. Tilslutt vil vi takke Sweco for samarbeidet, dokumenter og data. Vi ønsker dere lykke til videre med bygningsprosessen.

Innholdsfortegnelse

Abstract	II
Forord.....	III
Innholdsfortegnelse	IV
Figurliste.....	VI
1 Innledning.....	1
2 Solcelleanlegg og elektrisitetsproduksjon.....	4
2.1 Solceller	4
2.2 Innstråling	6
2.3 Virkningsgrad.....	7
2.4 Lagring	8
2.5 Teknologier	8
2.5.1 Monokrystallinske	8
2.5.2 Polykrystallinske	9
2.5.3 Tynnfilm	9
2.6 Innovasjon.....	10
3 Biri omsorgssenter og energibehov	11
3.1 Biri omsorgssenter	11
3.2 Energikrav	12
Passivhus.....	13
3.3 Beregningsforutsetninger og simulering.....	13
3.3.1 Simulering av energibehov	16
4 Vurdering av alternativer.....	19
4.1 Metodevalg (MCDA/MCDM).....	19
4.2 Innledende valg av systemer.....	21
System 1.....	24
System 2.....	24
System 3.....	24
4.3 Optimalisering av alternativer	25
4.3.1 Vurdering av forholdet mellom energiproduksjon og behov	28
4.3.2 System 2 & 3	30
4.4 Evaluering	32
4.5 Økonomi.....	33

4.6	<i>Kostnader for kraftproduksjon</i>	39
5	Diskusjon	41
5.1	<i>Energibehov og klimaforutsetninger</i>	41
5.2	<i>Etiske og miljømessige utfordringer</i>	42
5.3	<i>Solcellesystemene</i>	43
5.4	<i>Økonomi</i>	44
5.5	<i>Konklusjon</i>	45
	Litteraturliste	47

Figurliste

Figur 1 Viser utslipp av millioner tonn CO ₂ per land (Miljødirektoratet, 2018).....	1
Figur 2: Viser hvordan elektronene beveger seg i en solcelle. (Solceller, 2018).....	5
Figur 3: Beskrivelse av vinkelen mellom Kollektor (solcellen) og solinnstrålingen. (Holter, Ingebretsen og Parr, 2010)	6
Figur 4: Flytskjema som illustrerer MCDA metoden. (Wang og Tsai, T.C og S.Y, 2018)	20
Figur 5: Aktuelle takflatene (markert i rødt).....	26
Figur 6: Årsproduksjon for de ulike solcellene med økende helningsvinkler.	26
Figur 7: Søylediagrammet viser en oversikt over energibehovet og levert el. fra solcellepanelene til omsorgssenteret, over 12 måneder.	29
Figur 8: Søylediagrammet viser en oversikt over energibehovet og levert el. fra monokrystalliske solcellepanelene.	31
Figur 9: Søylediagrammet viser en oversikt over energibehovet og levert el fra solcelletaksteinene til bygningen, over en periode på 12 måneder.	32
Figur 10: Viser tilbakebetalingstiden for alle tre solcellesystemene.	37
Figur 11: Viser tilbakebetalingstiden for alle tre solcellesystemene, med økning i strømpris.	38
Figur 12: Viser reduksjonen av produsert strøm for system 2.	40

Tabell liste

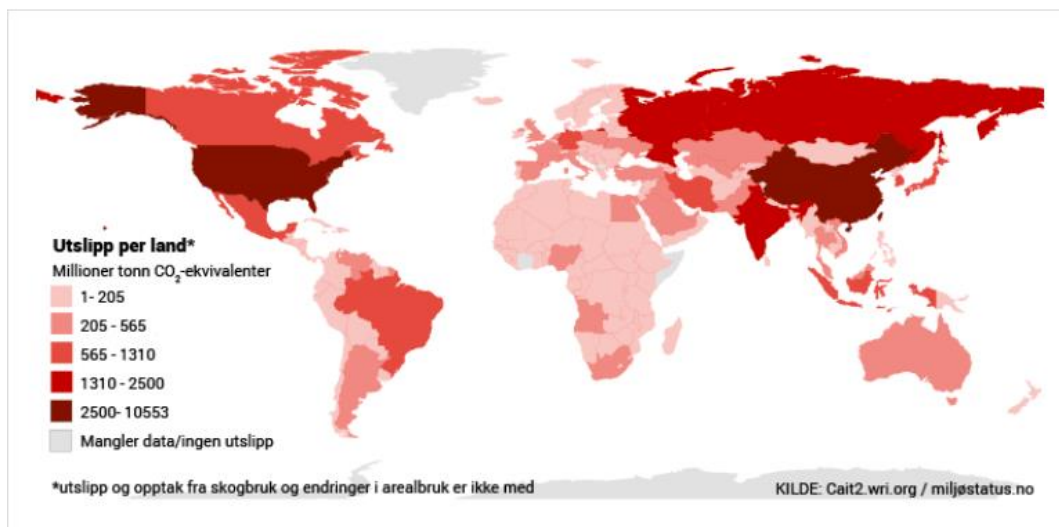
Tabell 1: Grunnleggende beskrivelse av energikrav for Biri omsorgssenter.	12
Tabell 2: Oversikt over inngangsverdiene oppgitt av Sweco.....	15
Tabell 3: Inngangsverdiene for beregning av energibehov ved omsorgssenteret.	16
Tabell 4: Energibudsjettet til omsorgssenteret.	17
Tabell 5: Energibudsjettet (NS3701) til omsorgssenteret.	17
Tabell 6: Levert energi til omsorgssenteret, i kWh.	18
Tabell 7: Egenskaps matrise for ulike silisium solceller med utvalgte egenskaps kriterier. (Solceller), (Solcelletyper – det finnes tre forskjellige)	21
Tabell 8: Produksjon for de ulike solcelle typene med økende helningsvinkel.	27
Tabell 9: Levert energi til bygningen (beregnet) for 650 kvadratmeter med polykrystalliske solceller.	28
Tabell 10: Energiproduksjonen i ulike måneder for solcelleanlegget med polykrystalliske solceller.	29

Tabell 11: Det årlige utslippet av CO2 for omsorgssenteret ved system 1	30
Tabell 12: Levert energi for ulike solcellesystemer, kWh	30
Tabell 13: Oversikt over energiproduksjonen fra monokrystalliske solcellene.	31
Tabell 14: Oversikt over energiproduksjonen fra solcelletakstein.	31
Tabell 15: Evalueringsmatrisen for de ulike systemene med gitte variabler.	33
Tabell 16: Elektrisitetsproduksjon og investeringskostnader.....	35
Tabell 17: Nåverdi for system 1 ved ulike kombinasjoner av kalkulasjonsrente og strømpris	36
Tabell 18: Nåverdi for system 2 ved ulike kombinasjoner av kalkulasjonsrente og strømpris	36
Tabell 19: Nåverdi for system 3 ved ulike kombinasjoner av kalkulasjonsrente og strømpris	36
Tabell 20: Energiproduksjonen for system 2, uten noe snødekke.....	38

1 Innledning

I dagens samfunn forbrukes det store mengder med fossilt brensel i de ulike samfunnssektorene. Dette fører med seg store mengder forurensing. Påvirkningen forurensingen har på mennesker og naturen er store over hele verdenen. De store utslippene er en sterk bidragsyter til de pågående klimaendringene. Dette har i dag allerede bidratt til økt smelting av isbreene, i tillegg til dårlig kvalitet på vannet rundt om på jorda. Dette påvirker matproduksjonen og økosystemene i havet og på land (Miljødirektoratet, 2017) (Anders, 2012).

Klimaendringene kan relateres til jordas energibruk. Vi er i dag en befolkning på rundt 7,6 milliarder mennesker. Dette vil fortsette å øke og som et resultat av dette øker også befolkningens behov parallelt. Dette innebærer en økning av energiforbruket. Figur 1 fra (Miljødirektoratet, 2018) illustrerer en oversikt over det totale CO₂-utslippet per land, fra 2013.



Figur 1 Viser utslipp av millioner tonn CO₂ per land (Miljødirektoratet, 2018).

Med bakgrunn i klimaendringene er det vedtatt ulike protokoller og avtaler, både nasjonalt og internasjonalt. I 1997 ble Kyotoprotokollen også kalt FNs klimakonvensjon vedtatt. Kort oppsummert inneholder den tidsfrister og tall for reduksjon av klimagassutslipp hos industriland, disse varierer for de deltakende landene (Kyotoprotokollen, 2018).

Deretter, i 2015, ble Parisavtalen vedtatt, avtalen trådte i kraft i 2016. Avtalen sier at alle land har forpliktelser til å bidra med å redusere klimagass utslippene, og det skal helst ikke bli mer

enn 1,5 grader varmere. Landene må også ha en plan for hvordan de vil gjennomføre dette. Videre må de rike landene betale for å hjelpe fattigere land med å kutte sine utslipp. Tilslutt så må alle landene lære å tilpasse seg klimaendringene og de må samarbeide om å nå målene (*Prisavtalen*, 2019).

Ifølge (*Miljødirektoratet*, 2018) har klimagassutslippene i Norge gått opp 23% siden 1990, men holder seg relativt stabilt. En statistikk fra SSB viser at utslippet i Norge i 2017 var 1,6% lavere enn i 2016, ifølge miljøstatus skyldes dette hovedsakelig mindre utslipp fra personbiler. For Norge kommer de største utslippene fra industri, transport pluss olje- og gassutvinning. Mye av olje- og gassproduksjonen i Norge blir eksportert. Også ifølge (*Miljødirektoratet*, 2018) så er det CO₂ som dominerer i Norge, med 83% av totale klimagass utslippet.

For å følge opp FN direktivene er det satt i gang ulike tiltak av både Norge og EU, blant noen av dem er det viktig å nevne fornybardirektivet og bygningsenergidirektivet.

Fornybardirektivet ble vedtatt av EU i 2008 og i 2011 ble den skrevet inn i EØS-avtalen. Fra (Lars Mæhlum, 2018) står det at direktivet jobber med å fremme bruken av fornybar energi. Det følger av direktivet at alle land innen EU må øke sin produksjon av fornybar energi. Noen land har satt at disse målene skal nås innen 2020 (Lars Mæhlum, 2018) (*Revidert fornybardirektiv*, 2018).

Bygningsenergidirektivet ble vedtatt av EU i 2003 og er iverksatt i nesten alle europeiske land. Direktivet har regler for energimerking av bygninger, i tillegg til energirelatert vurdering av tekniske anlegg. Det stiller også krav til nye bygningers energitilstand. Medlemslandene er pålagt å iverksette ulike virkemidler for å bedre energieffektiviteten i bygningssektoren (*Bygningsdirektivet*, 2009).

Videre har Norge en klimapolitikk med hovedsakelig to hovedmål; at Norge skal være karbonnøytralt innen 2050 og at Norge skal kutte klimagassutslippene med 30% tilsvarende nivået vi hadde i 1990 innen 2020, slik det beskrives i (*Alt om klimameldingen og klimaforliket*, 2012). For å oppnå dette er det iverksatt ulike klimapolitiske virkemidler som ulike påbud, forbud, klimareguleringer og økonomiske insitamenter. Klimaforliket inneholder flere ulike mål for klimapolitikken og hvordan disse skal nås.

Forliket er en konsekvens av at det er en stor enighet blant alle politikerne på stortinget om at det må skje en reduksjon av klimagassene (*Klimaforliket*, 2014) (*Alt om klimameldingen og klimaforliket*, 2012).

Videre knyttet til miljøkampen i Norge og engasjementet til befolkningen har det blitt holdt klimastreik blant barn og unge over hele landet, også over hele verden. Klimastreiken startet

med Grete Thunberg, 15 år og fra Sverige. Hun og den yngre generasjonen streiket mot politikerne som utsetter det grønne skiftet og lar klimaendringene fortsette å påvirke oss, dyrene og naturen. Natur og Ungdom skriver “regjeringa deler ut nye oljefelter i Arktis, og planlegger nye flyplasser og rullebaner”. Dermed står de frem med at det er den unge generasjonen som må ta opp tiltaksløsheten til politikerne og stå opp for egen fremtid (Andreas Randøy, 2019). Videre vises det at miljøpolitikken kan bli viktig når det skal holdes kommunestyre- og fylkesting valg i september i 2019. Dette kom blant annet fram da det tidlig i april ble offentliggjort en kommunevalgmåling fra TV2 hvor miljøpartiet de grønne gjør det største hoppet med en økning på 2,4 %. Videre ifølge (*Grønn skrell på TV2s partimåling MDG økte mest*, 2019) er MDG det femte største partiet i årets valg, og de er et av de største partiene blant velgerne under 30 år.

For å følge opp sine forpliktelser har Gjøvik kommune vedtatt egne energi- og miljøplaner. Kommunen har mål om å redusere det lokale CO2 utslippet ved å velge nye fornybare energikilder. Kommunen har også satt et krav at strømgjengen hvert år fremover skal reduseres med 4 mill.kr. Utover klimahensynet vil kommunen være forberedt på mulige store svingninger i strømprisene fremover.

For å implementere planene sine vedtok kommunestyret i 2018 at det planlagte omsorgssenteret på Biri skal være “forbildeprosjekt”. Omsorgssenteret skal være for tungt pleietrengende pasienter. Alle valg knyttet til omsorgssenteret og underveis i bygningsprosessen skal bidra til at dette blir et “forbildeprosjekt” for fremtidige miljøbygg i kommunen. Senteret skal bygges i massivt tre, og det er bestemt at det skal møte miljøkravene for å oppnå passivhusnivå. Som eksempel vil det bli brukt elektriske gravemaskiner for å gi en utslippsfri bygningsplass.

Med bakgrunn i dette ønsker vi å se på mulighetene for bruk av solceller til å dekke deler av elektrisitetsbehovet til det nye omsorgssenteret på Biri. Vår problemstilling er “Hvilken type installert solcelle vil være best egnet basert på kommunens økonomiske og miljømessige mål?”

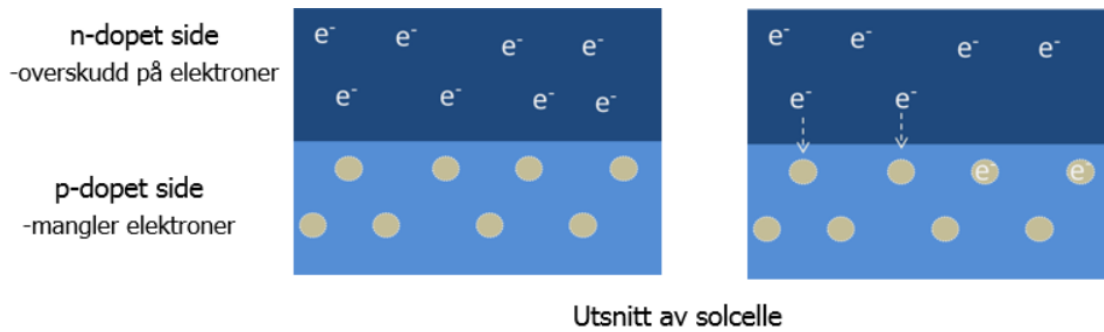
2 Solcelleanlegg og elektrisitetsproduksjon

2.1 Solceller

Solen er opphavet til meste av energien som er tilgjengelig. Direkte gjennom solceller og solvarme og indirekte ved vind, bølger, nedbør og ikke minst bioenergi. Solceller ble først tatt i bruk på satellitter, lenge før det ble innført i samfunnet. Stor utvikling innenfor markedet i Norge har ledet til at det ble i 2018, installert 70 000 solcellepaneler, på flate tak, private boliger og næringsbygg. Den grunnleggende oppbygningen av solcellepanelene er likt i dag slik det var på 80-tallet. Det som har blitt bedre, er at solcellene har blitt mer effektive med høyere virkningsgrader (*Alt du trenger å vite om solcellepaneler og solenergi for næringsbygg og offentlige bygg*, 2019) (Knut Hofstad, 2019).

I (Solceller, 2018) blir teknologien bak solceller detaljert beskrevet. Ett av hoved materialene som benyttes i solceller er silisium. Grunnstoffet er nummer 14 i det periodiske systemet, og dens plassering tilsier at silisium har mangel på et elektron i det ytterste skallet. Ved å binde seg med andre silisium atomer dannes det en krystall. Deretter ved å dope silisium med andre grunnstoffer som har overskudd av elektroner, får krystallen et bra utgangspunkt for å lede strøm. Grunnstoffer som egner seg og er blant de vanlige som blir benyttet er bor og fosfor. Denne prosessen blir kalt for p-doping og n-doping.

Videre i (Solceller, 2018) blir det beskrevet at solstrøm generelt blir dannet ved at solinnstrålingen slår ut de frie elektronene, overskuddet av de frie elektronene ligger på n-dopet siden. Slik som figur 2 illustrerer, vil elektorene bevege seg fra den ene siden og over. Ved da å koble til en kilde vil elektronene reise denne veien. Dermed når dette skjer gjentatte ganger blir det frembrakt strøm.



Figur 2: Viser hvordan elektronene beveger seg i en solcelle. (Solceller, 2018)

Ved å seriekoble solceller får man et solcellepanel. Deretter ved å parallell koble disse panelene, blir det ansett som et solcelleanlegg. Årsaken til hvorfor solcellepanelene seriekobles er for å øke spenningen. Som konsekvens av at spenningen øker vil effekten øke på bakgrunn av formel (1). Strømmen øker som resultat av å parallell koble panelene, men dette har ikke noe innvirkning på spenningen (Solceller, 2018).

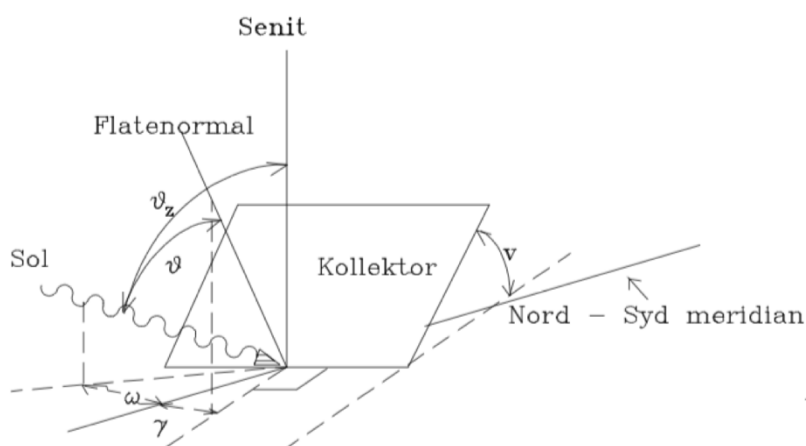
$$P = V * I \quad (1)$$

Detaljerte beskrivelser om solcellepanelene blir oppgitt i egne produktblad fra produsentene, som inneholder mye grunnleggende informasjon gjeldende vekt, virkningsgrad og størrelsen til panelene. Ofte blir det oppgitt innenfor hvilke temperaturer solcellene opererer best mulig.

Den elektriske dataen knyttet til panelene i produktbladene oppgis i NOTC og STC. NOTC står for Nominell operasjon celle temperatur. I (David, 2015) beskrives NOTC at det er hvordan panelet opererer under oppgitte virkelige forhold. Ett eksempel er hva den forventede virkningsgraden kan være ved en oppgitt solinnstråling. Dette er mye avhengig av geografisk lokasjon. STC står for standard testforhold. Det beskriver under hvilke forhold solcellene er blitt testet i laboratoriene (David, 2015). Det er på grunnlag av disse testforholdene man bruker når ulike solceller skal sammenlignes.

2.2 Innstråling

Energiproduksjonen vil avhenge av type solcelle og tilgjengelig solenergi. Tilgjengelig solenergi avhenger av innstråling og geografisk plassering på jorda (Solenergi, NTNU). Solinnstrålingen vil variere med den geografiske plasseringen. Den ligger på mellom 700 og 2200 kWh/m² per år. I Norge ligger denne på mellom 700-1000 kWh/m² årlig, ifølge (*Om solenergi*).



Figur 3: Beskrivelse av vinkelen mellom Kollektor (solcellen) og solinnstrålingen. (Holter, Ingebretsen og Parr, 2010)

Figur 3 beskriver relasjonen mellom de ulike vinklene, knyttet til innstrålingen fra solen. Solcellepanelet (Kollektor) er rettet mot sør i henhold til solens bane. Helningsvinkelen til solcellen vil ha stor påvirkning på strømproduksjonen. Time vinkelen beskriver solcellens plassering i forhold til hvor solen befinner seg på himmelen etter hvilken tid det er på døgnet og årstiden. Deretter så beskriver theta, vinkelen mellom solcellen og innstrålingen, som blir brukt videre til å finne den konkrete solinnstrålingen for den oppgitte breddegraden (Holter, Ingebretsen og Parr, 2010).

Vinklene som er illustrert i figur 3 kan defineres slik, fra (Holter, Ingebretsen og Parr, 2010):

φ = Breddegrad

δ = Deklinasjon, solas posisjon i forhold til ekvator

ω = Timevinkel

ν = Planets helning

γ = Planets asimutvinkel

Andre vinkler som senitvinkel og solhøyde benyttes også ofte.

2.3 Virkningsgrad

Virkningsgraden til en solcelle beskriver hvor mye av innstrålingsenergien som kan bli omdannet til elektrisk energi. Virkningsgrad regnes ut ved bruk av formelen (2).

$$\frac{\text{Effekt ut}}{\text{Effekt inn}} * 100\% \quad (2)$$

Ettersom solceller hovedsakelig består av materialer som fungerer som halvledere betyr dette at det finnes mange ulike kombinasjoner for disse. Markedet er i dag dominert av solceller lagd med silisium hvor den beste oppnådde virkningsgraden er 25%. Dagens cellestruktur gir en øvre effektivitetsgrense på 30 %. Som et resultat av den voksende industrien foregår det mye forskning om hvordan forbedre virkningsgraden, der mye foregår på nanonivå. Formålet er å skreddersy egenskapene til disse halvlederne for ønsket formål (Anders, 2012) (Thorud, 2016).

2.4 Lagring

Den elektriske energien som kan tas til nytte avhenger av produksjon og behov. Hvis man ikke er tilkoblet det elektriske nettet er det mulighet for å ha batterier til lagring, slik at man har tilgang på strømmen ved senere tidspunkt. I motsetning til hvis man er koblet på nettet som gir deg valget å selge strømmen. Dette kan være kostbart eller lite lønnsomt ettersom strømprisen i Norge varierer hver time. Til slutt er også batterier i seg selv veldig kostbare, og må ofte byttes ut siden kapasiteten reduseres årlig (Thorud, 2016).

2.5 Teknologier

Det finnes 3 typer teknologier som brukes i solcellepaneler som er tilgjengelige på markedet, disse er monokrystallinske, polykrystallinske og tynnfilm. Som navnene antyder (monokrystallinsk og polykrystallinsk) er begge typer solceller laget av krystallinsk silisium. For 2-3 år siden var den vanligste typen solcellepanel som ble brukt monokrystallinske solcellepaneler, men i de siste tre årene har polykrystallinske solcellepaneler blitt tatt mer i bruk (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

Både monokrystallinske og polykrystallinske solceller er svært like i ytelse. Det som kan bestemme utfallet når det gjelder systemytelse over solpanelets levetid, er mangel på defekter i produksjonsprosessen og et selskap som erstatter panelene dersom ytelsen deres faller under de garanterte nivåene.

Tynn film er en helt annen teknologi. Det er mye mindre effektivt og bruker derfor mye mer takplass. Den ene fordelen er at den fungerer bedre under svake lysforhold, eller når systemet ligger delvis i skygge eller i ekstrem varme (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

2.5.1 Monokrystallinske

Dette er den eldste og mest utviklede av de tre teknologiene. Monokrystallinske paneler som navnet antyder, er opprettet fra en enkelt kontinuerlig krystallstruktur. Og kan identifiseres fra solcellene som fremstår som en enkelt flat farge.

De er laget gjennom Czochralski-metoden der et silisiumkrystall "frø" er plassert i karbon av smeltet silisium. Frøet blir så sakte trukket frem med det smeltede silisiumet som danner en

fast krystallstruktur rundt frøet kjent som en ingot. Den faste silisium krystallen silisium er deretter finskåret og er kjent som en silisiumskive, som videre blir omgjort til en celle (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

2.5.2 Polykrystallinske

Produksjon av polykrystallinske solceller starter også som et silisiumkrystall "frø" plassert i et karbon av smeltet silisium. Men i stedet for å trekke silisiumkrystallfrøet opp som med Monokrystallinsk, får karbonet av silisium bare lov til å avkjøles. Dette er hva som danner de særegne kantene og kornene i solcellen (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

Polykrystallinske solceller ble tidligere antatt å være dårligere enn monokrystallinske fordi de var litt mindre effektive, men på grunn av den billigere metoden som de kan produseres i kombinasjon med bare litt lavere effektivitet, har de blitt den dominerende teknologien for solcelleanlegget til boliger. Med nyere teknologier er diverse polykrystallinske solceller nå svært nær monokrystallinske celler når det gjelder effektivitet (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

2.5.3 Tynnfilm

Tynnfilm paneler er en helt annen teknologi enn mono- og polykrystallinske. Det er en ny teknologi i forhold til mono- og polykrystallinske celler og vil ikke bli betraktet som en ferdig utviklet, da det forventes store forbedringer i denne teknologien de neste 10 årene (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

Tynnfilm paneler er laget ved å avsette en fotovoltaisk substans på en solid overflate som glass. Den fotovoltaiske substansen som brukes varierer og flere kombinasjoner av stoffer har blitt brukt. Eksempler på de vanligste fotovoltaiske stoffene som brukes er: Amorf silisium, Kadmium Telluride (CdTe), Kobberindium gallium selenid (CGIS) og Dye-sensibilisert solcelle (DSC). Hver av de nevnte er kjent som forskjellige paneltyper, men alle faller under paraplyen for å være et tynnfilm panel (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

Tynnfilmceller har et rykte som det "vørste" av solpanelteknologiene fordi de har lavest effektivitet. Dette er imidlertid bare fordi de har lavere energieffektivitet, noe som bare betyr

at de krever mer plass for samme mengde strøm. Siden de blir de billigste panelene for å produsere på grunn av de lave materialkostnadene for tynnfilm, blir de raskt de mer økonomisk effektive paneltypene (Sendy, 2017) (*What is a solar PV system*).

2.6 Innovasjon

I de siste årene har det blitt en større interesse rundt nye estetiske løsninger for solceller. Og er ikke lenger bare fokus på energiproduksjon. I dag er det mulig å få de tradisjonelle solcellene produsert i ulike farger, som kan bedre passe forbrukers behov.

Knyttet til monteringen av solceller har dette utviklet seg slik at det i dag er mulig å integrere solcellene som en del av bygningens fasade (BIPV). Dette gir det et annet estetisk uttrykk og for noen oppleves dette som mindre sjenerende. Slik som det forklares i (*Mer innovative løsninger for solceller*, 2018) kan et eksempel være å integrere solceller i en av veggene av en enebolig

Enda en ny og innovativ løsning som nylig har kommet ut på markedet er solcelletakstein. En slik type løsning gir flere muligheter enn tidligere. Blant annet når det gjelder energien det blir mulig å hente, ved at hele taket blir dekket med slik type takstein (*Mer innovative løsninger for solceller*, 2018). Denne teknologien er en såpass ny så kostnadene blir en del høyere enn vanlig solceller. I følge (*Solceller*) må man regne med 3500 kr/kvm for takrenovert med taksteinen. I gjengjeld så er det regnet at levetiden på solcelletaksteinene ifølge (*Solceller*) er 50 pluss år.

3 Biri omsorgssenter og energibehov

3.1 Biri omsorgssenter

Omsorgssenteret vil bestå av en sykehjems fløy, en hovedfløy og en administrerende fløy. Vedlagt i vedlegg 3 og 13 ligger plantegningene. Bygget vil ha to etasjer i tillegg til en kjeller. Videre er det fastsatt at energiforsyningen til bygget vil bestå av elektrisitet og varmepumpe. Varmepumpene er satt til å dekke 50 % til oppvarming av tappevannet, refererer til vedlegg 16, og det resterende vil bli dekt av el. De er også satt til å dekke en stor prosentandel av de resterende postene. Det som står igjen vil bli dekt av elektrisitet.

Knyttet til konstruksjonen til bygningen blir det beskrevet i vedlegg 4 at omsorgssenteret skal konstrueres i massivt tre. Massivt tre vil ha en sterk tilstedeværelse på interiøret og kledningen i bygget. Flere av valgene som er gjort til grunn for disse avgjørelsene kan begrunnes med blant annet at; Biri lenge har vært et kjent område for trevirke produksjon. Kommunen vil også at senteret skal stå frem som et “forbilde prosjekt”. Det vil i tillegg bli benyttet lav-karbon betong for å gi en positiv innvirkning på det totale CO2 regnskapet til bygget. Alle valgene for det utvendige og innvendige er gjort for å bidra til et lavere CO2 avtrykk.

For å sammenligne behovet for energi og elektrisitet med egenprodusert strøm, ble det gjennomført simuleringer etter NS3031. Til dette brukte vi SIMIEN, som er et simuleringsprogram for energibruk i bygninger. Dette programmet har standardene TEK17 og NS3031 liggende inne og er hva det baserer sine simuleringer og beregninger på. U-verdier for arealer, og volum er hentet fra informasjonen om bygget i tabell 2. Der det ikke foreligger informasjon er det gjort rimelige antagelser

3.2 Energikrav

Det er lagt ved grunnleggende beskrivelse av energikrav og forskriftskrav for bygget. En mer komplett beskrivelse ligger tilgjengelig på (Direktoratet for byggkvalitet. *TEK17*) for relevante normer og standarder.

Tabell 1: Grunnleggende beskrivelse av energikrav for Biri omsorgssenter.

Krav	Beskrivelse av krav	Oppfylte krav
TEK17 – kapittel 14	Basert på NS3031, som gjelder standardiserte verdier for klima, driftstider og internlast, beregnes netto energibehov.	Ja
Passivhus	Sikre et lavt oppvarmingsbehov ved å stille krav til netto oppvarmingsbehov og diverse minstekrav til bygningskropp og tekniske systemer. Beregnes etter NS3701 basert på standardiserte internlast, lokalt klima og lave luftmengder.	Ja
Energimerking	Dette er obligatorisk for alle nye bygg. Energimerket består av en energikarakter (A-G), som forteller hvor energieffektivt bygget er, samt en oppvarmingskarakter, som forteller hvor miljøvennlig energiforsyningen er (rødt – grønn). Energikarakteren er basert på beregnet levert (kjøpt) energibehov. Dette vil si at type energiforsyning hensyntas. Beregnes etter NS3031 på samme måte som TEK	Energikarakter A og oppvarmingskarakter gul

Ettersom energikravene presentert ovenfor beregnes med utgangspunkt i fast inndata som eksempelvis, brukstider, belastning til personer, belysning, og teknisk utstyr, samt klima, driftstider til ventilasjon, er beregningene godt egnet til å sammenligne bygninger, men reell energibruk vil avvike fra utførte beregninger.

Passivhus

Et passivhus er definisjonen på et hus som er både godt isolert i tillegg til at det har få luftlekkasjer. Begrunnelsen bak at det kalles passivhus er fordi det er blitt satt inn ulike passive tiltak for å redusere det helhetlige energibehovet. Mye av grunnlaget for isolasjon legges i vegger, tak, gulv og vinduer. En viktig er et godt ventilasjonsanlegg som har mulighet for varmegjenvinning. Ved å opprettholde luftkvaliteten som gir et godt inneklima. Det er ulike standarder for hvordan type bygg det gjelder om det enten er bolig, yrkesbygg eller sykehjem (*NS3700, NS3701*) (*Passivhus*).

3.3 Beregningsforutsetninger og simulering

Tabell 2 viser en oversikt over inngangsverdier som ble gitt av Sweco. Den viser de ulike elementene, verdiene, kommentarer og hvor verdiene er hentet fra.

Element	Verdi	Kommentar	Ansvarlig for verdi
U-verdi gulv mot grunnen	0,18 W/(m ² K)*	Tilsvarende 200 mm kontinuerlig isolasjon med $\lambda \leq 0,038$ W/(mK) jfr. BKS 471.011	RIByfy dokumenter
U-verdi yttervegg mot terreng	0,23 W/(m ² K)*	Tilsvarende 150 mm kontinuerlig isolasjon med $\lambda \leq 0,038$ W/(mK) på utvendig side av betongvegg. Jfr. BKS 471.45	RIByfy dokumenter
U-verdi yttervegg i betong mot friluft	0,23 W/(m ² K)*	Tilsvarende 150 mm kontinuerlig isolasjon med $\lambda \leq 0,038$ W/(mK) på utvendig side av betongvegg. Jfr. BKS 471.451	RIByfy dokumenter
U-verdi yttervegg i bindingsverk	0,17 W/(m ² K)	Gjennomsnittlig verdi for 300 mm isolert bindingsverksvegger. Isolasjon med $\lambda=0,037$ W/(Mk). Jfr. BKS 471.401, Tabell 43, L''=4,5 og 22% treandel per m ² .	RIByfy dokumenterer/ARK tegner inn.
U-verdi skrått tretak med kaldt loft	0,13 W/(m ² K)	Tilsvarende gjennomsnittlig 300mm isolasjon mellom sperrene $\lambda= 0,037$ W/(mK). Jfr. BKS 471.013.	RIByfy dokumenterer/ARK tegner inn.

U-verdi isolert skråtak	0,18 W/(m2K)	Tilsvarende sperrer ed dimensjon 48 mm x (148mm+98mm). Isolasjon med $\lambda=0,037$ W/(mK). Jfr BKS 471.013.	RIByfy dokumenterer/ARK tenger inn.
U-verdi vinduer og dører, snitt	0,80 W/(m2K)	Verdi gjelder gjennomsnitt for hele vindu/dør leveranse. Verdi gjelder inkl. Karm/ramme.	Vindusleverandør
Normalisert kuldebroverdi (totalt per BRA)	0,03 W/(m2K)	Normalisert kuldebroverdi må dokumenteres i notat fra RIByfy.	RIByfy
Lufttetthet. Antall luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell	$\leq 0,60h^{-1}$	Forutsatt verdi. Krever stort fokus gjennom hele prosessen.	Entreprenør
Normalisert varmekapasitet	55 Wh/(m2K)	Konservativt beregnet ut ifra planlagt materialbruk iht. IFC-fil.	RIByfy
Solfaktor for vinduer med solavskjerming utvendig screen i aktivisert stilling	0,10	Solskjermingen styres automatisk og aktiviseres ved utvendig solflux lik 175 W/m ² . Utvendig solavskjerming forutsatt på alle solbelastede vinduer (øst/sør/vest). Eventuell reduksjon av utvendig solavskjerming bestemmes ut fra inneklimategninger iht. Paragraf 13-4	Solskjermingsleverandør
Solfaktor for vinduer uten solavskjerming og vinduer med solavskjerming i ikke aktivisert stilling	0,40	Må bekreftes av vindusleverandør	Vindus leverandør
Grunnforhold (varmeledningsevne/varmekapasitet)	3,5 W/(mK)/ 556 Wh(m3K)	Fjell	RIG

Tabell 2: Oversikt over inngangsverdiene oppgitt av Sweco.

3.3.1 Simulering av energibehov

Simuleringen i SIMIEN ble gjort ved å dele bygningen inn i soner. Taket til hovedfløyen ble lagt inn som et flatt tak. Dette ble gjort på bakgrunn av komplikasjoner med mange flater og ulike vinkler. Påfølgende så ble kjelleren lagt inn under den administrerende fløyen, henviser til plantegningene i vedlegg 13.

Tabell 3: Inngangsverdiene for beregning av energibehov ved omsorgssenteret.

Elementer/Aspekter	Verdier
Sykehjem fløyen	Oppvarmet gulvareal: 2100,0 m ² Oppvarmet luftrom: 8959 m ³ Fasade: 6 stk
Hovedfløyen	Oppvarmet gulvareal: 700 m ² Oppvarmet luftrom: 3412 m ³ Fasade: 6 stk
Administrerende fløyen	Oppvarmet gulvareal: 1600 m ² Oppvarmet luftrom: 3305,8 m ³ Fasade: 4 stk
Etasje	2 etasjer, ikke inkludert kjeller. 1 etasje = 3,6 m
Takvinkler	Stort tak, sykehjems fløy = 18,4 Lite tak, sykehjems fløy = 27,0 Flatt tak, hoved fløy = 0 Tak, administrerende fløy = 22
Tak areal	Stort tak, sykehjems fløy = 910 m ² Lite tak, sykehjems fløy = 390 m ² Tak, hoved fløy = ca 450 m ² Tak, administrerende fløy = 500 m ²
Vindu	(2x2): 31 (1x1): 31 (1,20x1,40): 1 (2x3): 1 (2x2,5): 25 (1x4): 5 (1,5x1,5): 21 Noen vinduer, dekker hele yttervegger.

Tabell 3 viser en oversikt over noen av forutsetningene som ble lagt inn i SIMIEN, basert på plantegningene til bygget. De anbefalte ytelse verdiene som blir benyttet er også tilgjengelig i NS3031 for sykehjem.

Tabell 4: Energibudsjettet til omsorgssenteret.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	47868 kWh	10,9 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	59026 kWh	13,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	131031 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	117336 kWh	26,7 kWh/m ²
3b Pumper	5448 kWh	1,2 kWh/m ²
4 Belysning	128467 kWh	29,2 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	102784 kWh	23,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	28094 kWh	6,4 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	620053 kWh	140,9 kWh/m ²

Tabell 4 viser energibudsjettet for omsorgssenteret gjort med års simulering. Der netto energibehov for bygget er 620053 kWh. Behovet blir fordelt på de ulike energipostene, og det spesifikke energibehovet blir oppgitt i kWh per kvadratmeter.

Tabell 5: Energibudsjettet (NS3701) til omsorgssenteret.

Energibudsjett (NS 3701)		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	51645 kWh	11,7 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	52694 kWh	12,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	131031 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	99840 kWh	22,7 kWh/m ²
3b Pumper	5357 kWh	1,2 kWh/m ²
4 Belysning	102784 kWh	23,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	102784 kWh	23,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	20329 kWh	4,6 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	566463 kWh	128,7 kWh/m ²

Tabell 5 viser energibudsjettet til omsorgssenteret ved passivhus simuleringen. Energibudsjettet til bygget etter standarden NS 3701 vil være på 566463 kWh årlig. Vurderingen gjøres med lavere luftmengder enn årssimuleringen. Som resulterer i et lavere energibehov.

Tabell 6: Levert energi til omsorgssenteret, i kWh.

Levert energi til bygningen (NS 3701)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	395815 kWh	90,0 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	66803 kWh	15,2 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	462618 kWh	105,1 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	462618 kWh	105,1 kWh/m ²

Figur 6 viser levert energi til bygget vurdert etter passivhusstandard, NS3701. Etter standarden blir netto levert energi til bygget, 462618 kWh.

Tabell 5 og 6 viser at det er en tydelig differanse mellom netto behov og levert energi. Det er fordi det er valgt å bruke varmepumper, som medfører at levert energi til oppvarming er lavere enn varme levert fra varmepumpene.

4 Vurdering av alternativer

4.1 Metodevalg (MCDA/MCDM)

Denne metoden brukes ofte når det tydelig er en vurdering hvor flere motstridende kriterier inngår i beslutningstakingen. Ofte er kostnad et hovedkriterium, mens andre typiske kriterier er ytelse, sikkerhet, brukerfornøydhed og miljøkonsekvenser. Disse vil ofte være i konflikt med kostnader. MCDM legger vekt på å strukturere og løse beslutnings- og planleggingsproblemer som involverer flere kriterier. Ved å klart uttrykke og vurdere de ulike kriteriene vil man kunne ta mer informerte valg. Strukturen for metodevalget blir illustrert i figur 4.

Vanligvis eksisterer det ikke én unik gunstig løsning for slike problemer, og det er nødvendig å bruke beslutningstakerens preferanser for å skille mellom løsninger. "Løsning" kan tolkes på forskjellige måter:

- velge det "beste" alternativet fra et sett av tilgjengelige alternativer (hvor "best" kan tolkes som "det mest foretrukne alternativet" til en beslutningstaker)
- velge et lite sett med gode alternativer, eller gruppere alternativer til forskjellige preferansesett.

En vanlig måte å klassifisere MCDM-problemer og metoder er basert på om løsningene er eksplisitt eller implisitt definert.

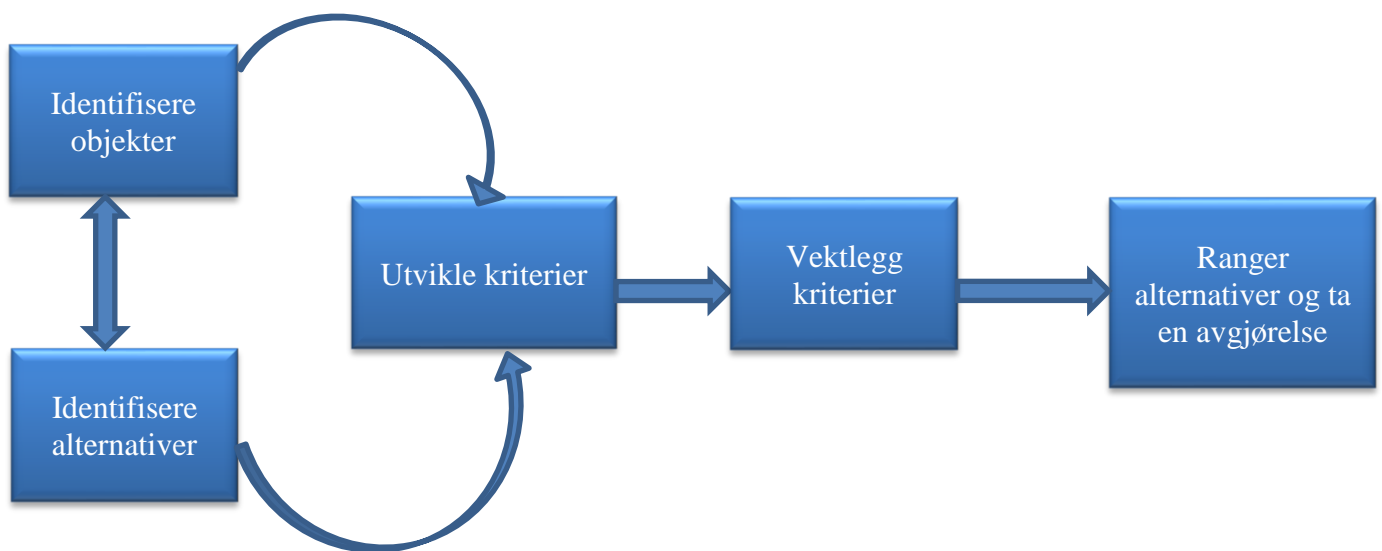
- Multikriterie evalueringsproblem: Disse problemene har et begrenset antall alternativer, som er kjent i begynnelsen av løsningsprosessen. Hvert alternativ er representert ved ytelsen i flere kriterier. Problemet kan defineres som å finne det beste alternativet for en beslutningstaker (DM), eller finne et sett med gode alternativer. Man kan også være interessert i "sortering" eller "klassifisering" av alternativer.

Sortering refererer til å plassere alternativer i et sett med klasser ut fra preferanse, og klassifisering refererer til å tilordne alternativer til ikke-sekvensielt sett (for eksempel å diagnostisere pasienter basert på deres symptomer).

- Multikriterie designproblem (flere objektive matematiske programmeringsproblemer): I disse problemene er alternativene ikke eksplisitt kjent. Et alternativ (løsning) kan bli funnet ved å løse en matematisk modell.

Antall alternativer er enten uendelige og ikke tellbare (når noen variabler er kontinuerlige) eller vanligvis svært store hvis de kan telles (når alle variabler er diskrete).

Valget mellom de ulike typene solcellepaneler er et Multikriterie evalueringsproblem da man har et begrenset antall typer å velge mellom, og hvert alternativ har en gitt kombinasjon av kriteriene som kostnad, virkningsgrad, levetid og utseende. Valg av areal og helningsvinkel vil tilhøre kategorien Multikriterie designproblem, da man har kontinuerlige variabler.



Figur 4: Flytskjema som illustrerer MCDA metoden. (Wang og Tsai, T.C og S.Y, 2018)

4.2 Innledende valg av systemer

Vi bestemte oss for at vi skulle starte med å evaluere de tre tradisjonelle solcellene for Biri omsorgssenter. Basert på MCDA gikk vi frem med å evaluere de forskjellige solcelle teknologiene i en egenskapsmatrise. Kriteriene som er satt viser ulike synsvinkler ved de forskjellige teknologiene som skal vurderes.

Kriteriene er definert slik:

- *Levetid* = Variere ofte mellom 25-40 år. Levetid ble valgt fordi den forteller hvor lenge solcellen vil produsere gitt maks effekt. Strøm produksjonen vil være lineær med levetiden til solcellen.
- *Virkningsgrad* = Virkningsgrad ble valgt fordi den sier noe om hvor mye solinnstråling som omdannes til elektrisk energi.
- *Utseende* = Ulike farger, oppsett av modulene. Innovative løsninger etc.
- *Miljø* = Fremstilling av solcellemodulene.
- *Kostnad* = Investering-, drift- og vedlikeholdskostnader.

Tabell 7: Egenskaps matrise for ulike silisium solceller med utvalgte egenskaps kriterier. (Solceller), (Solcelletyper – det finnes tre forskjellige)

	Monokrystallisk	Polykrystallisk	Tynn film
Levetid	Garantert levetid på +25 år av leverandører. Lever typisk i 30-40 år.	Garantert levetid på +25 år av leverandører. Lever typisk i 30-40 år.	Kortere levetid enn de mer tradisjonelle solcellene, ligger på ca. 25 år.
Virkningsgrad	Er generelt mellom 16-20%.	Ligger generelt mellom 13-16%.	Virkningsgraden ligger på rundt 8-12 %.
Utseende	Svart eller grå overflate, veldig ensartet. Fast ramme og semifleksibel	Er bygget opp av flere store silisiumkrystaller. Dette gir den et blått utseende. Fast ramme og semifleksibel	Det tynne og lett bøyelige designet på solcellen gjør det mulig å implementere i tekstil eller turutstyr.
Kostnad	Dyrest	Rimelige	Veldig rimelige

Miljø	Fremstillingen av silisium krever store mengder energi, dette er skadelig for miljøet.	Fremstillingen av silisium krever store mengder energi, dette er skadelig på miljøet.	Produseres på forskjellige måter. Noen typer kan inneholde helse- og miljøfarlige stoffer.
--------------	--	---	--

Som vist i tabell 7 er det en oversikt over de tre tradisjonelle solcelle teknologiene. Når det gjelder levetid har monokrystallinsk og polykrystallinsk relativ lik. De fleste leverandørene gir livstidsgaranti på 25 år pluss, slik nevnt blant annet av JA Solar i (JA Solar, 2018).

Virkningsgraden for begge typene avtar lineært med årene. Etter 25 år vil elektrisitetsproduksjonen ligge på 80% av full kapasitet. Derav for tynnfilm er levetiden betydelig kortere slik vist i tabell 6. Ved å sammenligne de ulike solcellene med utgangspunkt i levetid vil polykrystallinsk og monokrystallinsk være bedre alternativer siden levetiden er lengre, derav lengre tid med produksjon, mer plass.

Videre viser tabellen at monokrystallinsk har en betydelig bedre virkningsgrad enn polykrystallinsk og tynnfilm. Virkningsgrad ligger innenfor intervallet 0 og 1,0, hvor 1,0, altså 100% er det meste en kan oppnå. Nevnt i kapittel 2.3 ligger virkningsgraden til silisium solceller som oftest mellom 16 og 20%. Årsaken til at denne typen har høyere virkningsgrad enn de andre kan blant annet komme av at cellene ligger tettere sammen i modulen (*Solcelletyper – det finnes tre forskjellige*). Siden monokrystallinsk solcelle har best virkningsgrad er det tydelig at den vil bidra til bedre produksjon.

Solcellene varierer utseendemessig på form og farge. Monokrystallinske moduler har ofte en veldig ensartet overflate, der den vanligste er svart. Derimot så har den polykrystallinske solcellen et mer blåaktig utseende og ikke en ensartet overflate. I tillegg, som nevnt i kapittel 2.6, har solcelle teknologien utviklet seg slik at i dag har man en mulighet å få solcellene i flere forskjellige farger. Dette gjør at man kan tilpasse solcellesystemene fargemessig til bygningene, eller bruke systemene som et estetisk element. Fargevalg vil da kunne gå på bekostning av virkningsgrad.

Neste punkt i tabellen er kostnad. Kostnadene for de ulike solcellene varierer mye ut ifra hvordan de er produsert og hva slags materialer som er brukt. En sammenheng i mange forskjellige solceller er at kostnad øker parallelt med virkningsgrad. Det som skiller

monokrystallinsk og polykrystallinsk er at det kreves mindre energi å fremstille polykrystallinsk, derfor er den noe billigere (*Solceller*). Tynnfilm er den billigste av de tre typene. I sammenheng med den lave virkningsgraden og kostnadene vil denne ikke bli videre vurdert for anlegget.

Det siste punktet i tabellen er miljø. Gjeldende for de nevnte silisiumsolcellene så er produksjonen av disse lite miljøvennlige. Dette er på bakgrunn av all den energi som kreves til fremstillingen av silisiumet. (*Solceller*), (*Solcelletyper – det finnes tre forskjellige*).

En vektning av egenskapene i matrisen er basert på hva kommunen har gitt som preferanser, da først og fremst at solcellesystemet skal være lønnsomt. Siden virkningsgraden, som nevnt i kapittel 2.3, er den viktigste egenskapen til en solcelle, er denne tillagt stor vekt. Videre vil kostander ha stor innvirkning på hvilket av systemene som vil være det beste hensiktsmessige valget med økonomisk begrunnelse for kommunen, og derfor er dette også tillagt stor vekt. Basert på dette og forskjellen i verdier vist i egenskapsmatrisen har vi valgt å vektlegge videre evalueringer på virkningsgrad og kostnader. De resterende punktene blir med i evalueringen som støttepunkter, og vil hjelpe for å gi et bedre overblikk for hva som vil egne seg til omsorgssenteret. De beste systemene basert på denne vektleggingen og verdiene i matrisen vil være monokrystallinske og polykrystallinske solceller som vi har da valgt å gå videre med. De vil egne seg bedre med tanke på størrelsen til bygget og dets energiforbruk. Omsorgssenteret vil være i drift 24 timer i døgnet, 365 dager i året og vil dermed ha et relativt stort energibehov.

Det neste steget av analysen er å sammenstille energibehov og energiproduksjon, og til dette ble dataprogrammet SIMIEN tatt i bruk. Det er et simuleringsprogram for energibruk i bygninger. Bygget man ønsker å undersøke konfigureres inn i dataprogrammet, med alt av fasade, vinduer, dører og gulv, og ikke minst tekniske installasjoner, og energibehovet beregnet etter NS3031. For en bedre forståelse av hva som er byggets energibehov og hvor mye solenergi som kan bidra til dette “forbildeprosjektet”, kjøres ulike simuleringer innad programmet, som for eksempel sommer- og vintersimulering.

For videre prosess velges tre systemer som beskrives på de neste sidene.

- System 1: Polykrystallinske solceller
- System 2: Monokrystallinske solceller
- System 3: Solcelletakstein

System 1

Det første systemet består av polykrystallinske solceller. Referer til (IBC Solar, 2017) for produktbladet til solcellen. Denne solcellen er produsert av IBC SOLAR. Firmaet har lenge vært ledende internasjonalt innenfor sitt felt. Videre viser produktbladet at under standard testforhold har det blitt oppnådd 270 Wp (maks peak effekt). Virkningsgraden som er oppnådd under standard testforhold er oppgitt til å være 16.6%. Denne verdien brukes i de videre analysene. Solcellen har en vekt på 19,5 kg og har en lastekapasitet på 5400 kPa. Til slutt nevnes den nominelle operasjons celle temperaturen til å være på 46 grader. Som er temperaturen solcellen får når den er i drift.

System 2

Videre for system 2 tok vi for oss en tradisjonell monokrystallinsk solcelle. Henviser til (JA Solar, 2018) for solcellens produktblad. Denne solcellen er produsert av JA Solar. Solcellen består av høy effektive første klasses celler. Produktbladet oppgir 310 Wp(maks peak effekt) oppnådd under standard testforhold, og at virkningsgrader er 19%. I tillegg har denne solcellen en vekt på 18,2 kg og har en lastekapasitet på 5400 kPa. Den nominelle operasjons celle temperaturen er på 45 grader. Denne solcellen kan operere i forhold der temperaturen ligger mellom minus 45 og pluss 85 grader.

System 3

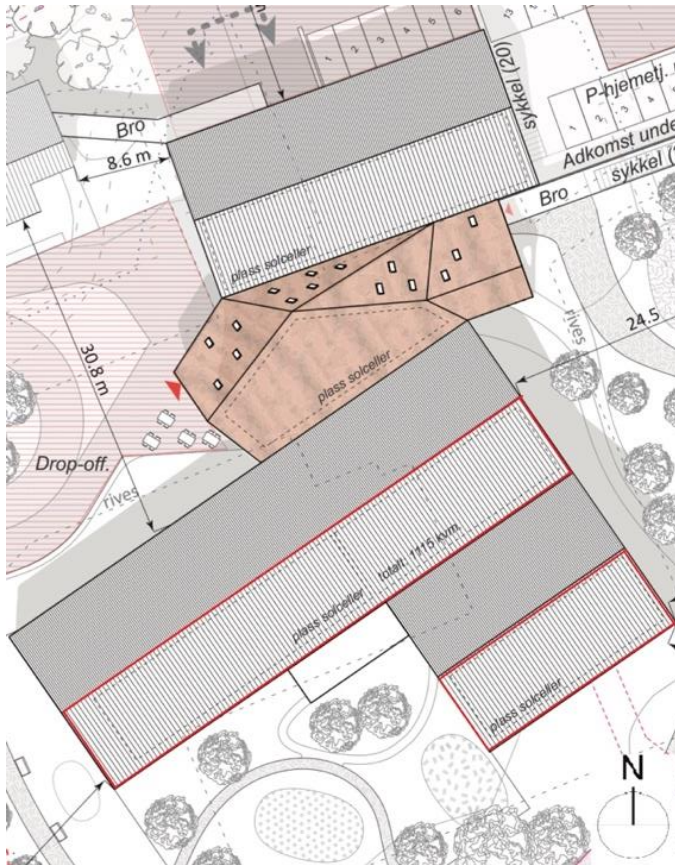
Til slutt valgte vi som system 3 en mer innovativ monokrystallisk solcelle; solcelletakstein. Produktbladet fra Otovo til solcellen ligger vedlagt i vedlegg 21. Denne type solcelle er produsert av Sunstyle. Slik nevnt i kapittel 1.7 vil solcelletakstein kunne erstatte den tradisjonelle taksteinen eller takoverflate, og man får utnyttet hele taket i motsetning til tradisjonelle solceller.

Det er mulig å få taksteinen i tre ulike utforminger, blank svart, skifergrå og terracottarød. Siden et tak med solcelletakstein består av ulike deler basert på hvor på taket det gjelder, vil verdier for virkningsgrad variere også under standard testforhold. Virkningsgraden ligger dermed rundt en prosent under tradisjonelle monokrystallinske solceller. Dette kommer også fram i produktdokumentasjonen hvor det står oppgitt forskjellige verdier for de ulike solcelletakstein flatene. Det er videre oppgitt at taksteinen veier 19,5 kg per kvadratmeter. Systemet har, som de andre modulene, en lastekapasitet på 5400 kPa. Også denne solcellen opererer best mellom en temperatur på minus 40 og pluss 85 grader.

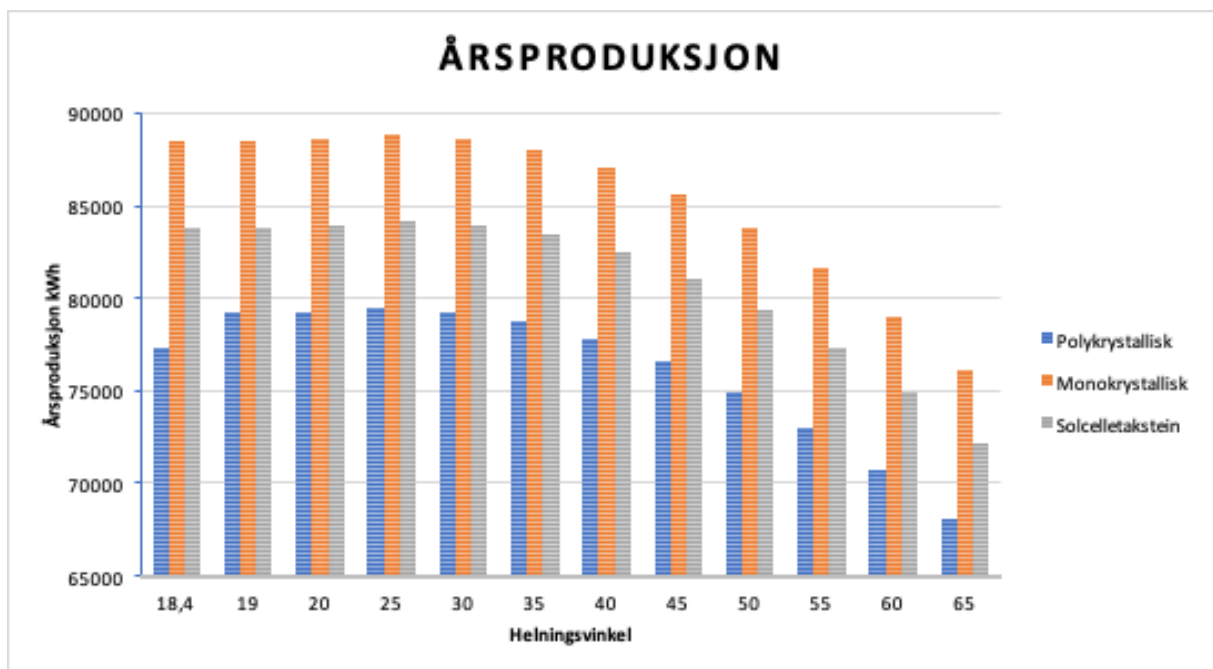
4.3 Optimalisering av alternativer

Alle systemene med de ulike solcellene ble deretter analysert ved bruk av SIMIEN. Solcellene som ble lagt inn er beskrevet i kapittel 4.2. Vi valgte å bruke referanseverdiene som ligger i programmet for tap i henholdsvis panel og vekselretter. Det totale takarealet til bygget ble ikke vurdert for installasjon av solceller. Ifølge sol/skygge diagram i vedlegg 2, vil det nordligste taket være utsatt for skygge deler av året. Dette vil redusere en eventuell produksjon kraftig. Hovedfløyen har kobber som tak, denne overflaten egner seg dårlig for solcelle produksjon fordi temperaturen fra taket vil minske produksjonen til modulene. På hensyn av dette velger vi et areal på 650 kvadratmeter. Dette tilsvarer de to takflatene markert med rødt i Figur 5 under. Siden vi ville å oppnå maks av mulig produksjon av strøm til eget bruk ble det valgt å ikke variere dette arealet.

Det første trinnet i optimaliseringen var å finne best helningsvinkel, og denne ble variert fra 18,4 til 65 grader for å se hvordan vinkelen påvirket elektrisitetsproduksjonen. Variasjonene som ble gjort for helningsvinkel blir illustrert i figur 6.



Figur 5: Aktuelle takflatene (markert i rødt).



Figur 6: Årsproduksjon for de ulike solcellene med økende helningsvinkler.

Helningsvinkel	Polykrystallisk	Monokrystallisk	Solcelletakstein
18,4	77276	88439	82784
19	79182	88497	83839
20	79259	88583	83922
25	79441	88787	84114
30	79279	88606	83941
35	78755	88021	83388
40	77843	87002	82423
45	76579	85589	81083
50	74966	83786	79376
55	73011	81602	77302
60	70732	79053	74893
65	68136	76153	72145

Tabell 8: Produksjon for de ulike solcelle typene med økende helningsvinkel.

Diagrammet i figur 6 viser årsproduksjon for de ulike solcellene med forskjellige helningsvinkler. Figuren viser at fra 18,4 til 30 grader er det liten endring i årsproduksjonen, unntatt for polykrystallinske celler. Ved en videre økning av helningsvinkel fra 30 grader og oppover til 65 er det tydelig at produksjonen avtar. Dette konkluderer med at helningsvinkelen bør være mellom 20 og 30 grader, og at innenfor dette intervallet gir variasjon i vinkelen lite endring i produksjon.

Dette kommer også fram i tabell 8 som viser mer detaljert verdiene for årlig produksjon for de ulike solcellene med økende helningsvinkel. Her ser man at 25 graders helningsvinkel er den beste vinkelen for alle tre solcellene, men at det er lite som skiller årsproduksjonen for de ulike solcellene ved 20, 25 og 30 grader. Dermed ser vi at for det ene taket som har vinkel 27 grader kan bruke dette som helningsvinkel for solcellene uten å miste mye produksjon, men det andre taket vil få helningsvinkel oppjustert til 25 grader fra 18,4.

4.3.1 Vurdering av forholdet mellom energiproduksjon og behov

Det første systemet som ble evaluert i SIMIEN var med polykrystallinsk solcelle. Den utvalgte polykrystallinske solcellen har en virkningsgrad på 16,6 prosent.

Verdien for tapsfaktor i panelet som blir benyttet lå inne i programmet, denne var på 0,89.

Slik som vist i figur 6 benyttet vi oss av 25 og 27 grader som helningsvinkler.

Bygningens totale behov for energi vil i utgangspunktet være relativt upåvirket av valg av solcellesystem, men elektrisitetsproduksjonen, og dermed behovet for kjøpt energi, vil variere for de tre systemene. Tabell 9 viser en oversikt over levert energi til bygningen hvis det installeres 650 kvadratmeter med den polykrystallinske solcellen. Anlegget vil gi en årlig produksjon på 80065 kWh som kan benyttes til eget bruk, i tillegg kommer en årlig produksjon på 707 kWh, dvs. mindre enn 1%, som kan selges på nettet. Solcellene bidrar da med å erstatte levert energi fra dagens elektrisitmiks med 80772 kWh årlig. Behovet for å selge strøm på nettet skyldes manglende samtidighet i behov og produksjon. Totalt dekker solcellesystemet under 20% av bygningens behov for elektrisitet.

Tabell 9: Levert energi til bygningen (beregnet) for 650 kvadratmeter med polykrystallinske solceller.

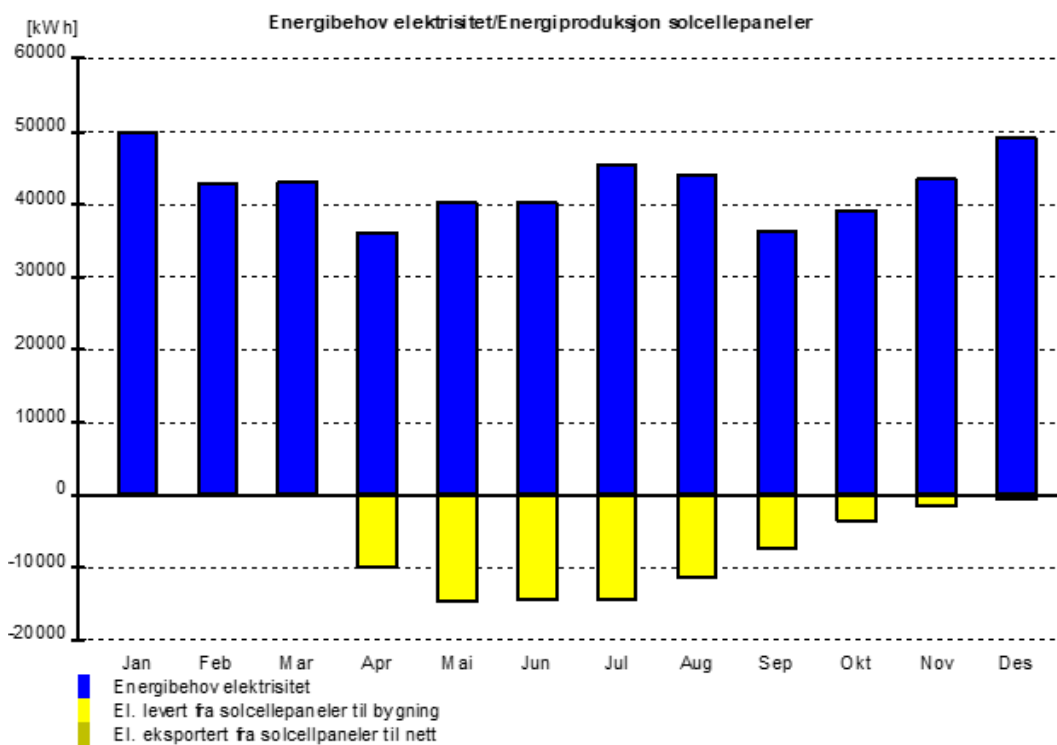
Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	439948 kWh	100,0 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	70148 kWh	15,9 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-80065 kWh	-18,2 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	430031 kWh	97,7 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-707 kWh	-0,2 kWh/m ²
Netto levert energi	429324 kWh	97,6 kWh/m ²

Tabell 10 viser den årlige variasjonen i energiproduksjonen ved system 1 for de to takflatene som ble valgt, henholdsvis «Produsert Poly tak 1 og 2». Produksjonen vil være fra april til desember, mens “eksportert til nett”, dvs. overskudd i produksjonen, er i perioden april - september. Søylediagrammet i figur 7 illustrerer også forholdet mellom elektrisitetsbehov og levert el. fra solcellepanelene. De blå søylene illustrerer elektrisitetsbehovet gjennom året, og dette varierer noe for de ulike månedene. Det store behovet i juli skyldes behovet for aircondition/kjøling på grunn av høy temperatur ute, og det høye energibehovet for vintermånedene skyldes at bygningen varmes opp med en elektrisk drevet varmepumpe og

økt varmebehov ved lave utetemperaturer. De gule søylene illustrerer levert solenergi til bygning. Ettersom vi i beregningene satte at panelene vil være snødekt fra januar til mars blir det ikke registrert noe produksjon fra anlegget i disse månedene. Mengden solstrøm levert til nett er så liten at den nesten ikke er synlig i diagrammet.

Tabell 10: *Energiproduksjonen i ulike måneder for solcelleanlegget med polykrystalliske solceller.*

Energiproduksjon solceller [kWh]													
Panel	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Totalt
Produsert Poly tak 2	0	0	0	3037	4545	4445	4435	3476	2338	1137	559	262	24234
Produsert Poly tak 1	0	0	0	7078	10624	10420	10400	8121	5417	2616	1270	592	56538
Sum produsert	0	0	0	10115	15169	14865	14835	11597	7755	3753	1829	853	80772
Leverert til bygning	0	0	0	10047	14969	14598	14695	11584	7737	3753	1829	853	80065
Eksportert til nett	0	0	0	68	200	268	140	13	18	0	0	0	707



Figur 7: *Søylediagrammet viser en oversikt over energibehovet og levert el. fra solcellepanelene til omsorgssenteret, over 12 måneder.*

Ved å kombinere energibehov, mengden produsert elektrisitet og CO₂-faktoren for elektrisitet fra nettet kan man få en oversikt over det årlige utslippet av CO₂ knyttet til bygget. Ved å ta utgangspunkt i verdier brukt av SWECO, 130 kg CO₂/kWh, får man et utslipp på 66312 kg CO₂. Som vist i tabell 11 vil det installerte solcelleanlegget redusere utslippet med 10500 kg CO₂, der 92 kg CO₂ er knyttet til eksport. Bygningens netto CO₂-utslipp blir da 55812 kg årlig

Tabell 11: Det årlige utslippet av CO2 for omsorgssenteret ved system 1

Energivare	Årlige utslipp av CO2	
	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	57193 kg	13,0 kg/m ²
1b El. til varmepumpesystem	9119 kg	2,1 kg/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kg	0,0 kg/m ²
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m ²
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m ²
4 Fjernvarme	0 kg	0,0 kg/m ²
5 Biobrensel	0 kg	0,0 kg/m ²
6. Annen energikilde	0 kg	0,0 kg/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-10408 kg	-2,4 kg/m ²
Totalt utslipp, sum 1-7	55904 kg	12,7 kg/m ²
Solstrøm til eksport	-92 kg	-0,0 kg/m ²
Netto CO2-utslipp	55812 kg	12,7 kg/m ²

4.3.2 System 2 & 3

Tilsvarende beregninger ble gjort for system 2 og 3, og resultatene er vist i tabell 12 som en sammenstilling av levert og produsert energi til bygningen for de ulike systemene. Som også vist i tabell 7 vil system 2 ha størst produksjon, mye av produksjonen kan nyttiggjøres i bygningen, og mengden solstrøm til eksport vil fortsatt være svært lav.

Tabell 12: Levert energi for ulike solcellesystemer, kWh

	System 1	System 2	System 3
Direkte el	439948	439948	439948
El til varmepumpe	70148	70148	70148
Solstrøm til egenbruk	-80065	-88267	-84227
Totalt levert energi	430031	421829	425869
Solstrøm til eksport	-707	-2007	-997
Netto levert energi	429324	419822	424892

Tabell 13 og 14 viser tilsvarende som tabell 12 energiproduksjonen i ulike måneder for solcelleanlegget. På grunn av valgt snø dekning vil produksjonen fortsatt være fra april til desember, men disse anleggene har mer produksjon, og også noe levert energi til nett i oktober.

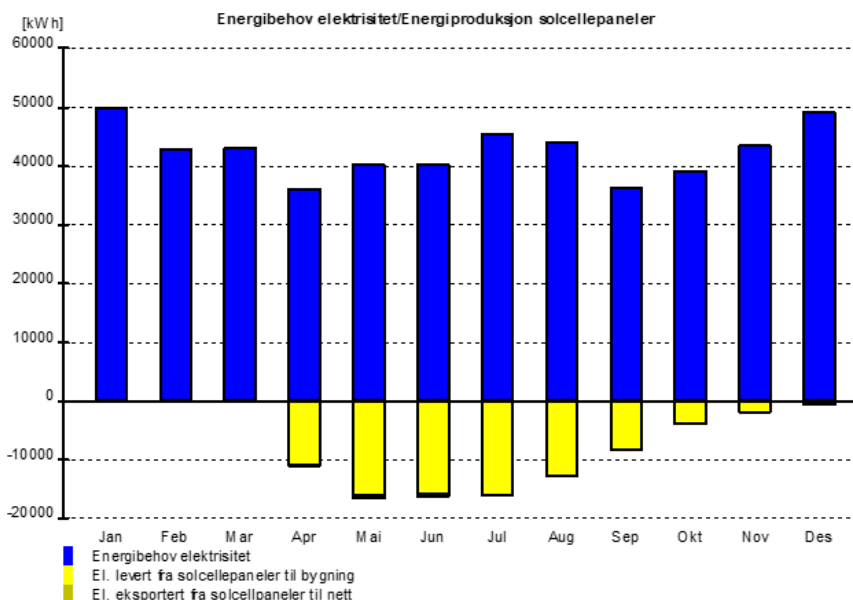
Tabell 13: Oversikt over energiproduksjonen fra monokrystalliske solcellene.

Energiproduksjon solceller [kWh]													
Panel	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Totalt
Produsert Mono tak 2	0	0	0	3394	5080	4968	4956	3885	2613	1271	625	293	27085
Produsert Mono tak 1	0	0	0	7911	11873	11646	11623	9077	6055	2924	1419	661	63189
Sum produsert	0	0	0	11305	16953	16614	16580	12961	8667	4195	2044	954	90274
Levert til bygning	0	0	0	11053	16408	15938	16232	12903	8545	4191	2044	954	88267
Eksportert til nett	0	0	0	253	545	676	348	58	123	4	0	0	2007

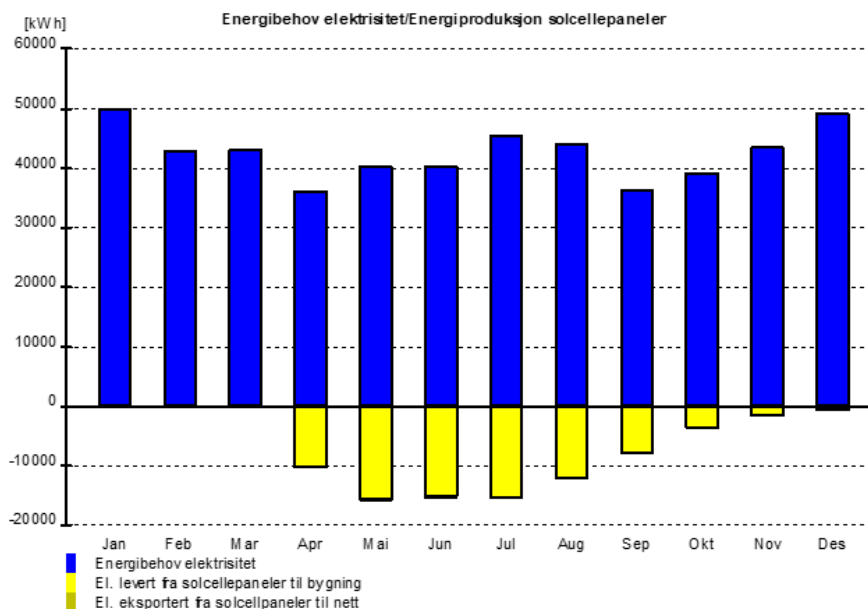
Tabell 14: Oversikt over energiproduksjonen fra solcelletakstein.

Energiproduksjon solceller [kWh]													
Panel	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Totalt
Produsert Solcelletakstein 2	0	0	0	3216	4813	4707	4696	3680	2475	1204	592	277	25659
Produsert Solcelletakstein 1	0	0	0	7428	11258	11150	11148	8596	5571	2624	1214	556	59545
Sum produsert	0	0	0	10643	16070	15857	15844	12277	8046	3829	1806	833	85204
Levert til bygning	0	0	0	10555	15797	15474	15650	12258	8025	3829	1806	833	84227
Eksportert til nett	0	0	0	88	273	383	194	18	21	0	0	0	977

Videre er det for disse to systemene utarbeidet søylediagram som vist i figur 7, de illustrerer også forholdet mellom elektrisitetsbehov og levert el. fra solcellepanelene, figur 8 og 9. Siden beregningene gjøres på de samme flatene, men med systemer med noe høyere virkningsgrad, ser man samme mønster for produksjon, men noe høyere verdier.



Figur 8: Søylediagrammet viser en oversikt over energibehovet og levert el. fra monokrystalliske solcellepanelene.



Figur 9: Søylediagrammet viser en oversikt over energibehovet og levert el fra solcelletaksteinene til bygningen, over en periode på 12 måneder.

4.4 Evaluering

Etter beregningene som har blitt gjennomført i kapittel 4.3, ble det utformet en evalueringsskjema. Vi valgte å presentere de ulike systemene i en slik matrise for å lettere organisere dataene. Målet med matrisen var å gi et mer helhetlig inntrykk om hvilket system som ville egne seg best basert på de ulike kriteriene. Bakgrunnen for arealet og de andre verdiene som ble satt blir nevnt i kapittel 3.3 og 4.3. Refererer også tilbake til kapittel 2 hvor det blir nevnt hvor avhengig areal og helningsvinkel er av hverandre knyttet til produksjon.

Produksjonen for hvert av de ulike systemene skal knyttes opp til den økonomiske lønnsomheten ved det utvalgte systemet.

Tabell 15: *Evalueringsmatrisen for de ulike systemene med gitte variabler.*

Systemer	System 1 - Polykrystallisk	System 2 - Monokrystallisk	System 3 – Solcelletakstein
Virkningsgrad	16,6	19,0	18,0
Tapsfaktor	0,89	0,89	0,89
Areal	650	650	650
Helningsvinkel	25 og 27 grader	25 og 27 grader	18,4 og 27 grader
Produksjon	80772 kWh	90274 kWh	85224 kWh
Pris (inkludert installasjon)	1 625 000 kr	1 950 000 kr	2 250 000 kr
Redusert utslipp(CO2)	10 500 kg	11 736 kg	11 076 kg

Tabell 15 er evalueringsmatrisen som viser oversikt over de ulike utvalgte solcellene. I tillegg til de ulike variablene som det lagt til grunn for analysene som ble gjennomført i kapittel 4.3. I tabellen ble det lagt inn like verdier for areal og tapsfaktor, men solcelle modulene har ulik virkningsgrad. Prisene for de ulike systemene har tatt utgangspunkt i priser gitt fra Eidsiva over telefon i tillegg til en pris antydning det ble gitt for solcelletaksteinen fra Otovo over e-post.

4.5 Økonomi

Kommunen har et krav om at systemene som installeres skal være lønnsomme. For å undersøke dette, og hvilket system som er best økonomisk, er det valgt å bruke en nåverdimetode. Nåverdimetoden er en metode for å beregne lønnsomheten av en investering basert på nåverdien av fremtidige diskonterte kontantstrømmer. Med en positiv nåverdi vil investeringen være lønnsom, mens en negativ nåverdi innebærer at investeringen vil være

ulønnsom. I vårt tilfelle legger vi til grunn at investeringskostnaden skal bli nedbetalt ved de årlige besparelsene i energikostnader solcellesystemet vil bidra til. Nåverdi beregnes som:

$$\text{Nåverdi} = \text{Sum av framtidige inntekter evt. reduserte utgifter} - \text{Investeringskostnad} \quad (3)$$

Som det framgår av formelen inngår investeringskostnadene, de årlige besparelsene og en kalkulasjonsrente. For å finne investeringskostnadene gikk vi ut fra kvadratmeterpris for de ulike systemene. Disse ble hentet fra kontaktpersoner i Eidsiva og Otovo, og var henholdsvis 2500 kr/kvm for polykrystallinske solceller, 3000 kr/kvm for monokrystallinske og 3500 kr/kvm for solcelletakstein. I videre utregninger forutsettes at denne kostnaden er den totale kostnaden, dvs. at installasjonskostnad og transport inngår i prisen. I og med at den garanterte levetiden er 30 år for alle systemene settes dette som levetid og dermed den lengste nedbetalingstiden som kan aksepteres. Årlige kostnader som vedlikeholdskostnader tas ikke med i den økonomiske analysen.

Analysen vil ha to hovedvariable, strømpris og kalkulasjonsrente. Kalkulasjonsrenten kan være en realrente, dvs. nominell rente korrigert for inflasjon eller en diskonteringsrente som i større grad gir uttrykk for avkastningskrav og usikkerheter knyttet til framtidige kontantstrømmer. I våre utregninger har vi valgt å gjøre en enkel sensitivitetsanalyse ved å variere kalkulasjonsrenten. Verdiene som er brukt er 0 %, 2 % og 4 %.

Den årlige «inntekten» er besparelsen knyttet til kostnaden for kjøp av elektrisitet til bygget. Siden mengden elektrisitet levert til nettet er svært lav er det ikke tatt hensyn til inntekter knyttet til salg av strøm. Verdien av elektrisitetsbesparelsen vil avhenge av strømprisene, og framtidige endringer vil ha stor betydning for nedbetalingen av investeringskostnaden.

Utgangspunktet for de første beregningene er at endringer i strømprisen vil følge den generelle inflasjonen, og beregningene kan derfor gjennomføres med konstante strømpriser. Det gjøres en sensitivitetsanalyse ved å bruke tre forskjellige strømpriser, 0,90 kr/kWh, 1,10 kr/kWh og 1,30 kr/kWh. Dette valget er begrunnet i at strømprisen de siste årene har hatt en gjennomsnittspris på rundt ca. 0,90 kr/kWh. Videre har man i perioder hatt høyere strømpriser, og Olje og energidepartementet antar at strømprisene øker med 4 % hvert år, dvs mer enn inflasjonen (*Lønnsomhet og tilbakebetalingstid for solceller, 2017*). For antagelsene om energipris bør man vurdere hvordan årlige variasjoner påvirker besparelsene, da Biri omsorgssenter hovedsakelig vil ha egenproduksjon i sommerhalvåret når strømprisene

vanligvis er lavere enn vinterstid. Mer bruk av solenergi nasjonalt kan bidra til at denne variasjonen blir tydeligere.

Elektrisitetsproduksjon og investeringskostnader for systemene er vist i tabell 16. Disse er brukt ved beregning av nåverdi for de ni alternativene for kombinasjoner av energipris og kalkulasjonsrente ved alle tre systemene.

Tabell 16: *Elektrisitetsproduksjon og investeringskostnader*

Systemer	System 1 - Polykrystallisk	System 2 - Monokrystallisk	System 3 – Solcelletakstein
Produksjon	80772 kWh	90274 kWh	85224 kWh
Solstrøm til egenbruk	80065 kWh	88267 kWh	84227 kWh
Pris (inkludert installasjon)	1 625 000 kr	1 950 000 kr	2 250 000 kr

Beregnet nåverdi, som kNOK, er vist i tabell 17, 18 og 19. Grønne felt angir positiv nåverdi (lønnsomt), mens røde felt angir negativ nåverdi. Tabellene viser tydelig at økt kalkulasjonsrente gir lavere nåverdi (lavere verdi for framtidige inntekter), og at nåverdien øker med økt energipris, dvs. ved høyere verdi av framtidige inntekter. Ved bruk av kalkulasjonsrente 0% er alle systemene lønnsomme uavhengig av energipris, mens kalkulasjonsrente 4% gir negativ nåverdi ved lav energipris for alle systemene. Tabell 19 viser at lønnsomheten for solcelletakstein er langt mer avhengig av lav kalkulasjonsrente og høy energipris enn de andre systemene.

Tabell 17: Nåverdi for system 1 ved ulike kombinasjoner av kalkulasjonsrente og strømpris

NV POLY	0,00	0,02	0,04
0,9	555,8	3,1	-368
1,1	1040	365	-88,6
1,3	1525	726,7	190,7

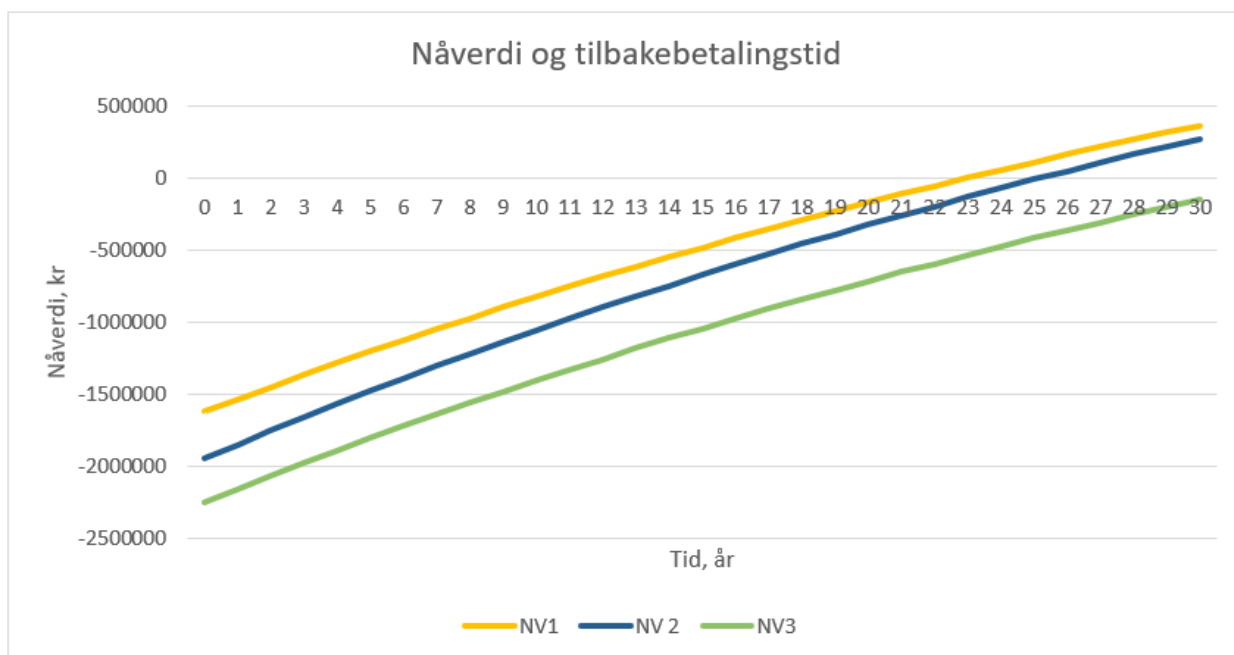
Tabell 18: Nåverdi for system 2 ved ulike kombinasjoner av kalkulasjonsrente og strømpris

NV MONO	0	0,02	0,04
0,9	487,4	-130,36	-545,1
1,1	1030	274	232,1
1,3	1570	678,4	79,3

Tabell 19: Nåverdi for system 3 ved ulike kombinasjoner av kalkulasjonsrente og strømpris

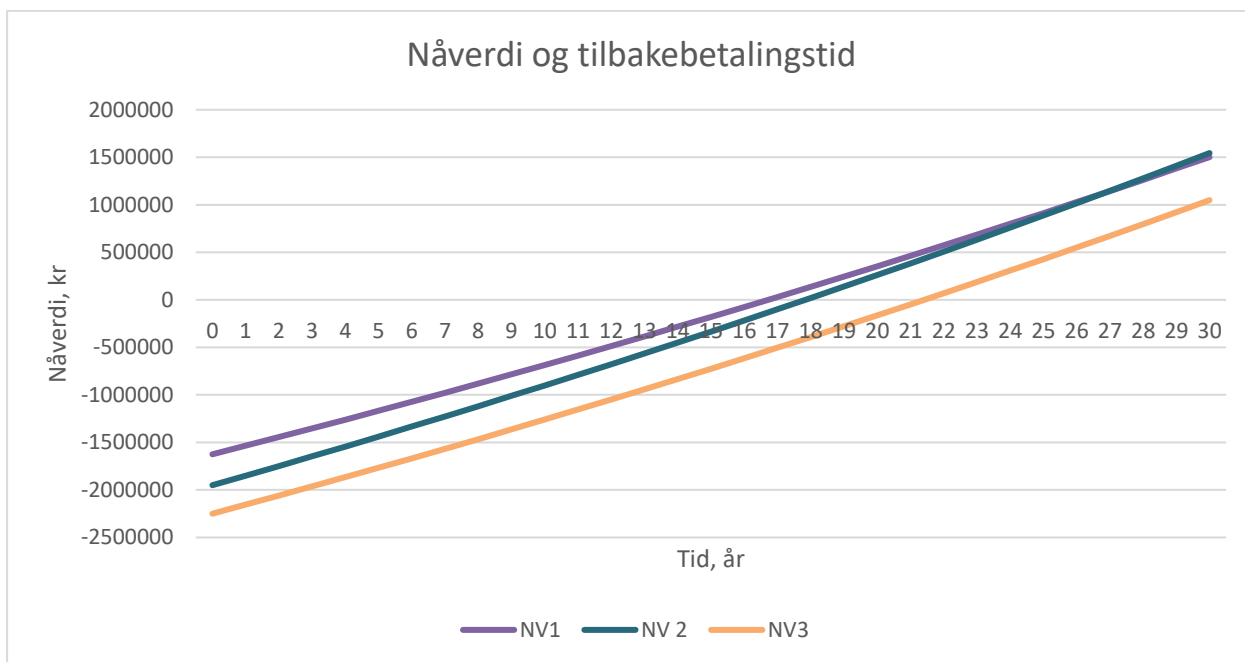
NV TAKSTEIN	0	0,02	0,04
0,9	51	-532	-923,6
1,1	562,4	-150,4	-629
1,3	1073,7	231,3	-334,2

Tilbakebetalingstiden for de tre systemene med energipris 1,1 kr/kWh og kalkulasjonsrente 2% er vist i figur 10. Som figuren viser er system 1 og system 2 tilbakebetalt etter henholdsvis 23 og 25 år, mens system 3 ikke er lønnsomt under disse forutsetningene.



Figur 10: Viser tilbakebetalingstiden for alle tre solcellesystemene.

Derfor man legger til grunn at strømprisen øker utover inflasjonen, vil systemenes lønnsomhet øke. Historisk har energiprisene økt med 5 % per år, og analyser gjort av Statnett og Olje og Energidepartementet har kommet fram til en økning i energipriser på 4 % årlig (*Lønnsomhet og tilbakebetalingstid for solceller, 2017*). Ved å ta utgangspunkt i fjorårets gjennomsnittspris på strøm, om lag 1,1 kr/kWh, en årlig inflasjon på 2,5 % og en årlig økning i strømpris på ytterligere 2%, får vi med en kalkulasjonsrente på 1% beregnet nåverdi og nedbetalingstid som vist i figur 11. Siden verdien av framtidige inntekter er blitt langt høyere enn tidligere beregninger, er nedbetalingstiden til de ulike systemene nå ca. 17, 18 og 22 år.



Figur 11: Viser tilbakebetalingstiden for alle tre solcellesystemene, med økning i strømpris.

Etter resultatene fra nåverdiberegningene ser vi på System 2 som den beste løsningen for omsorgssenteret. Med høyest årsproduksjon og nåverdi gir den et bedre utgangspunkt enn de to andre systemene.

For å få en oversikt over mulig produksjon i vinterstid ble det også for System 2, monokrystallinske solceller, gjennomført en beregning av behovet for levert energi uten snødekke. Energiproduksjonen fra dette systemet er vist i tabell 20.

Tabell 20: Energiproduksjonen for system 2, uten noe snødekke.

Panel	Energiproduksjon solceller [kWh]												Totalt
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	
Produsert Mono tak 2	396	1037	2459	3394	5080	4968	4956	3885	2613	1271	625	293	30976
Produsert Mono tak 1	903	2380	5679	7911	11873	11646	11623	9077	6055	2924	1419	661	72152
Sum produsert	1299	3416	8138	11305	16953	16614	16580	12961	8667	4195	2044	954	103128
Leverert til bygning	1299	3416	8081	11053	16408	15938	16232	12903	8545	4191	2044	954	101063
Eksportert til nett	0	0	57	253	545	676	348	58	123	4	0	0	2064

Fra tabellen ser vi at produksjonen i perioden Januar-Mars er 12 853 kWh, som utgjør 12,5 % av systemets mulige totalproduksjon. Det innebærer at hvorvidt taket er dekket med snø har betydning for systemets lønnsomhet.

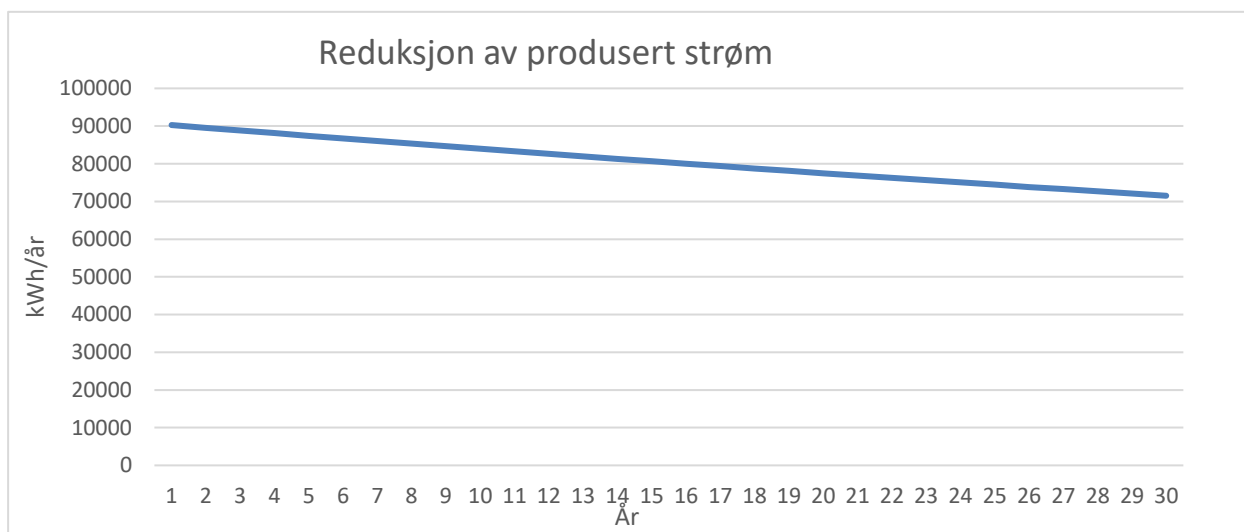
4.6 Kostnader for kraftproduksjon

LCOE (Levelized Cost of Efficiency) finnes ved en økonomisk betraktning der modellen bygger på at man beregner produksjonskostnad per kWh. Det gjøres ved å ta verdien av energiproduksjonen over hele levetiden. Med dette er det lettere å sammenligne prisen med allerede eksisterende system. LCOE kan også betraktes som den laveste prisen strømmen kan selges for å følge med kostnadene i løpet av levetiden.

$$LCOE = \frac{\text{Livssyklus-kostnader (kr)}}{\text{Livssyklus-produksjon (kWh)}} \quad (2)$$

Kostnadene (komponenter og installasjon) er usikre, pga. at antall leverandører i Norge er få og har et begrenset ønske om å dele prisdata. Så beregningene for livssyklus-kostnader gikk hovedsakelig i investeringskostnad. Investeringskostnaden er tidligere regnet ut å være 1 950 000 kr for det monokrystallinske systemet. Noe av det beste med solceller er unntaket for bruk av drivstoff eller bevegelige deler, som gjør at vedlikeholdskostnadene kan settes nærmere null. Dette blir da en total kostnad på 1 950 000 kr.

Livssyklus-produksjonen tilsvarer den totale produksjonen til systemet under levetiden. I tidligere kostnads beregninger er det ikke tatt hensyn til redusert effekt gjennom levetiden. Men for å beregne en mer presis kostand for produksjon blir dette tatt hensyn til. Garantien for den monokrystallinske solcellen sier at solcellene skal produsere minst 80% av oppgitt effekt etter 25 år (JA Solar, 2018). Ved våre beregninger går vi ut ifra en reduksjon av produksjon på 0,8 % hvert år. Som nevnt blir produksjon med monokrystallinske solceller 90 274 kWh etter første året.



Figur 12: Viser reduksjonen av produsert strøm for system 2.

Illustrert i figur 12, viser denne at etter 30 år med produksjon og en nedgang på 0,8 % reduksjon av ytelse, vil solcellene produsere 71 515 kWh/år. Hvis man ser tilbake på garantien for produktet skal dette ikke være mer enn 20 % nedgang i produksjon etter 25 år. Ved våre beregninger ligger vi på 74 446 kWh/år etter det 25 året, som tilsvarer en bevart effekt på 82,5 %. Forventet livssyklus-produksjon blir da summen av disse årsproduksjonene som tilsvarer 2 416 296 kWh. Setter da inn i formel;

$$\frac{1\,950\,000 \text{ (kr)}}{2\,416\,296 \text{ (kWh)}} = 0,81 \text{ kr/kWh} \quad (3)$$

En teknologianalyse gjort av NVE i 2018, (Buvik, M., Hole, J., Horne, H., 2019), angående kostnader for kraftproduksjon i Norge, har beregnet en LCOE for solcelleanlegg til å ligge på 0,83 i 2018. Med store reduksjoner fra tidligere år, og en stor forventet nedgang de neste tiårene. Dette skyldes daglige framskritt innenfor solcelle teknologi som senker produksjonspriser.

5 Diskusjon

På bakgrunn av at kommunen ønsker dette skal bli et pilot- og forbildeprosjekt har vi reflektert over hvilken innvirkning dette vil ha på samfunnet. Erfaringen fra byggeprosessen og driftsprosessen vil være nyttig for fremtidige prosjekter. De vil kunne ta stor nytte av Biri som et pilotprosjekt på grunn av all lærdommen den vil gi igjennom prosessen.

Det andre er, at et slikt prosjekt vil inspirere til fremgang mot det “grønne skiftet”. Lønnsomheten vil kunne vise mulighetene i dagens marked og hvordan investeringen i en grønnere fremtid kan være lønnsomt i større skala. Men også hvordan det følger med risiko ved en investering i et slikt fornybart system, der svingninger i været vil påvirke lønnsomheten.

Det som i dag bygges på Biri er et tydelig resultat av kommunens klima og miljøplaner, der kommunen prioriterer og ønsker en fremgang mot det “grønne skiftet”. Det er også et steg kommunen tar for å nå den målrettede innsparingen knyttet til økningen i strømprisene.

5.1 Energibehov og klimaforutsetninger

I og med at været har naturlige svingninger, kan det resultere i perioder med lite sol. Dette resulterer i et avvik mellom faktisk energiproduksjon og energibehov, på grunn av at våre simuleringer er beregnet med utgangspunkt i et standardisert klima. I tillegg vil bruksmønster som inneklime kunne avvike fra det som er lagt inn i beregningene. Andre komponenter som kan ha påvirket simuleringene kan være antagelser som er gjort av oss. Beregningene er gjort ut ifra standardiserte verdier, som avviker fra de faktiske.

Simuleringene viser at behovet for omsorgssenteret er større enn solcelleproduksjonen, så et avvik i selve behovet vil ikke ha stor innflytelse på resultatet. Derimot er det ikke tatt hensyn til energilagring i beregningene våre. Det er muligheter for korttidslagring av energi, hvor energien kan bli brukt til å varme temperaturen på varmtvann. Dette vil ha en positiv innvirkning på resultatet, der vi bruker mer av produksjonen og eksporterer eventuelt mindre.

Knyttet til produksjonen fra solcellene og energibehovet benyttet vi oss av Lillehammer som lokasjon i stedet for Biri. Dette kan gi et avvik i strømproduksjonen fra solcellepanelene knyttet til den egentlige produksjonen. Men, forskjellen på breddegradene til Lillehammer og Biri er ganske små, og betydningene av dette vil være mindre enn tidligere avvik som er nevnt.

Alle de nevnte faktorene og feilkildene vil gi en svekket validitet til simuleringene, på grunn av at vi ikke får ut det reelle energibehovet til bygget og produksjonen fra solcellene.

Beslutningene som trekkes i kapittel 4.5 om økonomi vil dermed avvike fra hva det realistisk ville ha vært.

5.2 Etiske og miljømessige utfordringer

Etiske og miljømessige utfordringer knyttet til dette prosjektet, baserer seg hovedsakelig på bruken av solceller og produksjonen av dem. Relatert til produksjonen av solcellene blir det benyttet mye kjemikalier, dette har en negativ påkjenning på miljøet. Som nevnt i (*Myte 5: Produksjonen av solceller belaster miljøet mer enn det sparer miljøet*, 2018), er det på grunn av kjemikaliene som benyttes at kreves det også store mengder vann i produksjonsprosessen. Ved dårlige produksjonsforhold er det uforsvarlig både for arbeiderne og miljøet. Flere land i verdikjeden som Russland og Kina, som er størst i verden på utvinning av silisium (*Hvilket land produserer mest silisium?* 2019), er kjent for å ikke alltid legge til rette for gode arbeidsforhold.

Derimot produserer solcellen ren energi når den er i drift. Den produserer energien det kreves i produksjonsprosessen innen to år, ifølge (Fthenakis, V., Kim, H. C., Frischknecht, R., 2011). Miljøgevinsten med solceller blir dermed stor på grunn av at levetiden er generelt mellom 25-30 år. Når man ikke tar hensyn til klimaeffekten fra produksjon og transport av solcellesystemene blir tiltaket et godt bidrag til en reduksjon i klimagassutslippene. Selv om vi ikke har funnet konkrete tall for utslipp antas at disse er antas langt lavere en besparelsene knyttet til levetiden.

Videre knyttet til miljø, viser analysene for de ulike systemene at solcellene bidrar til å redusere det totale utslippet for bygget. Oversikten over CO₂-utslippene for bygget kommer fra CO₂-faktoren oppgitt av Sweco som videre ble benyttet i SIMIEN. Vi har tatt

utgangspunkt i utslipps faktor som er oppgitt i ZEB rapporten fra 2016 (link). Det er stor diskusjon hvilke verdier man bør legge til grunn for reduksjon av CO₂, vi ser at valg av faktor har stor betydning for resultatet.

5.3 Solcellesystemene

Valgte vi å avgrense fokusområdet til de tradisjonelle silisium solcellene, på bakgrunn av deres tilgjengelighet i Norge. Disse tre tradisjonelle solcellene ble presentert i en egenskapsmatrise. Valgene som ble gjort relatert til egenskapsmatrisen ble gjort på bakgrunn av teknologien til solcellene, i tillegg til drift og kostnad. I kapittel 2.3 blir det gjort til rede for hvorfor virkningsgrad var et viktig kriterium.

Relatert til kriteriet om utseende vil en etablering av solceller i bygningsmassen gi en endring av byggets uttrykk. Det er store uenigheter knyttet til om dette er estetisk positivt. Hensyn som man bør ta med knyttet til denne uenigheten er, gjenskinn, endring av bevarings bygg, farge valg med mer. Likevel i situasjoner når man skal intrigere solceller i et nytt bygg, blir det enklere å skape et positivt sammenfall mellom bygg og utseende.

Metoden vi har benyttet knyttet til vurdering av alternativene gjør det lettere å rangere alternativene slik at vi får tatt en avgjørelse basert på forutsetningene. Det gjør det mulig for oss å komme frem til et alternativt som blir mest foretrukket basert på evalueringen.

En annen viktig side ved solcellesystemene er omgivelsene rundt og om hvor vidt disse vil forstyrre for strømproduksjonen. Skyggen fra omgivelsene vil gi en redusert produksjon og dette vil påvirke forholdet mellom energibehovet, levert energi fra nettet og strømproduksjonen. Derfor er det viktig at det blir foretatt en skygge analyse for takoverflatene til bygget, slik Sweco har gjort i vedlegg 2. Analysen for et mulig solcelleanlegg blir dermed mer nøyaktig.

Knyttet til solcellesystemene la vi inn perioden for snødekke fra januar til mars. Dette har vi ikke forutsetning å henvise til, bortsett fra egen befaring. Som et resultat av dette blir det ikke registrert i denne perioden. Men, som nevnt i (Solhaug, 2015) er det i løpet av vintermånedene man kan oppnå høy produksjon på grunn av ute klimaet. Temperaturen på panelene blir holdt nede, dette reduserer slitasje og varmetap. I tillegg vil snøen også jevnlig

smelte og slik blir panelene holdt rene. Dette har en positiv innvirkning på effekten til solcellepanelene.

5.4 Økonomi

Investeringskostnaden for systemene ble basert på kvadratmeterpriser oppgitt av kontaktpersoner. Den totale kostnaden for systemet vil avvike fra et realistisk scenario. Utrekningene vi har valgt å gjennomføre tar hensyn til at installasjonskostnader, vedlikeholdskostnader gjennom levetiden og diskontering er med i kvadratmeterprisen. Disse ekstra kostnadene kan påvirke resultatet på en negativ måte. Resultatet kan også påvirkes positivt med at investeringskostnaden blir mindre enn våre beregninger, ved bedre tilbud eller mengderabatter.

Realrentene vi valgte å bruke i beregningene er valgt for å gi oss muligheten å se forskjellige resultat. Hadde vi satt en realrente basert på dagens rente ville vi låst oss fast til en løsning da det ikke nødvendigvis blir resultatet og kan ende opp med å bli en dårlig investering. Dersom kommunen har et avkastningskrav på mer enn 4% realrente viser våre undersøkelser at dette ikke er lønnsomt hvis ikke strømprisene stiger. Strømprisen er i konstant endring, og vil avvike fra våre faste strømpriser i et virkelig scenario. Strømmen som selges ved mye produksjon, har blitt tatt med som årlige besparelser, dette kommer av at systemet kan avvike i virkeligheten, og den produksjonen som blir eksportert kan bli utnyttet av omsorgssenteret selv.

Resultatene av nåverdiberegningene indikerer at de tre systemene har muligheten for å være positive investeringer med gitte premisser. Med dette hadde man fått forskjellige resultater med andre verdier for strømpris og realrente.

LCOE gir investeringen enda en bekreftelse på gunstigheten. Den beregnede kostnaden på 0,81 kr/kWh kan betraktes som den laveste strømprisen investeringen kan håndtere for å være positiv. Der vi har laveste strømpris på 0,9 kr/kWh. Men denne vurderingen tar ikke hensyn til avkastningskrav, som da er en grunn til at vi har beregnet negativ nåverdi med strømpris over 0,81 kr/kWh.

5.5 Konklusjon

Det første valget som ble utelukket er solcelletakstein. Denne muligheten er kanskje ikke den smarteste med tanke på lang tilbakebetalingstid med ikke noe særlig høyere produksjon. Det eneste som er mer positivt med denne løsningen er at takkostanden i byggingen av senteret blir erstattet av solcellene. Men kostandene her tas ikke med så ser at det ikke blir gunstig i forhold til de andre to løsningene. Videre har vi utregninger i SIMIEN som viser at de monokrystallinske solcellene produserer nesten 10 000 kWh mer strøm i året enn de polykrystallinske solcellene. Dette stilles opp mot 1-2 års lengre nedbetalingstid og lavere nåverdi ved noen av de beregnede prognosene. Det monokrystallinske systemet vil antageligvis produsere ca. 300 000 kWh mer ren energi. Dette vil si at den tapte innsparingen i løpet av de ekstra nedbetalingsårene blir betalt med de ekstra inntjeningene for levetiden til systemet.

Vår beslutning baserte seg på høyest nåverdi med mest sannsynlig betingelser, der vi ikke ser for oss noe høyt rente nivå. Samtidig at strømprisen vil stige mer enn rente og inflasjon, hvor mye kan variere med årene. En annen side er at systemet med høyest strøm produksjon er mest interessant, fordi det gir minst usikkerhet da man også slipper å kjøpe strøm ved høyere produksjon. Sensitiviteten knyttet til produksjon forteller at økning over forventet levert energi fra solcellene gir enda større forskjell på nåverdi mellom System 1 & 2. Uten snødekket som er tatt med i beregningene forventes det høyere årsproduksjon som validerer det monokrystallinske solcellesystemet som best egnet løsning.

Hvis det ikke er nok, kan man også trekke inn at de ekstra 300 000 kWh som blir produsert vil være 100 % ren energi i motsetning til det som måtte eventuelt erstattet denne produksjonen med innkjøpt energi, som ikke alltid kan være ren fornybar elektrisitet. Så ifra et miljø og økonomisk perspektiv er de monokrystallinske solcellene det klare valget. Ved å implementere solcellesystemet gir det synlige tiltak og skaper bevissthet til befolkning, som gjør investeringen et steg i riktig retning for å gjennomføre kommunens mål om å redusere energikostnader og skape erfaringer. Alternativet vårt er bare en begynnelse, før man gjør selve investeringen bør alle beregninger gjøres mer detaljert med da forutsetninger hvor man gjennomfører mer detaljerte undersøkelser.

Litteraturliste

Alt du trenger å vite om solcellepaneler og solenergi for næringsbygg og offentlige bygg

(2019) Tilgjengelig fra: <https://blogg.fusen.no/solceller-for-naeringsbygg-og-offentlige-bygg>

Alt om klimameldingen og klimaforliket (2012) Tilgjengelig fra:

https://naturvernforbundet.no/klima/norsk_klimapolitikk/alt-om-klimameldingen-og-klimaforliket-article26633-131.html (Hentet 04.05.2019)

Anders, H.H.A. (2012) Nanoteknologi i enegisektoren, *Nature*, volum (12) s.111-120.

Tilgjengelig fra: https://www.idunn.no/file/pdf/54710186/natur_2012_03_pdf.pdf Hentet (23.02.2019)

Andreas Randøy (2019) *Vi streiker for klimaet 22.mars*. Tilgjengelig fra:

<https://nu.no/saker/2019/02/vi-streiker-for-klimaet-22-mars> (Hentet 04.05.2019)

Bygningsenergidirektivet (2009) Tilgjengelig fra:

<https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/om-regelverket/direktivet/> (Hentet 04.05.2019)

Buvik, M., Hole, J., Horne, H.(2019) *Kostnader for kraftproduksjon 2018* (nr.7/2019)

Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_07.pdf (Hentet 26.04.2019)

David, LD.(2015) Renewable and Energy Efficiency, *The Grid (2015)* Tilgjengelig fra:

<https://thegrid.rexel.com/en-us/forums/renewable-and-energy-efficiency/f/forum/674/what-is-the-difference-between-stc-and-noct-in-photovoltaic-module-specifications> (Hentet 12.04.2019)

Direktoratet for byggkvalitet. *Byggteknisk forskrift (TEK17)* Tilgjengelig fra:

<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/> (Hentet 26.04.2019)

Fthenakis, V., Kim, H. C., Frischknecht, R.(2011) *Life Cycle Inventories and Life Cycle*

Assesments of Photovoltaic Systems (IEA-PVPS T12-02:2011) Sted: New York. Tilgjengelig

fra: http://www.clca.columbia.edu/Task12_LCI_LCA_10_21_Final_Report.pdf (Hentet 28.04.2019)

Grønn skrell på TV2s partimåling-MDG økte mest (2019) Tilgjengelig fra: Følge <http://naturpress.no/2019/04/03/gronn-skrell-pa-tv2s-partimaling-mdg-okte-mest/> (Hentet 04.05.2019)

Hofstad, K (2019) *Solenergi*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/solenergi> (Hentet 10.05.2019)

Holter, Ingebretsen og Parr, (2010) *Fysikk og energiresursser*

Hvilket land produserer mest silisium?(2019) Tilgjengelig fra: <https://no.ripleybelieves.com/which-country-produces-most-silicon-7862> (Hentet: 14.05.2019)

IBC Solar (2017) *IBC PolySol 265 CS4, 270 CS4*. Tilgjengelig fra: https://www.eidsivaenergi.no/globalassets/strom/dokumenter/solceller/solpanel/en-data_sheet_europe_-_japan-ibc_polysol_270_cs4_2203800024.pdf

JA Solar (2018) 310 W PERC Module. Tilgjengelig fra: <https://www.eidsivaenergi.no/globalassets/strom/dokumenter/solceller/solpanel/data-sheet-jam60s01-pr-305-310.pdf> (Hentet 16.03.2019)

Kyotoprotokollen (2018) Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler/Miljoe-og-klima/Kyotoprotokollen> (Hentet 04.05.2019)

Lars Mæhlum (2018) *Fornybardirektivet*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Fornybardirektivet> (Hentet: 04.05.2019)

Lønnsomhet og tilbakebetalingstid for solceller (2017) Tilgjengelig fra: <https://www.otovo.no/blog/2017/02/26/lonnsomhet-og-tilbakebetalingstid-for-solceller/> (Hentet: 13.04.2019)

Klimaforliket (2014) Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klimate-og-miljo/klimate/innsiktsartikler-klimate/klimateforliket/id2076645/> (Hentet 04.05.2019)

Mer innovative løsninger for solceller (2018) Tilgjengelig fra: <https://norgesenergi.no/bedrift/spar-strom/mer-innovative-losninger-for-solceller/> (Hentet 14.02.2019)

Miljødirektoratet (2017) *Konsekvenser av global oppvarming*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljostatus.no/tema/klima/konsekvenser-av-klimaendringer/> (Hentet 04.05.2019)

Miljødirektoratet (2018) *Globale utslipp av klimagasser*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljostatus.no/tema/klima/global-utslipp-klimagasser/> (Hentet 04.05.2019)

Miljødirektoratet (2018) *Norske utslipp av klimagasser*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/> (Hentet 04.05.2019)

Myte 5: Produksjonen av solceller belaster miljøet mer enn det sparer miljøet (2018)
Tilgjengelig fra: <https://www.eidsivaenergi.no/lev-energismart/myter-om-solceller/myte-3/>
(Hentet 11.04.2019)

Om solenergi. Tilgjengelig fra: <https://www.solenergi.no/hvorfor-solenergi> (Hentet 22.02.2019)

Parisavtalen (2019) Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler/Miljoe-og-klima/Parisavtalen> (Hentet 04.05.2019)

Passivhus. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/passivhus/>

Produksjonen av solceller belaster miljøet mer enn det sparer miljøet (2018) Tilgjengelig fra: <https://forbrukernet.com/strøm/solceller.php> (Hentet 04.03.2019)

Revidert fornybardirektiv (2018) Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2017/mars/reviert-fornybardirektiv/id2542890/> (Hentet 04.05.2019)

Sendy, A (2017) Pros and Cons of Monocrystalline vs Polycrystalline solar panels.
Tilgjengelig fra: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels> (Hentet: 15.02.2019)

Sidelnikova, M. S., Wier, E. D. W., Nybakke, K. S. *Kostnader i energisektoren* (nr2/2015 del1) Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf (Hentet

Solceller (2018) Tilgjengelig fra: <http://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/> (Hentet 23.02.2019)

Solceller (Sist oppdatert 14.05.2019) Tilgjengelig fra:

<https://forbrukernet.com/strøm/solceller.php> (Hentet 26.02.2019)

Solceller. Tilgjengelig fra: <https://www.solenergi.no/solstrm> (Hentet 24.02.2019)

Solcelletyper – det finnes tre forskjellige. Tilgjengelig fra:

<https://www.webforumet.no/nytte/solcelletyper-det-finnes-tre-forskjellige/> (Hentet 23.02.2019)

Solenergi. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/aktuelt/skapende/energi/solenergi> (Hentet 23.02.2019)

Solhaug, R.M (2015) Solpanel fungerer best i snø og kulde, *Labyrint* Volum, (1/2015)

Tilgjengelig fra: https://uit.no/nyheter/artikkel?p_document_id=412190&p_dim=88106 (Hentet: 10.05.2019)

Thorud, BT. (2016) Hva er det med distribuert solenergi?, *Praktisk økonomi og finans (volum 32)* Tilgjengelig fra:

https://www.idunn.no/pof/2016/03/hva_er_det_med_distribuert_solenergi (Hentet 23.02.2019)

Wang og Tsai, T.C og S.Y (2018) Solar Panel Supplier Selection For The Photovoltaic System Design By Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches, *Energies*, volum(11)

What is a solar PV system. Tilgjengelig fra:

http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php (Hentet: 15.02.2019)

