



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Elektro

ING3055

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2019 16:23	Termin:	2019 VÅR
Slutt dato:	08-05-2019 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave Elektro med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3055 1 BOPPG 2019 VÅR Haugesund		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 103

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Effektivisere utnyttelse av solenergi
Engelsk tittel *: More efficient use of solar energy
Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen Ja**
konfidensiell materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert oppgavetittelen
på norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)
Gruppenummer: 2
Andre medlemmer i Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe
gruppen:

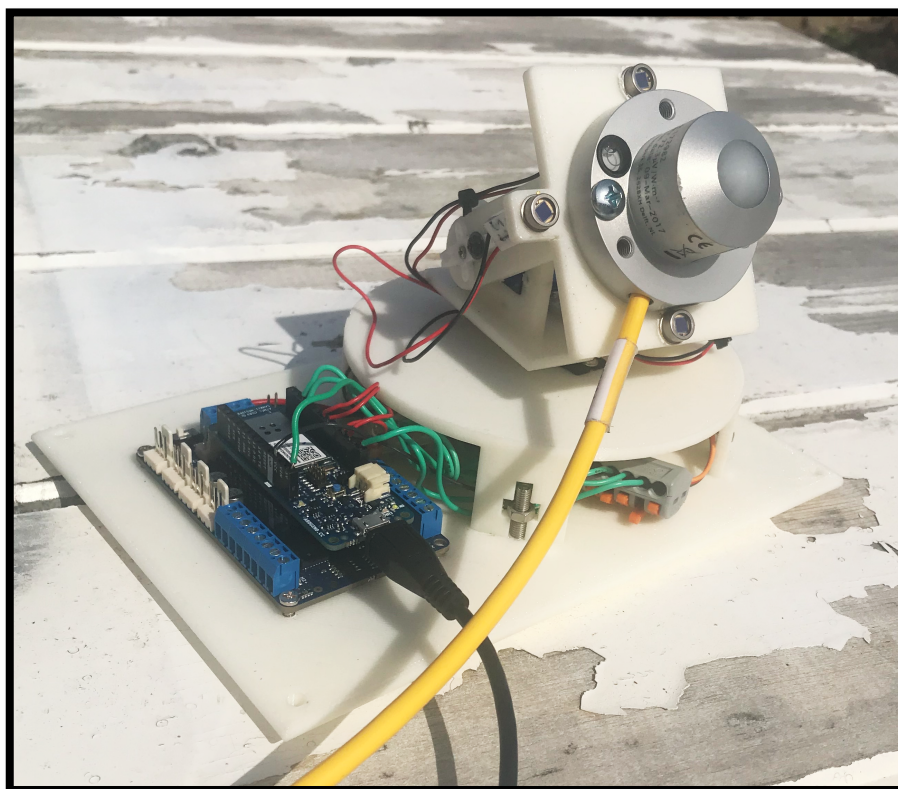
Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja



Høgskulen
på Vestlandet

EFFEKTIVISERE UTNYTTELSE AV SOLENERGI



Bacheloroppgave utført ved
Høgskulen på Vestlandet – Haugesund

Studieretning:

Elektro

Av:

Jenny Sagvaag

Kandidatnr. 103

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Effektivisere utnyttelse av solenergi		
Utført av		
Jenny Sagvaag		
Linje:		Studieretning:
Elektro		Ingeniørfag
Gradering	Innlevert dato:	Veiledere
Åpen	08.05.19	Gisle Yngvar Romslo Kleppe

Ekstrakt

I denne bacheloroppgaven ble det designet og bygget en solar tracker. En solar tracker er et system som forflytter et objekt med solen. Systemene blir oftest brukt til å posisjonere solcellepanel slik at solstrålene alltid faller vinkelrett på solcellepanelene. Dette fører til at solcellepanelene kan gi ut mer energi enn et fast montert solcellepanel.

Solar trackeren ble styrt av en Arduino microcontroller, og skulle ha 2 funksjoner. Den skulle rette seg inn etter solen basert på tilbakemeldinger fra 4 sensorer, eller flytte seg med solen ved hjelp av utregninger basert på tid og lokasjon.

Ulike typer solar trackere ble undersøkt og vurdert opp mot hverandre med hensyn til virkningsgrad og hvor godt de ville fungere med norske solforhold.

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Jenny Sagvaag

Linje & studieretning Elektro, Industriell automatisering

Oppgavens tittel: *Effektivisere utnyttelse av solenergi*

Oppgavetekst:

Oppgaven går ut på å undersøke mulighetene for å effektivisere utnyttelsen av solenergi ved å benytte seg av en konstruksjon som vender solcellepanelet mot solen til enhver tid i et norsk klima. En prototype skal bygges og testes.

Aktuelt regelverk skal belyses og potensiell elektrisk og økonomisk gevinst i et norsk klima skal beregnes.

Endelig oppgave gitt: Fredag 26. oktber 2018
Innleveringsfrist: Onsdag 19. desember 2018 kl. 12.00

Intern veileder: Gisle Yngvar Romslo Kleppe – HVL, tlf: 52702671
Ekstern veileder:

**Godkjent av
studieansvarlig:**
Dato:

J. C. Lindam
11/12-18

Forord

Dette prosjektet ble gjennomført som en bacheloroppgave innenfor fagdisiplinen elektro ved Høgskulen på Vestlandet, avd. Haugesund, våren 2019. Oppgaven har vært krevende og bydd på mange utfordringer. Den har beveget seg innenfor temaer jeg aldri før har vært innom, derav har lærekurven vært bratt. Lærerik håper jeg også den er for deg som leser den nå.

Jeg vil takke lærere ved Høgskulen på Vestlandet for å være tilgjengelige og hjelpsomme når det trengs! En spesiell takk til Harald Spångberg som har hjulpet med å finne en oppgave, og har svart på utallige spørsmål. Jeg vil takke Andrés Franklin Olivares Lopez for å ha delt sin kunnskap innen solenergi og veiledning til å velge komponenter. Takk til Gisle Yngvar Romslo Kleppe som har vært veileder og til enorm hjelp med både rapporten og produktet.

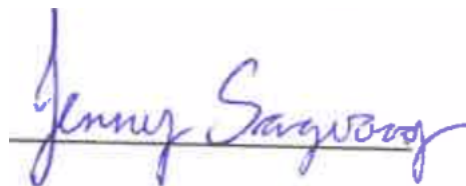
Ellers vil jeg benytte anledningen til å takke venner og familie for oppmuntring og støtte i en hektisk periode.

Stavanger

08.05.19

Sted

Dato



Jenny Sagvaag

Innhold

Forord	4
Innhold	5
Figurer	7
Definisjoner	8
Sammendrag	9
Summary	10
1 Innledning	11
1.1 Bakgrunn	11
1.2 Problemstilling	11
1.2.1 Hovedmål.....	12
1.2.2 Delmål.....	12
1.3 Suksessfaktorer	13
2 Solenergi	14
2.1 Hvordan utvinne energi fra solen?	14
2.1.1 Hva har solstrålenes spektrum å si for utvinning av energi?.....	15
2.1.2 Hva har solstrålenes intensitet å si for utvinning av energi?.....	16
2.1.3 Solens geometri.....	17
2.2 PV teknologi	19
2.2.1 1. generasjon.....	20
2.2.2 2. generasjon.....	21
2.2.3 3. generasjon.....	22
2.3 Valg av PV-teknologi til solar trackeren	23
3 Solar tracker	24
3.1 Passive system	24
3.2 Aktive system	24
3.2.1 Single Axis tracker.....	25
3.2.2 Dual axis tracker.....	26
3.3 Hvilket system skal konstrueres i denne oppgaven?	27
4 HMS og risikovurdering	28
4.1 Substanser benyttet i solcellepanel	28
4.2 Utslipp	29
4.3 Forskrifter og normer	30
4.4 Risikovurdering	30
4.4.1 Kartlegging av risiko.....	31
4.4.2 RISIKODIAGRAM.....	32
4.4.3 HANDLINGSPLAN.....	33
5 Algoritme for solposisjon	34
5.1 Programmering av algoritme	34
5.1.1 Soltid.....	34
5.1.2 Deklinasjonsvinkel.....	35
5.1.3 Timevinkel.....	36
5.1.4 Altitude og zenith vinkel.....	36
5.1.5 Azimuth vinkel.....	38



5.2	Implementering i Matlab	38
6	Konstruksjon av solar tracker	39
6.1	Komponenter.....	39
6.1.1	Arduino MKR 1000 og MKR motor carrier	39
6.1.2	Servo.....	41
6.1.3	Fotodioder.....	42
6.1.4	Pyranometer	43
6.2	Plattform for solar tracker	44
6.3	Software.....	44
6.4	Oppkobling	45
6.4.1	Servomotorer.....	45
6.4.2	Fotodioder.....	46
6.4.3	Motstand.....	47
6.4.4	Redusering av støy	47
6.4.5	Pyranometer	47
7	Test av solar tracker.....	50
7.1	Plassering av solar tracker	50
7.2	Utførelse og vurdering av testoppsett.....	51
7.3	Resultater.....	53
8	Konklusjon.....	56
8.1	Design.....	56
8.2	Teknisk	57
8.3	Program	58
8.4	Test.....	59
8.5	Oppsummering.....	59
	Bibliografi	60
9	Vedlegg.....	62

Figurer

FIGUR 1 SAMMENHENGEN MELLOM BØLGELENGDE OG IRRADIANS FOR STRÅLING (WIKIPEDIA, 2012)	15
FIGUR 2 JORDENS HORISONTALE BANE RUNDT SOLEN (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA IMAGEQUEST)	17
FIGUR 3 JORDENS AKSIALE HELNING (WIKIPEDIA, 2007)	18
FIGUR 4 OPPBYGGING AV EN SOLCELLE (WIKIPEDIA, 2015)	21
FIGUR 5 HORIZONTAL SINGLE AXIS TRACKERS I VELLAKOIL, INDIA (WIKIPEDIA, 2014).....	25
FIGUR 6 DEN RØDE LINJEN MARKERER DEN AKTUELLE DEKLINASJONSVINKELN, SETT AT STJERNEN ER SOLEN (WIKIPEDIA, 2009)	35
FIGUR 7 ILLUSTRASJON AV AZIMUTH VINKEL OG ALTITUDE VINKEL (WIKIPEDIA, 2011)	37
FIGUR 8 ARDUINO MKR 100 Plassert på en MKR motor carrier, 10. DESEMBER 2018	40
FIGUR 9 KIPP & ZONEN SP LITE2, 23. NOVEMBER 2018.....	43
FIGUR 10 KOBLING FOR FOTODIODE; ALTERNATIV 1, 13. DESEMBER 2018.....	46
FIGUR 11 KOBLING FOR FOTODIODE; ALTERNATIV 2, 13. DESEMBER 2018.....	46
FIGUR 12 OPPSETT FOR TEST AV FOTODIODE, 2. MAI 2019	47
FIGUR 13 TEST AV FOTODIODE MED 12KOHM MOTSTAND, 2. MAI 2019.....	47
FIGUR 14 TEST AV FOTODIODE MED 6KOHM MOTSTAND, 2. MAI 2019	47
FIGUR 15 TEST AV FOTODIODE MED 3 KOHM MOTSTAND, 2. MAI 2019.....	47
FIGUR 16 SIGNAL UT FRA PYRANOMETER, 12. DESEMBER 2018.....	48
FIGUR 17 SOLENS BEVEGELSESMØNSTER OVER RUBBESTADNESET, 4. MAI 2019 (HOFFMAN, 2015).	50
FIGUR 18 SOLAR TRACKER UNDER TEST, 4. MAI 2019.....	51
FIGUR 19 SOLAR TRACKER, DATAMASKIN OG FLUKE 45, 4. MAI 2019.....	52
FIGUR 20 PYRANOMETER MONTERT PÅ SOLAR TRACKER, 4. MAI 2019	53
FIGUR 21 SOLAR TRACKER FRA SIDEN, MANGLER STØTTE FOR ØVRE PLATFORM, 12. DESEMBER 2018	56
FIGUR 22 SKYGGE UNDER PYRANOMETER, 4. MAI 2019	57

Definisjoner

<i>Arduino</i>	Mikrokontroller av merket Arduino
<i>Matlab</i>	Software for programmering og et programmeringsspråk basert på C-språk.
<i>Solar tracker</i>	Enhet som beveger seg etter solen
<i>The solar constant</i>	Standard gjennomsnittlig verdi for solstrålenes intensitet før den trenger gjennom atmosfæren (Duffie & Beckman, 2013).
<i>Zenith vinkel</i>	Vinkelen mellom solen og normalen til overflaten solstrålene treffer
<i>Altitude vinkel</i>	Vinkelen mellom solen og overflaten solen treffer
<i>Azimuth vinkel</i>	Vinkel fra retning nord og til solens posisjon på et horisontalt plan
<i>Albedo</i>	En overflates evne til å reflektere stråling
<i>Wafer</i>	Tynn skive av halvledermateriale
<i>Valensbånd</i>	Energibåndet i et atom hvor elektronene som bidrar til kjemiske bindinger mellom atom befinner seg (valenselektrone).
<i>Ledningsbånd</i>	Energibåndet hvor elektroner kan bevege seg nokså fritt mellom atomer.
<i>Band gap</i>	Også kalt energigap. Området mellom valensbåndet og ledningsbåndet som i et atom. Størrelsen bestemmer ledningsevnen til atomet.
<i>Ekliptikken</i>	Banen solen synes å følge over himmelen i løpet av et år.
<i>Soltid</i>	Tidssystem som sammenfaller med solens bevegelser
<i>Solar noon</i>	Tidspunktet på dagen når solen står midt på himmelen
<i>Peak</i>	Den høyeste verdien fra et signal innen en viss tidsperiode

Sammendrag

Solen er en energikilde som ikke blir utnyttet til dets fulle potensial. Norge ligger bak i utviklingen sammenlignet med flere land i Europa. I denne bacheloroppgaven lages en prototype av et system for solcellepaneler som skal utnytte litt mer av energi enn fastmonterte solcellepaneler. Det blir vurdert om dette er en gunstig løsning å benytte, eller om det er for liten differanse av energi fanget mellom de ulike systemene til at det er lønnsomt.

Solar trackers er allerede etablerte produkter på verdensmarkedet. I denne bacheloroppgaven blir det forsøkt å lage en prototype styrt av en Arduino mikrokontroller, og programmert gjennom Matlab programmeringsplattform. Byggeklossene for systemet ble designet i Autocad Inventor og skrevet ut på 3D printer i plast.

For å vende solar trackeren mot solen skal det benyttes to muligheter; den styres ved hjelp av tilbakemeldinger fra 4 sensorer som retter den mot solen, eller den styres ved hjelp av en algoritme basert på tid og lokasjon. I denne rapporten beskrives arbeidet frem mot den endelige prototypen, og resultatene den gav i forhold til et fastmontert alternativ.

Summary

The sun is an energy source that is not exploited to its full potential. Norway is not as developed as other European countries when it comes to using solar energy. In this bachelor thesis a prototype of a system for solar panels that will utilize more energy than fixed-mounted solar panels will be made. It will be evaluated if this is a favorable solution to use, or if there is too little difference between energy captured for the different systems to make it profitable.

Solar trackers are already established products in the world market. In this bachelor thesis, an attempt is made to create a prototype controlled by an Arduino microcontroller, and programmed through Matlab programming platform. The building blocks for the system were designed in Autocad Inventor and printed on a 3D printer in plastic.

To turn the solar tracker towards the sun, there shall be two opportunities; the tracker is controlled by feedback from 4 sensors directing it towards the sun, or controlled by an algorithm based on time and location. This report describes the work towards the final prototype, and the results it gave in relation to a fixed alternative.

1 Innledning

Dette er en bacheloroppgave i elektrofag som ble utført ved Høgskulen på Vestlandet, avdeling Haugesund, vårsemesteret 2019. Bacheloroppgaven gjennomføres over 2 semester, der 1. semester er forbeholdt forberedelser (vårsemester 2018) og oppgaven gjennomføres et 2. Semester som i dette tilfellet ble vår 2019.

1.1 Bakgrunn

Kontaktet høgskolelektor Harald Spångberg i løpet av vårsemesteret 2018, og spurte om tips og inspirasjon til å finne en problemstilling for bacheloroppgave i elektro. Ønsket en praktisk oppgave som var overkommelig for en person å gjennomføre alene.

Interesse for programmering og brede oppgavemuligheter innenfor feltet gjorde at mikrokontrollere ble vurdert som et godt alternativ. Spångberg kontaktet professor Andrés Franklin Olivares Lopez, som har bred kunnskap innen solenergi. Deretter ble idéen om å lage en "Solar Tracker" styrt av en Arduino skapt

1.2 Problemstilling

Benyttelse av solen som energikilde er ikke et nytt fenomen. Solen avgir enorme mengder energi, tilsvarende flere tusen ganger verdens energiforbruk (NVE; Enova; Norges forskningsråd; Innovasjon Norge, 2016).

Utfordringen er å utnytte denne energien så effektivt som mulig.

På grunn av sin nordlige beliggenhet er Norge mindre egnet enn mange andre land til å benytte solenergi effektivt. Det kan derfor støtes på flere utfordringer, blant annet at solinnstrålingens sesongvariasjoner virker motsatt av vårt energibehov. For å effektivisere utvinningen av solenergi finnes det flere alternativ, deriblant:

- Følge naturlige variasjoner i solstrålingen for å utnytte den maksimalt.

- Lagre energien.
- Investere i alternative energikilder når solen ikke skinner.

I denne oppgaven undersøkes alternativ 1. *Kan naturlige variasjoner i solstråling følges for å få større utbytte av solenergi?*

1.2.1 Hovedmål

Hovedmålet i denne oppgaven er å lage en solar tracker styrt av Arduino. Trackeren skal kunne styres på 2 separate metoder; fysiske målinger med fotodioder, og en algoritme basert på tid. Fysiske målinger fra fotodioder skal bestemme bevegelsesmønsteret til trackeren når solen er tilstede. Dersom det er overskyet tar algoritmen over, som baserer bevegelsesmønsteret etter sesong, dag og tidspunkt.

Trackeren skal styres av en Arduino MKR1000 som skal programmeres i Matlab. Arduino MKR1000 er en del av et Arduino Engineering Kit som er utviklet i et samarbeid mellom Matworks og Arduino, for å muliggjøre kommunikasjon mellom Matlab og Arduino mikrokontrollere. Matlab skal deretter benyttes til å analysere data fra et solcellepanel.

1.2.2 Delmål

Som delmål er det satt opp 6 punkter som angår praktisk arbeid i prosjektet. Disse skal benyttes som milepæler, og det praktiske arbeidet skal dokumenteres i rapporten mellom hvert delmål.

1. Bygge en plattform for solar trackeren som tåler vær.
2. Sørge for tilstrekkelig beskyttelse av sårbare komponenter.
3. Tegne arrangement- og koblingsskjemaer.
4. Programmering
 - a) Definere I/O
 - b) Implementere algoritme for solposisjon
 - c) Motorstyring

- d) Hente inn data fra solcellepanel
 - e) Analysering av data
5. Teste at trackeren fungerer, vurdere om metoden er gunstig.

1.3 Suksessfaktorer

For at denne oppgave skal bli regnet som en suksess vil det være vesentlig å bevise at å endre vinkelen på et solcellepanel etter de naturlige variasjonene vil gi mer energi enn et stasjonært solcellepanel. Hvor mye energi som brukes til å styre trackeren bør være lavere enn endret avgitt energi fra solcellepanelet.

Samarbeidet mellom Arduino og Matlab kan skape utfordringer da dette er en faktor som kompliserer systemet i forhold til å bruke Arduino IDE som programmeringsplattform. Denne beslutningen er tatt for å ha mulighet til å bruke de innebyggede analyseverktøyene i Matlab. Været kan også være en hindring dersom utstyr blir ødelagt i sammenheng med tester.

2 Solenergi

Det har siden 1970-årene blitt satset i stadig større grad på omdanning av solenergi til elektrisitet og varme-, kjemisk- og mekanisk energi. Solenergi kan benyttes som energikilde over hele verden, men kommersiell bruk har blitt sett på som mest aktuelt i områder nær ekvator der det er lite skyer og lite nedbør.

Solenergi er en miljøvennlig, fornybar energikilde med god tilgjengelighet over store deler av verden, noe som gjør omdanning av energiformen til et stort satsingsområde i en rekke industrielle land. Solenergi er, per 2017, den energiformen som har størst årlig vekst, og teknologien for utvinning utvikles med enorm hastighet. (Rosvold, 2017).

2.1 Hvordan utvinne energi fra solen?

Det finnes en rekke ulike måter å benytte solenergi på. Her nevnes kun noen eksempler;

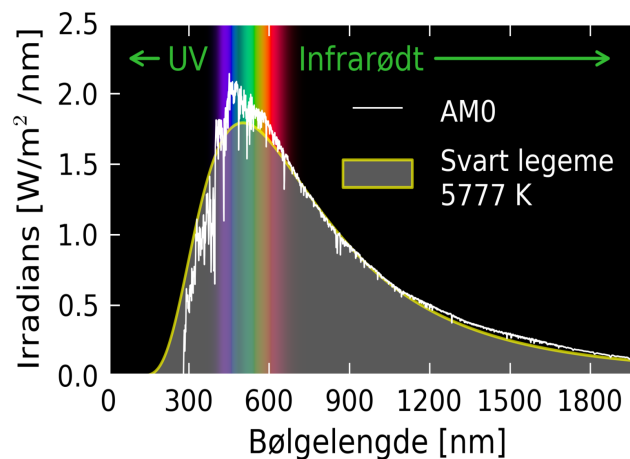
- En metode er å benytte solfangere, som bruker varmeabsorberende overflater til å varme opp vann eller bygninger.
- CSP teknologi, "Consentrating Solar Power", benytter seg av speil for samle energien fra solstrålene inn mot en mottaker. Energien fra solstrålene rettes mot mottakeren og omdannes til varme, temperaturen benyttes til å danne damp som igjen brukes til å drive en turbin som genererer strøm.
- Solceller, eller "photovoltaic(PV) cells", konverterer solstråler direkte til elektrisk energi. Når solstråler treffer en solcelle vil fotoner fra solstrålene frigjøre elektroner fra atomer inne i solcellen. Elektroner i bevegelse er strøm. Strømmen føres deretter ut i et system.

Samtlige av disse metodene kunne blitt effektivisert ved å tilpasse systemene til de naturlige variasjonene i solstråling. utfordringen er å øke effekten nok til at tilpassingen blir lønnsom. Dette skal undersøkes for benyttelse av PV teknologi.

Det er 2 faktorer som er essensielle for å utvinne energi fra solen. Den første er solstrålenes spektrum og intensitet. Den andre er solens geometri; hvordan beveger solen seg på himmelen?

2.1.1 Hva har solstrålenes spektrum å si for utvinning av energi?

Solstråler er en betegnelse på den elektromagnetiske strålingen solen avgir. Det er denne som fører med seg energien fra solen som kan utnyttes videre ved bruk av ulike former for teknologi.



Figur 1 Sammenhengen mellom bølglengde og irradians for stråling (Wikipedia, 2012)

Solstråler ankommer jorden i et bredt spektrum av bølglengder. Stråler med lang bølglengde, som infrarød stråling, gir mindre energi enn de med kortere bølglengde, som synlig lys og UV. Derav har spekteret til de tilgjengelige solstrålene mye å si for hvor store mengder energi som kan utvinnes.

Solen avgir stråling med bølglengder fra ca. 100 nm til 1mm, men den høyeste energien finnes i strålingen med bølglengde mellom 250 nm - 2500 nm. Som vist i Figur 1.

For at en solcelle skal produsere strøm må strålingen ha større energi enn *band gap*, eller et energigap i solcellen. *Band gap* varierer i størrelse etter hvilket materiale solcellen er laget av. En typisk silisium solcelle krever 1.1 eV for å

kunne sende elektroner ut ifra solcellen. Dette tilsvarer infrarød stråling med en bølgelengde på ca. 1,127 nm, ved lengre bølgelengder vil det være for lite energi til å produsere strøm (Murmson, 2017). Årsaken til dette er at *band gap* er et energibånd som skiller *valenselektroner* fra ledningselektronene i et atom. For å produsere strøm i et solcellepanel må *valenselektronene* flytte seg til *ledningsbåndet*, altså hoppe over energigapet. For å klare dette hoppet trenger du mer energi enn energien som befinner seg i energigapet.

2.1.2 Hva har solstrålenes intensitet å si for utvinning av energi?

Når solstrålene trenger gjennom atmosfæren blir deler av strålene spredt, absorbert og reflektert av molekyler i luften, skyer, støv og lignende. Strålene som blir påvirket på denne måten kalles diffus solstråling. Strålene som når jordens overflate uten å endre retning kalles direkte solstråling. Atmosfæriske forhold kan gi et tap av direkte solstråling på 10 % under fine værforhold og opp til 100 % på tett overskyede dager (U.S. Department Of Energy, 2013).

Forskning tyder på at solens strålingsintensitet holder seg relativt konstant. Det regnes at intensiteten før strålene treffer jordens atmosfære er gjennomsnittlig $1353 \text{ W/m}^2 \pm 1,5 \%$. Dette blir regnet som *The solar constant* og ble akseptert som en standard verdi av NASA i 1971 og American Society of Testing and Materials i 2006 (Duffie & Beckman, 2013).

Når solstrålene beveger seg inn i jordens atmosfære vil intensiteten avta som følge av spredning, absorpsjon og refleksjon. Spredning skjer vanligvis som følge av at strålene treffer vandrdåper, støvpartikler og luftmolekyler. Denne prosessen fører til at omtrent 6 % av de spredte solstrålene sendes tilbake i rommet. Omtrent 20 % ankommer jordoverflaten som diffus stråling.

Stråler absorberes hovedsakelig av ozonmolekyler og vanndamp, en liten andel blir absorbert av oksygen. Ozon molekylene absorberer omtrent 3% av all stråling høyt oppe i atmosfæren mesteparten av denne strålingen er innenfor UV-delen av spekteret. Lavere i atmosfæren blir 14 % av strålene absorbert av vanndamp, mesteparten av denne strålingen er i det infrarøde området. En liten andel stråling blir absorbert av oksygen, nitrogen og karbondioksid. Denne

andelen har ikke mye å si for utvinning av solenergi, men at karbondioksid absorberer stråling er svært betydningsfull når det kommer til drivhuseffekten.

Refleksjon av solstråler er avhengig av overflaten den treffer på jorden.

Refleksjonen av strålingen som treffer en overflate kalles overflatens *albedo*.

Denne blir vanligvis oppgitt som et tall fra 0-1. Som f. eks for vann; 0,1. Den kan også reflekteres av overflater i atmosfæren, som skyer, vannmolekyler og lignende.

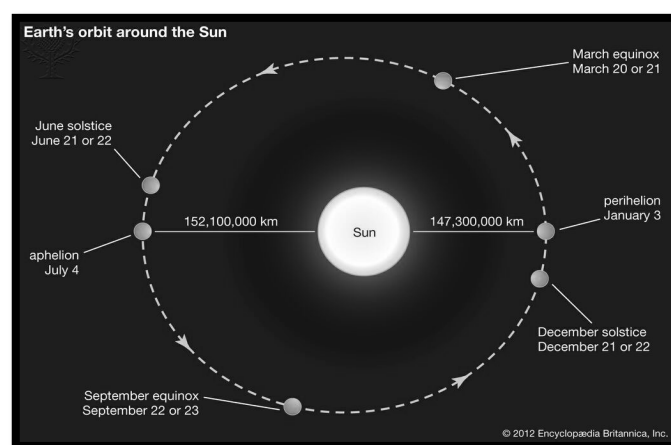
Som vist i Figur 1 er det synlig lys som utgjør størst energi. Denne strålingen utgjør ca. 44 % av den totale strålingen på jordens overflate, hvorav de resterende 56 % består av UV- og infrarød stråling (Excell, 2000). Intensiteten fra solstrålene vil variere gjennom året, den viker med noen få prosent ($\pm 3.3\%$) til og fra den solare konstanten (Duffie & Beckman, 2013).

Den totale solstrålingen kommer i bunn og grunn an på atmosfæriske forhold og *zenithvinkelen*. Dette er vinkelen mellom retningen til solen og normalen til overflata solstrålene treffer. Mest energi utvinnes fra solen dersom zenithvinkelen er mellom 0° og 15° for et PV-panel (Wang & Leu, 2012).

2.1.3 Solens geometri

Jorden bruker ca.
365,242199
dager på en runde
rundt sola, noe
som på god vei
forklarer hvorfor
det er skuddår
hvert 4. år
(Williams, 2014).

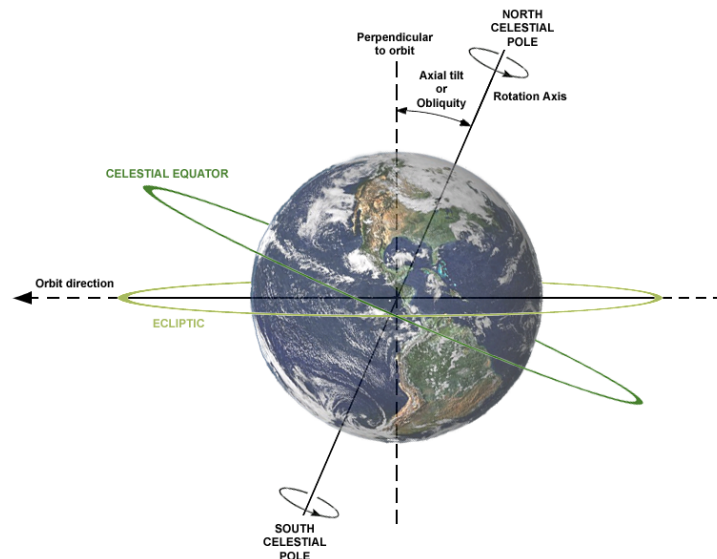
En vanlig
misforståelse er



Figur 2 Jordens horisontale bane rundt solen (Encyclopædia Britannica Imagequest)

at jorda beveger seg i en perfekt sirkel med Solen som senterpunkt. Dette stemmer ikke. Jorden beveger seg i en ellipsebane rundt solen, i likhet med de andre planetene i vårt solsystem, kjent som Kepler's 1. lov.

I Figur 2 er det merket av to punkter kalt perihelium (perihelion) og aphelium (aphelion). Jorden passerer sitt aphelium rundt 4. Juli, og sitt perihelium rundt 3. Januar hvert år. Aphelium beskriver et punkt i ellipsebanelen når objektet er lengst unna Solen. Perihelium beskriver punktet der objektet er nærmest Sola. Derav vil ikke jordens avstand til sola bestemme sesongene, slik mange tror. Det som derimot påvirker sesongene er aksial helning.



Figur 3 Jordens aksiale helning (Wikipedia, 2007)

Aksial helning er i dette tilfellet vinkelen mellom Jordens rotasjonsakse og Jordens vertikale akse i forhold til banen rundt solen. Den aksiale helningen er illustrert i Figur 3. "Solstice" eller på norsk; solverv, er tidspunktene i året da polene på Jorden opplever maksimal helning mot og fra solen.

For den nordlige halvkule vil sommersolverv oppstå rundt 21. Juni, og vintersolverv rundt 21. Desember. For den sørlige halvkule er solvervene motsatt. Jordens akse tiltes maksimalt (ca.) $\pm 23,44^\circ$ fra og mot *ekliptikken* til Sola (Williams, 2014). Denne vinkelen er tilsvarende deklinasjonsvinkelen, og er vesentlig for å beregne solens stråling mot jorden. Deklinasjonsvinkelen måles mellom ekvator og ekliptikken til solen.

2.2 PV teknologi

PV-teknologi gir oss en rekke fordeler i forhold til andre metoder for å utvinne energi. Teknologien tar ikke stor plass, den er modulær og kan benyttes hvor som helst i verden. Operasjons- og vedlikeholdskostnadene er lave, energien er fornybar og systemene utgjør en minimal risiko for miljøet.

En photovoltaic (PV) celle er laget av et halvledermateriell. Halvledermateriell har noen av de samme egenskapene som et metall, og noen av egenskapene til isolatorer. Dvs. at den ikke leder strøm spesielt godt, men denne egenskapen kan bedres under visse forhold. Når solstråler treffer halvledermaterialet kan fotonene fra solstrålen overføre energien sin til elektroner i halvledermaterialet. Elektronene vil da forflytte seg gjennom materialet som strøm, og vanligvis ut i et større system.

Halvledermaterialet er oppbygd i 3 lag for å oppnå ønskede egenskaper. I det øverste laget er det tilsatt et stoff med negativ ladning av elektroner, slik at det oppstår en overflod av elektroner. Nederste laget er tilsatt et stoff med positiv ladning, altså et underskudd av elektroner. Midterste laget er også tilsatt et stoff med positiv ladning, men en mye mindre dose. Tynne linjer av metall er lagt i det øverste laget, og det nederste laget hviler på en aluminiumsplate.

Når solstrålene treffer solcellen vil den løsne et elektron fra et halvleder-atom i det midterste laget. Dette vil legge igjen et positivt ladet hull. Elektronet forflytter seg opp til det øverste laget, og det positivt ladede hullet forflytter seg til det nederste laget. Denne prosessen vil gjentas så lenge solen skinner på solcellen. Linjene av metall på det øverste laget og aluminiumsplaten i kontakt med nederste laget kobles opp til systemet som trenger strøm som + og -.

Det er også typisk lagt en film over halvledermaterialene, som også er i kontakt med linjene av metall. Egenskapene som ønskes fra denne filmen er at den ikke reflekterer solstrålene, og leder strøm. Over dette blir det ofte benyttet plast, eller glass for å beskytte solcellen fra vær og vind.

Den fotovoltaiske effekten ble oppdaget i 1839 av den franske fysikeren Edmond Becquerel. Det tok over 100 år før den kommersielle interessen av denne effekten virkelig tok av. I dag er det utviklet en rekke ulike PV-celler, og det blir stadig utviklet nye. Solceller blir ofte kategorisert i 3 ulike generasjoner.

2.2.1 1. generasjon

Den første silisium solcellen ble bygd i 1954 med en effekt på 6%. Solcellepanel laget av silisium er fortsatt den mest utbredte typen solcelle, og står for 80% av alle solgte solcellepaneler i verden. Det finnes 3 hovedtyper av silisium solceller:

- Monocrystalline (Mono c-Si)
- Polycrystalline (Poly c-Si)
- Amorphous Silicon Cells

Monocrystalline celler er den eldste og mest effektive teknologien. Cellene er laget av *wafers* (tynne skiver med halvledermateriell) av silisium. Denne typen solceller kan ha en effekt opp til 26%. Silisium wafers dannes i en Czochralski prosess som etterlater rent krystallinsk silisium, som er årsaken til den høye effekten, men også en høy pris. Det lages én stor krystall som deretter skjæres opp i skiver.

Polycrystalline er billigere enn monocrystalline fordi materialet ikke er like rent. Polycrystalline er krystallinsk silisium som blir smeltet sammen og formet som en wafer. Høyeste effekten registrert ved bruk av denne typen solceller er 21%.

Amorphous silisium celler benytter seg av ikke-krystallinsk silisium. Cellene lages ved å atomlagsdeponere et tynt lag av silisium på et lag glass, metall eller plastikk. Cellene er billige å produsere, men gir lavere effekt enn krystallinsk silisium. Opp til 12%. Ofte benyttet til kalkulatorer og lignende.

2.2.2 2. generasjon

2. generasjons celler blir ofte kalt tynnfilm celler. De er bare noen få mikrometer tykke. Disse festes på store billige materialer som glass, metall eller polymer.

Det er 3 typer 2. Generasjons solceller som er blitt kommersielt utviklet:

- Amorphous silicon (a-Si og a-Si/ μ c-Si)
- Cadmium Telluride (Cd-Te)
- Copper-Indium-Selenide(CIS) og Copper-Indium-Gallium-Diselenide(CIGS)

Det er noen vesentlige forskjeller mellom 1. og 2. generasjons solceller. Den

største forskjellen er at

halvleder materialet i 2.

generasjons celler har

et direkte *band gap*, i

motsetning til 1.

generasjons cellene

som har et indirekte

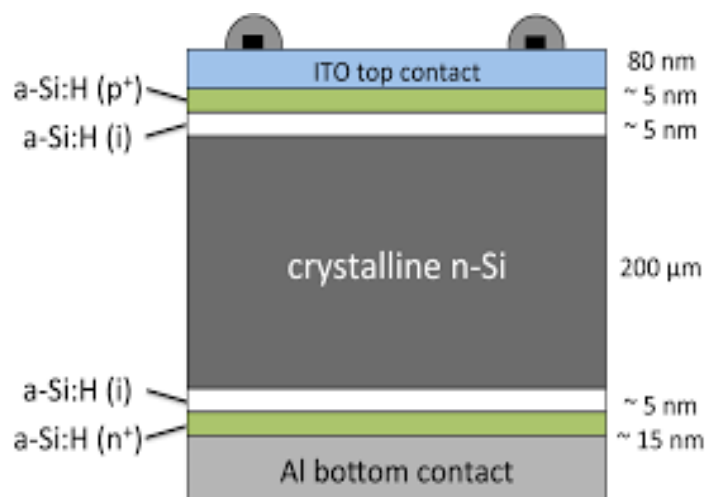
band gap. Tynnfilm

celler har et topplag av

et materiell med et

stort band gap. Dette

laget vil absorbere fotonene fra stråler med høy energi.



Figur 4 Oppbygging av en solcelle (Wikipedia, 2015)

Et bunnlag som består av materiell med et lite band gap absorberer fotonene fra stråler med lavere energi. Designet gir en betydelig høyere effekt. Oppbygginge er illustrert i Figur 4.

CIGS cellene har den beste effektiviteten på 21,6%, CdTe har en effektivitet på 21,4% og amorphous silisium har en effektivitet på 11,8%. 2. generasjons solceller er billige å produsere, har høy effekt og kan lages fleksible. På den negative siden begynner noen av materialene å bli sjeldne, dyre og Kadmium svært giftig.

2.2.3 3. generasjon

3. generasjons solceller fremstod som et forsøk på å avvike fra ulempene ved 1. og 2. generasjons solceller. Den nye generasjonen benytter ikke samme metode med positive og negative ladede materiell, og det meste er ikke ennå benyttet kommersielt. 3. generasjons solceller dannes av bl.a. nanomateriell, konduktiv plast, solcelleblekk og organisk fargestoff. 3 viktige typer solceller i 3. generasjon er:

- Dye Sensitized (DSSC)
- Perovskite cell
- Organic (OPV)

Dye-sensitized solceller er ofte kalt Grätzel celler. Cellene er bygd av konduktivt glass som er delvis dekket av et stoff som inneholder små partikler av titan dioksid. Fargestoffmolekyler med fotoaktive egenskaper fester seg til titan dioksiden. Fargestoffet absorberer fotoner fra solstrålene og bruker energien til å løsne elektroner. Elektronene trekkes inn i titan dioksid og blir sendt videre av nanokrystallinsk titan dioksid. En kjemisk elektrolytt slutter sirkelen slik at elektronene føres tilbake til fargestoffet. Virkningsgraden for denne typen solceller er avhengig av mange faktorer, men det er oppnådd virkningsgrader på mer enn 12% ved bruk av flytende elektrolytter. Dette kan gi noen utfordringer som dårlig stabilitet, lekkasje, korrosjon og lignende (Ranabhat, Sofronova, & Lapshinsky, 2016).

Perovskite solceller lages av molekyler med samme krystalliske strukturen som perovskite mineralet (CaTiO_3). Strukturen blir representert som ABX_3 hvor A er et organisk kation, B er et ikke-organisk kation og X er et anion. På grunn av sin unike krystalliske struktur har perovskites en rekke interessante egenskaper som superkonduktivitet og magnetresistans. I 2012 ble de første perovskite cellene bygget med en effektivitet på over 10%. Senere har det blitt laget celler med en effektivitet på 20.1%. Den mest populære perovskite cellen har en teoretisk maksimum effektivitet på 31%, så det er gode muligheter for å konkurrere med c-Si i fremtiden (Clean Energy Insitute).

Organiske solceller er laget av fotoaktive stoffer som er oppløst i blekk, og kan printes på tynne ruller av plastikk. Foreløpig ligger effektiviteten på rundt 15%, noe som er lavt i forhold til krystallisk silisium. Fordelene er at solcellepanelene kan bøyes, de kan også lages relativt gjennomsiktige slik at de kan benyttes i vinduer og lignende (McGrath, 2018).

2.3 Valg av PV-teknologi til solar trackeren

I dette prosjektet fokuseres det på den potensielle vinningen av å bevege en solcelle med solen. Dette kan undersøkes ved å bruke hvilken som helst av de overstående PV-teknologiene, da det er differansen mellom et stillestående solcellepanel og et som beveger seg etter solen som skal måles. Det kan tenkes at noen av teknologiene egner seg bedre til dette konseptet enn andre, men disse forskjellene er sannsynligvis små.

Først og fremst ble det vurdert som fornuftig å velge en type som allerede er i kommersiell bruk. Av disse er krystallisk silisium de mest effektive. Fordi solar trackeren bare skulle være en liten modell kunne det vært greit å bruke en monocrySTALLINE solcelle, i og med at den gir høyere effekt per m^2 . Samtidig var det ikke planer om å benytte strømmen som ble generert til annet enn å måle den, og monocrySTALLINE solceller er dyrere enn polycrySTALLINE.

Førsteamanuensis Andrés Franklin Olivares Lopez foreslo derimot å benytte en Kipp & Zonen SP Lite2, som er et pyranometer. Pyranometeret var allerede benyttet til flere forsøk på høyskolen, og det var god kjennskap til denne. Dette ble et naturlig valg til denne oppgaven i stedet for et reelt solcellepanel, fordi å måle energien fra solstrålene, ikke utnytte den genererte strømmen, var målet i oppgaven.

3 Solar tracker

Som nevnt innledningsvis er ikke solar trackere et nytt konsept. En solar tracker er en enhet som følger solens bevegelse. Ved å følge solens bevegelse vil solcellepanelet fange energi fra flere solstråler enn et solcellepanel som står fast montert i en vinkel. Solar trackere kan øke energien fra solcellepanelet betydelig, avhengig av lokasjon, type solar tracker og design. Solar trackere deles inn i to hovedkategorier; passive og aktive system.

3.1 Passive system

Passive trackere benytter seg av et fluid med lavt kokepunkt. Fluidet blir drevet til den ene eller den andre siden ved hjelp av varme fra solen som skaper trykk i fluidet. Dette skaper et ikke veldig presist system, men kan fortsatt bidra til en høyere effekt.

Fordelene med denne type trackere er at det er svært få komponenter involvert, noe som minsker risiko for feil og behov for vedlikehold. Ulempene er at systemet ikke er veldig presist, og det er en fare for at panelet ikke følger solen godt på morgenen før fluidet er tilstrekkelig varmet opp. Å installere slike trackere kan være en utfordring i seg selv.

3.2 Aktive system

Aktive trackere er system for å følge solen som benytter seg av elektriske sensorer, motorer eller aktuatorer. Det finnes 2 underkategorier av aktive tracking system:

- Single Axis tracker
- Dual Axis tracker

3.2.1 Single Axis tracker

Single Axis trackere kan bevege seg rundt en enkelt akse. Vanligvis er denne aksene parallell med geografisk nord-sør meridian, slik at den beveger seg med solen fra øst til vest i løpet av dagen. Det finnes flere ulike implementeringer av single axis trackere. Deriblant horizontal single axis trackers(HSAT), horizontal single axis trackers with tilted modules(HTSAT), vertical single axis trackers(VSAT), tilted single axis trackers(VTSAT) og polar-aligned single axis tracker.

Horizontal single axis tracker (HSAT)

Horizontal single axis trackers er den mest utbredte typen single axis trackers. Rotasjonsaksen plasseres horisontalt i forhold til bakken, den kan ofte deles med flere PV-moduler for lavere kostnader. Denne typen tracker gav i en ytelsesanalyse utført ved flere solcelleparker i India et årlig gjennomsnitt på minimum 17% mer generert strøm enn fast installert tiltede PV-moduler (Basher, 2016). Denne typen single axis trackere er best egnet for områder med lav latitude. HSAT er avbildet i Figur 5.



Figur 5 Horizontal single axis trackers i Vellakoil, India (Wikipedia, 2014)

Horizontal single axis tracker med tiltede moduler (HTSAT)

På en HSAT er modulene installert flatt på rotasjonsaksen. På en HTSAT derimot er modulene installert med en vinkel i forhold til rotasjonsaksen. Metoden

fungerer godt på lokasjoner med en litt høyere latitude enn hvor det benyttes HSAT. Rotasjonsaksen beveger seg fra øst til vest slik som en HSAT.

Vertical single axis tracker (VSAT)

En VSAT har en rotasjonsakse som er vertikal i forhold til bakken. VSAT er best egnet til områdene med høyest latitude og i fjellområder.

Vertical single axis tracker med tiltede moduler (VTSAT)

VTSAT har en rotasjonsakse vertikalt i forhold til bakken, men modulene er fastmontert med en vinkel opp fra bakken (DCE Solar, 2015).

Polar-aligned single axis tracker (PASAT)

PASAT er en versjon av single axis trackere hvor tilt-vinkelen er den samme som latituden til installasjonen. Trackeren vil da rotere rundt samme aksene som Jorden. PASAT er sjelden brukt på grunn av sin høye vindprofil.

3.2.2 Dual axis tracker

Dual axis trackers beveger seg etter solen i to akser. Det vil si at den bruker mer strøm for å følge solen, men dersom den er godt designet vil den kunne utnytte mer av sollyset.

Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT)

En tip-tilt tracker har sin primære akse parallelt med bakken. Den sekundære aksene er typisk plassert som normalen til den primære aksene.

Azimuth-altitude dual axis tracker (AADAT)

Forskjellen mellom en tip-tilt tracker og en azimuth altitude tracker er den primære aksens forhold til bakken. En azimuth altitude tracker har en primærakse vertikalt i forhold til bakken.

3.3 Hvilket system skal konstrueres i denne oppgaven?

Generelt er single-axis trackere de mest benyttede typen trackere. Dual axis vil gi en mye høyere presisjon, men det inngår flere komponenter; noe som gir større rom for feil og større behov for vedlikehold. For å avgjøre hvilket system som burde benyttes må det tas hensyn til en rekke variabler. Blant annet latitude, terreng, værforhold, areal, energibehov og budsjett.

Ifølge et omfattende studie utført i en rekke byer i Europa og Asia viste det seg at alle byene fikk mer energi ut av solcellepanelet ved bruk av dual axis solar trackere. Benyttes det single axis trackere er det mulig å få tilsvarende energiutbytte dersom du velger vertical axis solar trackere og helling endres etter årstid. Dette gjelder for byer med latitude mellom 57 og 64 (Bahrami, Okye, & Atikol, 2016). Haugesund har en latitude på 59,41378 (LatitudeLongitude.org), noe som gjør sistnevnte til et godt alternativ for Haugesund.

I denne oppgaven skal det konstrueres en dual axis solar tracker, som skal testes i Haugesund høsten 2018. Årsaken til at valget havnet på en dual axis tracker er for å skape en større utfordring når det kommer til konstruksjon og programmering av trackeren. Den primære aksene vil være parallell med bakken, noe som gjør at den kan identifiseres som en tip-tilt dual axis tracker.

4 HMS og risikovurdering

Solenergi er har generelt et godt omdømme når det kommer til helse og miljø. Energien er fornybar, de har ingen utslipp ved normal drift og har relativt god levetid. Den største risikoen for helse og miljø i disse systemene er noen av materialene som brukes til å produsere solceller. I tillegg til dette kan anleggene ta opp store områder i naturen og forstyrre dyreliv. Dersom energien fra solcellene blir lagret på batteri utgjør dette en risiko for brukere, miljø og eventuelt dyr da det kan være snakk om store strømmer, og batteri kan inneholde farlige stoffer.

4.1 Substanser benyttet i solcellepanel

Giftige og sjeldne substanser er et problem ved bruk av 2. generasjons PV-teknologi. Her blir det spesifikt trukket frem Kadmium som er et svært giftig stoff, dette blir benyttet i Cadmium-Telleride solceller. Kadmium er et tungmetall som hopper seg opp i kroppen og kan gi nyreskader. Kadmium som slippes ut i miljøet er et stort problem da det hopper seg opp i dyr, som senere blir konsumert av mennesker (Folkehelseinstituttet, 2015).

På noen solceller blir det benyttet sink sulfid som et anti-refleksjonslag før halvleder materialet. Sink sulfid er ikke oppløslig i vann og kan være en fare for miljøet. Sink sulfid binder seg til proteiner og organiske syrer i planter. Dette kan påvirke vekst, og skade cellene i planter (Boone, Bond, Buhl, & Stone, 2012).

Solceller laget av silisium er de mest populære solcellene (1. generasjon). Silisium er et grunnstoff som ikke regnes som en fare for miljøet, men forskning viser at det kan knyttes til en del helseproblemer. Krystallinsk silisium irriterer øyne og hud ved kontakt, det er også svært skadelig å inhalere. Eksponering for silisium krystallinsk (spesifikt kvarts og cristobalitt) er i studier av gruvearbeidere, murere og lignende yrker knyttet opp mot blant annet lungekreft, silikose og nyre- og immunologiske sykdommer. Disse problemene kan i stor grad elimineres ved bruk av personlig verneutstyr og gode arbeidsforhold.

4.2 Utslipp

Under normal drift vil ikke solcellepanel eller solar trackers gi noen form for utslipp. En påvirkning av miljøet vil likevel vise seg dersom livsløpet til solcellene analyseres sammen med andre komponenter som kreves for å produsere solar trackers og solcellepanel.

Produksjon

I en studie som tok for seg energiforbruk og utslipp ved produksjon av mono- og polycrystalline solceller viste det seg at tiden som brukes for å tjene inn igjen energien benyttet til å produsere solceller har økt betraktelig de siste årene. Resultatene viste at poly-Si solceller brukte om lag ett år, og mono-Si brukte litt over et år (2015). Deretter har solcellepanelene vanligvis en levetid på 30 år, noe som gir et godt overskudd av energi i forhold til forbruk ved produksjon.

Drivhusgassutslippene ble regnet til å ligge på 20 g CO₂ per kWh for poly-Si og rundt 25 g CO₂ per kWh for mono-Si. På 1970-tallet var dette tallet så høyt som 200 g CO₂ per kWh, så her har det skjedd betydelige forbedringer (Faaij, Louwen, Sark, & Schropp, 2016). Tallet har også sannsynligvis sunket siden 2015. Til sammenligning har produksjon av energi ved bruk av kull et utslipp på 1119 g CO₂ per kWh (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018).

Komponenter som benyttes til å konstruere solar trackers vil også ha utslipp ved produksjon. For eksempel batteri, servoer, sensorer og annet materiell. Utslipet bestemmes av type utstyr, dimensjon og transport, og kan være ganske variert.

Destruksjon

Et av de største utfordringene ved bruk av solceller er håndtering av dem som avfall. EU er de eneste i verden (per 2017) som har direktiv som krever at produsenter av solceller skal ta i mot og destruere avfall relatert til solenergi. Eksempelvis Japan og California, som er to av de største forbrukerne av solcellepanel, har ikke restriksjoner for trygg avfallshåndtering. En undersøkelse utført av Environmental Progress viste at solcellepanel resulterte i 300 ganger mer giftig avfall per energienhet enn atomkraftverk (Desai & Nelson, 2017).

Dette er et stort problem også med andre typer EE-avfall i store deler av verden, og kan derfor være et større problem ved et solar tracker system som kan inneholde flere elektriske komponenter.

4.3 Forskrifter og normer

Alle elektriske anlegg i Norge med en maksimal spenning på under 1500 V likespenning eller 1000 V vekselspanning vil falle under *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)*. De fleste solcelleanlegg vil være i denne kategorien, inkludert solar trackeren som konstrueres i denne oppgaven.

Standarden for elektriske lavspenningsanlegg, NEK 400, vil også være gjeldende for denne typen anlegg. I NEK 400 er det en betydelig utvidet del angående solcelleanlegg som trådte i kraft 01.juli 2018.

Solar trackeren er bygget i henhold til FEL (Justis- og beredskapsdepartementet, 1998) og NEK 400:2018 (Norsk elektroteknisk komite, 2018).

4.4 Risikovurdering

Konstruksjonen av solar trackeren i denne oppgaven utgjør generelt liten risiko. Maksimal spenning på anlegget er 5 V og strømmen er også svært lav, det blir ikke benyttet noe tungt maskineri eller verktøy. En risikovurdering er allikevel gjennomført og tatt hensyn til i arbeidet.

Risikovurderingen er utarbeidet basert på Arbeidstilsynet sine bestemmelser. Det er benyttet maler fra Arbeidstilsynet sine hjemmesider (Arbeidstilsynet, 2017).

4.4.1 Kartlegging av risiko

Virksomhet/avdeling e.l.:

Høgskolen på Vestlandet

Ansvarlig leder:

Jenny Sagvaag

Skjema 1 av 3.

1: Kartlegging av risiko

2: Risikodiagram

3: Handlingsplan

Dette skjemaet brukes til å dokumentere farer og problemer som er kartlagt. Her vurderes hvor ofte farene eller problemene inntreffer og konsekvens dersom det skjer. Hvem som er ansvarlig for vurderingen og dato for når den ble gjort er også dokumentert.

Nr.	Hva kan gå galt?	Beskriv konsekvensen hvis det skjer	Hvor ofte skjer det	Konsekvens	Kommentar	Vurdert av/dato
1	Batteri kan eksplodere	Skader på materiell, brannskade, kuttskader, eksponering for avgasser	Sjelden	Mindre alvorlig		JS/9-12-18
2	Uhell ved bruk av kniv, skrujern, fil osv.	Kuttskader	Ofte	Mindre alvorlig		JS/9-12-18
3	Uhell ved bruk av vinkelsliper	Kuttskader, brannskader, innhalering av partikler, øyeskader	Sjelden	Alvorlig		JS/9-12-18
4	Dårlige arbeidsstillinger	Rygg- og nakkeproblemer.	Svært ofte	Mindre alvorlig		JS/9-12-18
5	Psykisk overbelastning	Nedsatt almenntilstand og effektivitet	Sjelden	Alvorlig		JS/9-12-18

4.4.2 RISIKODIAGRAM
Virksomhet/avdeling e.l.:

Høgskulen på Vestlandet

Ansvarlig leder:

Jenny Sagvaag

Skjema 2 av 3.

1: Kartlegging av risiko

2: Risikodiagram

3: Handlingsplan

Farer og problemer i skjemaet er plassert basert på vurderingen av hvor ofte de inntreffer og hvor alvorlige de er. Samme nummerering er brukt som i skjema for kartlegging og risikovurdering.

		RISIKODIAGRAM			
Sannsynlighet	Svært ofte		4		
	Ofte		2		
	Sjelden		1	3 og 5	
	Svært sjelden				
		Ubetydelig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig
		Konsekvens			

4.4.3 HANDLINGSPLAN

Virksomhet/avdeling e.l.:

Høgskulen på Vestlandet

Ansvarlig leder:

Jenny Sagvaag

Skjema 3 av 3.

1: Kartlegging og risikovurdering

2: Risikodiagram

3: Handlingsplan

Her dokumenteres tiltak for å redusere risikoen. Samme nummerering er brukt som i skjema for kartlegging, risikovurdering og risikodiagrammet. Farer eller problemer som inntreffer ofte/svært ofte med en alvorlig/svært alvorlig konsekvens prioriteres først.

Nr.	Kort beskrivelse av faren/problemet	Prioritering	Tiltak for å redusere risikoen	Ansvarlig(e)	Tidsfrist
1	Batteri kan eksplodere hvis det utsettes for varme eller trykk	1	Håndtere batteri med respekt, fjerne varmekilder eller utstyr som kan falle på batteriet.	Jenny Sagvaag	NA
2	Skader som følge av uforsiktig bruk av kniv, skrujern, avbiter og lignende.	3	Bruke rett verktøy og rett dimensjon til de ulike oppgavene. Arbeide på stabilt underlag.	Jenny Sagvaag	NA
3	Skader som følge av uforsiktig bruk av vinkelsliper.	1	Feste objekt godt, bruke personlig verneutstyr.	Jenny Sagvaag	NA
4	Belastningskader i rygg og nakke som følge av dårlige arbeidsstillinger.	3	Arbeid ved tilrettelagt pult, bruk god stol. Veksle mellom å stå å sitte.	Jenny Sagvaag	NA
5	Psykisk overbelastning som følge av arbeidsrelatert stress	2	Ta korte hyppige pauser, spør om hjelp når det dukker opp problemer.	Jenny Sagvaag	NA

5 Algoritme for solposisjon

Som nevnt i innledningen skal bevegelsesmønsteret til solar trackeren bestemmes ut ifra en algoritme dersom 4 monterte fotodioder ikke får tilstrekkelig solstråling til å bestemme solens posisjon. Slike tilfeller kan oppstå dersom noe blir plassert nær solar trackeren og skygger for fotodiodene, det er skydekke foran sola, eller det samler seg støv over fotodiodene. I dette kapitlet forklares fremgangsmåten og resultatet i arbeidet med å utarbeide og programmere algoritmen.

5.1 Programmering av algoritme

For å programmere en algoritme for solposisjon ble organisasjonen ITACA sin nettside brukt. Nettsiden beskriver ligninger for å numerisk finne posisjonen til solen, og forklarer sammenhengene mellom dem (ITACA). Informasjonen ble også sjekket opp mot en bok innenfor temaet (Duffie & Beckman, 2013).

Verdiene som trengs for å styre en dual axis tracker er azimuth og altitude. For å finne disse to verdiene må longitude og latitude til stedet trackeren skal plasseres implementeres i algoritmen. I dette tilfellet ble koordinater for Haugesund benyttet.

5.1.1 Soltid

For å regne ut vinkler relatert til Solen brukes begrepet *soltid*, da lokal tid ikke sammenfaller med solens bevegelser. *Solar noon* er tidspunktet solen står midt på himmelen ved observatørens lokasjon. For å konvertere lokal tid til soltid brukes formelen (Duffie & Beckman, 2013):

$$\text{Soltid} - \text{Standard tid} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E$$

Hvor L_{st} er meridian for den lokale tidssonen, L_{loc} er den lokale longituden og E er *the equation of time*.

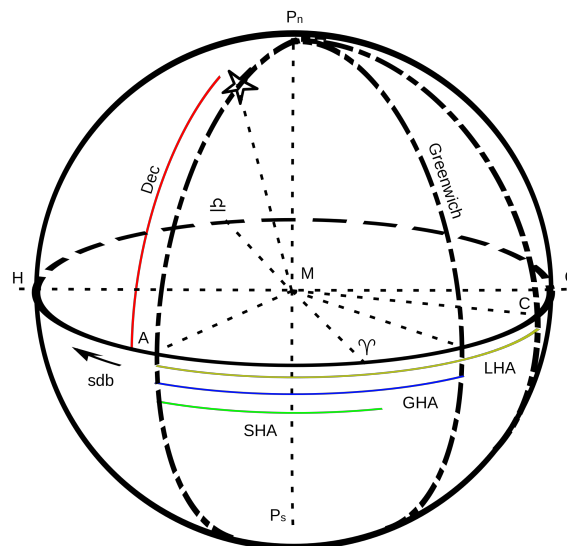
The equation of time er differansen mellom solar noon og kl. 12.00. For å beregne denne er det benyttet følgende formel:

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B)$$

hvor: $B = (n - 1) \frac{360}{365}$ og n antall dager fra 1. Januar det aktuelle året, inkludert inneværende dag.

5.1.2 Deklinasjonsvinkel

Deklinasjonsvinkel er, som nevnt i kapittelet om jordens geometri, vinkelen mellom jordens rotasjonsakse og jordens vertikale akse i forhold til banen den følger rundt solen. Vinkelen endres $\pm 23,44^\circ$ i løpet av året. Deklinasjonsvinkelen illustreres i Figur 6.



Figur 6 Den røde linjen markerer den aktuelle deklinasjonsvinkelen, sett at stjernen er solen (Wikipedia, 2009)

For å regne ut deklinasjonsvinkelen i radianer brukes formelen:

$$\delta = 23,45 \frac{\pi}{180} \sin\left(2\pi \left(\frac{284 + n}{365,25}\right)\right)$$

Hvor δ er deklinasjonsvinkelen i radianer, og n er antall dager siden 1. Januar. Denne formelen måtte implementeres i Matlab for å bruke verdien videre til å regne ut azimuth og altitude.

5.1.3 Timevinkel

Timevinkelen er avhengig av tidspunkt på dagen, deklinasjonsvinkel og azimuth. Vinkelen er 0° ved solar noon, den endrer seg med $+15^\circ$ hver time før solar noon og -15° for hver time etter solar noon. Kan finnes ved bruk av formelen:

$$\sin \omega = \frac{\cos \alpha \sin A_z}{\cos \delta}$$

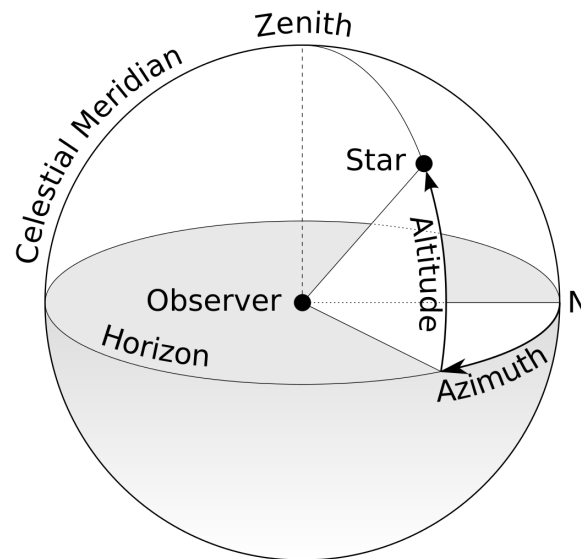
Hvor ω er timevinkelen, α er altitude vinkel, A_z er azimuth vinkel og δ er deklinasjonsvinkel. I algoritmen ble det benyttet en if-else løkke basert på soltid. Timevinkel for soloppgang og solnedgang finnes ved å bruke formelen:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

Hvor ϕ er lokal latitude, og de øvrige symbolene er de samme som i forrige ligning. Denne vinkelen ble benyttet til å bestemme tidspunkt for når algoritmen skal benyttes, slik at den ikke regner på vinkler når solen ikke er tilstede.

5.1.4 Altitude og zenith vinkel

Altitude vinkelen (eller elevation angle) beskriver hvor høyt på himmelen solen står. Vinkelen måles mellom horisontal bakke og en imaginær linje fra observatøren til solen, som vist i Figur 7.



Figur 7 Illustrasjon av azimuth vinkel og altitude vinkel (Wikipedia, 2011)

Altitude vinkelen er ønsket vinkel fra horisontal bakken og normalen til solcellepanelet festet på en solar tracker. På denne måten fanges direkte sollys som resulterer i bedre utbytte av solstrålene. Dess større avvik normalen til solcellepanelet har i forhold til altitude vinkelen, dess mindre blir effekten. Zenith vinkelen er vinkelen mellom normalen til bakken og den imaginære linjen fra observatøren til solen. Den kan beskrives som:

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta)$$

Altitude vinkelen kan deretter finnes ved:

$$\theta_A = 90^\circ - \theta_z$$

Hvor θ_z er zenith vinkel, ϕ er lokal latitude, δ er deklinasjonsvinkel, ω er timevinkel og θ_A er altitude vinkel.

5.1.5 Azimuth vinkel

Azimuth vinkelen beskriver hvilken retning solen har horisontalt. Vinkelen kan beskrives fra sør mot vest, eller fra nord mot øst. I denne oppgaven benyttes nord som referansepunkt. Dersom solen står direkte øst for observatøren er azimuth vinkelen 90° , direkte sør gir en vinkel på 180° og vest gir 270° . Vinkelen er illustrert i Figur 7. Azimuth vinkelen er ønsket vinkel horisontalt for solcellepanelet på en solar tracker.

Azimuth vinkelen til solen kan regnes ut slik:

$$\gamma_s = \text{sign} \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \phi} \right) \right|$$

Hvor γ_s er azimuth vinkel. De resterende symbolene er beskrevet i kap. 5.1.4.

5.2 Implementering i Matlab

For å regne ut azimuth og altitude vinklene i Matlab måtte alle de overstående verdiene regnes ut med aktuell lokasjon. Algoritmen brukes i et script for styring av solar trackeren dersom fotodiodene ikke får tilstrekkelig sol.

6 Konstruksjon av solar tracker

Selve design og bygging av solar trackeren var utfordrende. Nødvendige komponenter måtte anskaffes, material og design avgjøres og konstrueres, før alt kunne bygges og kobles opp. I dette kapitlet beskrives fremgangsmetoden og tankegangen bak det endelige produktet.

6.1 Komponenter

Først og fremst måtte komponentene som var nødvendige for å bygge en solar tracker identifiseres og bestilles. Fordi det skulle bygges et dual axis system behøvdes to motorer eller servoer, en for hver akse, en komponent for å måle solstråling, noe som indikerte hvilken vei trackeren måtte bevege seg for å være rettet mot solen, og en hjerne for å styre operasjonen. Det endte opp med følgende hovedkomponenter:

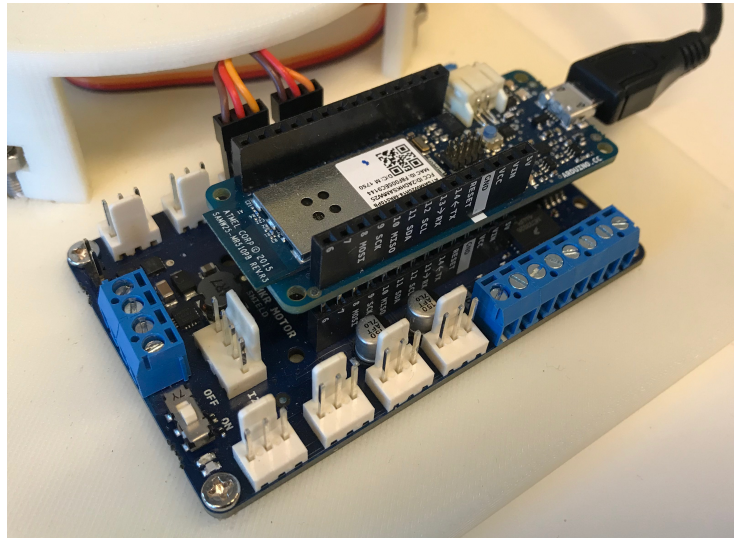
- 1 stk Arduino MKR 1000
- 1 stk Arduino MKR motor carrier
- 2 stk 180° servo
- 4 stk fotodioder
- 1 stk pyranometer

6.1.1 Arduino MKR 1000 og MKR motor carrier

Arduino er en open-source elektronisk plattform. De tilbyr en rekke ulike hardware plattformer og software for å programmere plattformene, samt mengder av informasjon og kurs for å lære hvordan systemene benyttes. Plattformene er relativt enkle å forstå og bruke, de er derfor populære blant hobby-teknikere, studenter, utviklere og lignende. De har et bredt anvendelsesområde og kan tilpasses mange systemer, dette gjorde Arduino til et godt alternativ for å bygge en solar tracker.

Planen var først å benytte en Arduino UNO og programmere denne i Arduino IDE. Etter hvert kom idéen om å benytte Matlab for å programmere Arduino, for å få tilgang til Matlab sine analyseverktøy. Undersøkelse på internett viste at

Matlab og Arduino hadde i et samarbeid utviklet Arduino Engineering Kit. Dette settet inneholdt utstyr for 3 ulike roboter som kunne programmeres i Matlab og styres av Arduino. Kittet inneholdt en Arduino MKR 1000, en Arduino MKR motor carrier og et Arduino IMU shield samt servoer, diverse sensorer, motorer, batteri og byggesett for de ulike robotene. Settet ble bestilt inn og vurdert som det beste alternativet for oppgaven.



Figur 8 Arduino MKR 100 plassert på en MKR motor carrier, 10. Desember 2018

Arduino MKR 1000 (Figur 8) opererer med en 32-bits prosessor. Den har Wifi og cryptochip for sikker tilkobling. MKR 1000 kjører med en spenning på 3,3 V, dette er også de høyeste verdiene I/O pinnene på brettet kan ta imot. Plattformen forsynes med 5 V Micro USB, det kan også kobles til en ekstern strømforsyning i form av et Li-Po batteri. På grunn av at MKR 1000 har en forhåndsinnstilt ladekapasitet på 350 mAh må Li-Po batteriet ha en kapasitet på minimum 700 mAh. Mindre celler kan i verste fall overhetes og eksplodere, batterier med større kapasitet kan benyttes. Brettet vil automatisk veksle mellom strømforsyningene. Plattformen har 6 analoge innganger, 4 PWM digitale I/O og 8 vanlige digitale I/O; tilstrekkelig for de nødvendige komponentene.

Arduino MKR motor-carrier (Figur 8) er et "add-on" produkt for MKR 1000 som er designet for å kjøre motorer og servoer. Plattformen inneholder to MC33926

motor drivere, dette tillater MKR 1000 å kontrollere induktive laster opp til 5 A peak.

MC3392 er en H-bro integrert krets som gjør det mulig å endre polariteten til spenningen tilført en last. Dette gjør det mulig å kjøre en DC-motor forover og bakover. Den kan også gi ut PWM (Pulse Width Modulation) med frekvenser opp til 20 kHz. Plattformen inneholder også to DRV8871 drivere som også er H-bro integrerte kretser men med en maksimum peak på 3 A. Motor-carrieren kan gi ut en spenning fra 6,5 V til 20 V.

Når MKR motor-carrieren benyttes må det kobles til en ekstern strømforsyning for å få nok energi til motor driverene og motorer/servoer. I dette tilfellet ble det brukt et 800 mAh Li-Po batteri, som fulgte med i Arduino Engineering Kit.

Servoer samt noen analoge innganger kan kobles opp ved hjelp av 3-pins konnektorer. Det finnes 4 utganger for servomotorer og 4 for analoge innganger. I tillegg til dette finnes det 4 utganger for motorer og 2 for enkodere.

Ved bruk av MKR motor-carrier blir noen av inngangene i MKR 1000 benyttet som feedback fra motor-carrieren, og kan derfor ikke lenger benyttes til andre formål. Det mest vesentlige i dette tilfellet er at antall analoge innganger reduseres fra 7 tilgjengelige innganger til 5.

6.1.2 Servo

For å få bevegelse i solar-trackeren stod valget mellom motorer og servomotorer. Servomotor er et lukket-sløyfe system som består av en motor og en sensor som gir tilbakemelding angående posisjonen til motoren. En kontroller gjør det mulig å posisjonere motoren i den vinkelen som er ønskelig. Ulempen er at de fleste servomotorer ikke kan rotere 360°, men er begrenset til 180°. De er ikke gunstige for å rotere objekt, spesielt ikke i store hastigheter. For å kontrollere den angulære posisjonen til et objekt er de derimot nyttige. Det er utviklet servomotorer som kan bevege seg mer enn 180°, men det mest vanlige er fortsatt 180°. Det er uheldig ved styring av noe som skal tilsvare vinkelutslaget til azimuth vinkelen, da denne vinkelen kan overstige 180°.

Motorer gir mulighet for å endre retning og hastighet uten noen innebygd form for tilbakemelding. Det ble besluttet at en servomotor var et bedre valg enn en motor i dette tilfellet..

Det ble benyttet to ulike servoer tilhørende to Arduino sett. En servo med metallgir og en med plastgir, med relativt like dimensjoner. Det optimale hadde selvsagt vært å benytte to like servoer, men med tanke på tid ble dette den beste løsningen.

6.1.3 Fotodioder

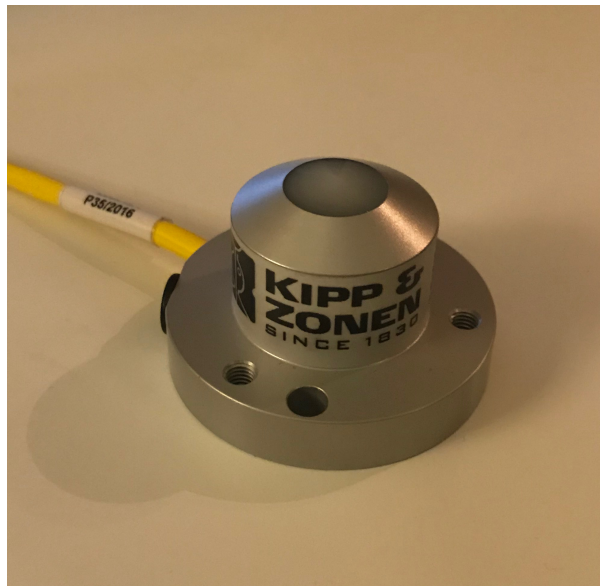
For å bestemme hvilken retning pyranometeret må beveges for å få direkte sollys måtte det benyttes sensorer som reagerte på solstråling. Det ble valgt å bruke 4 slike sensorer slik at to og to kunne sammenlignes og gi en tilbakemelding om retning. 2 for å bestemme om altituden måtte økes eller minkes, og 2 for å bestemme om azimuthen må endres mot høyre eller venstre. Teoretisk sett hadde det gått an å benytte seg av 3 sensorer jevnt fordelt i en sirkel, men det ble valgt å benytte seg av 4 for enklere programmering.

Tanken var å plassere de 4 sensorene med lik avstand fra midten av pyranometeret og sammenligne verdiene fra 2 og 2 par. Dersom en av fotodiodene registrerte høyere strålingsintensitet, må pyranometeret beveges mot den siden.

Valget stod mellom å bruke fototransistorer eller fotoresistorer. Fotoresistorer reagerer tregt og er ikke alltid så presise. Førsteamanuensis Andrés Franklin Olivares Lopez anbefalte en fotodiode han hadde benyttet til formålet tidligere, og hadde liggende på høyskolen. Fotodioder og fototransistorer kan begge brukes til å måle lys, men fototransistorer er ofte mer sensitive på grunn av forsterkningen fra transistoren. En fototransistor hadde derfor vært et like bra, eller bedre alternativ. Fordelen med fotodioden var at den var lett tilgjengelig og erfaring med den var allerede etablert ved høyskolen. Det ble derfor bestilt inn 3 nye fotodioder av typen PIN S1223.

6.1.4 Pyranometer

Som nevnt i kapittel 2.3 ble det avgjort tidlig at det skulle benyttes et pyranometer i stedet for et solcellepanel for å måle solstråling for solar trackeren. På denne måten måles intensiteten av solstrålene, i stedet for en bruksstrøm fra et ordinært solcellepanel som er basert på størrelsen av panelet. På grunn av mindre størrelse gjorde det også arbeidet med å utvikle solar trackeren enklere da det var snakk om mindre areal og masse den skulle bære.



Figur 9 Kipp & Zonen SP Lite2, 23. November 2018

Pyranometer brukes for måle total solstråling inn mot jorden. SP Lite2, som vist i Figur 9 er spesielt utviklet for å overvåke solstråling i områder der det skal eller blir benyttet PV-moduler til å produsere strøm. Den består av en fotodiode og gir ut et spenningssignal som er proporsjonelt med solstrålingen. Pyranometeret detekterer stråling med en bølgelengde mellom 400-1100nm, som er omtrent det maksimale spekteret til en typisk c-Si solcelle.

6.2 Plattform for solar tracker

Design og konstruksjon av plattformen til solar trackeren krevde en del prøving og feiling. Først ble det vurdert hvilket material den skulle lages i. Valget stod mellom metall, tre og plast. Metall krevde mye presisjonsarbeid, verktøy og er et ledende materiale. Tre var en god mulighet, men valget falt på å 3D-printe delene i plast. Det ble brukt Autodesk Inventor 3D for å tegne opp modellene. Modellene ble skrevet ut på høyskolens 3D-printer.

Idéen til designet er basert på et byggesett for en solar tracker av Brown Dog Gadgets (Brown Dog Gadgets). Deres modell er bygget i tre, og inneholder flere deler enn modellen som ble skrevet ut i plast.

Å få dimensjonene på modellene riktige var en utfordring, og ble tidkrevende. 3 ulike modeller ble skrevet ut og kastet før den endelige modellen var ferdig. Deler av årsaken til dette var byttet fra 360° servomotorer til 180°servomotorer, da disse hadde helt ulike dimensjoner.

6.3 Software

Det enkleste valget hadde nok vært å bruke Arduino IDE som programmeringsplattform. Det som ble avgjørende var at forhåndskunnskapen med programmering i Matlab var betydelig høyere, det er også flere muligheter i Matlab. Da det ble klart at det fantes et Arduino Kit utviklet for samarbeid mellom programmeringsplattformene ble valget enklere.

Arduino MKR 1000 ble derfor programmert gjennom Matlab. For at Matlab skal kunne kommunisere med Arduino må Arduino IDE være installert på datamaskinen. Matlab kan analysere store mengder data, noe som var praktisk når solar trackeren skulle testes. I tillegg til Matlab og Arduino IDE måtte det installeres *MATLAB support package for Arduino Hardware* for å kunne sende ut signal til Arduino MKR og *Matlab Engineering Kit Hardware Support* som trengs for å benytte Arduino MKR motor carrier.

Etter at disse programmene er installert vil det være mulig å benytte Matlab for å programmere Arduino MKR 1000. Før et program som benytter Arduino hardware skal kjøres første gang, bør kommandoen *arduinsetup* kjøres. Da dukker det opp et vindu hvor type brett, inngangsport og annen relevant info til hardwareoppsettet ditt verifiseres. Denne kommandoen aktiverer Arduino IDE, det er derfor viktig å ikke ha program eller tilkobling aktivt i Arino IDE når program kjøres gjennom Matlab, det kan oppstå problemer med tilkoblingen.

For å kunne benytte inn- og utganger fra Arduino hardware må det benyttes kommandoer laget for Arduino. Disse er godt beskrevet i Arduino Engineering Kit sitt online kurs, men kurset er kun tilgjengelig med aktiveringskode. Det finnes også en del dokumentasjon i Matlab sin søkebase, men denne er begrenset.

6.4 Oppkobling

6.4.1 Servomotorer

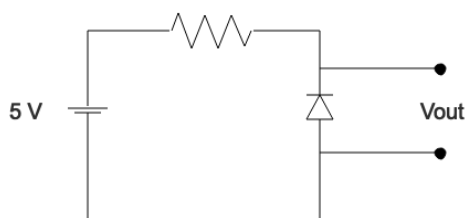
Servomotorene var tilsynelatende enkle å koble og å programmere. En tre-pin-plugg fra hver av motorene ble koblet direkte på MotorCarrier. Problemet oppstod under programmering. Det gikk fint å skrive kommando for å endre posisjonen til servomotorene, men kommandoen som skulle brukes til å lese av posisjonen ville ikke fungere. Dette var en standard kommando fra Matlab/Arduino som ikke skulle være et problem å implementere, det fantes også en rekke eksempler der denne kommandoen var brukt til å styre servomotorer koblet til MKR1000 gjennom Matlab.

Prøving og feiling viste at det var mulig å benytte denne kommandoen gjennom MKR1000 men ikke dersom du koblet til MotorCarrier. Dermed måtte tre-pin-pluggene kobles fra og det ble benyttet ledere til å koble til 5V og GND. Styling ble koblet direkte på en digital inngang/utgang i MKR1000.

6.4.2 Fotodioder

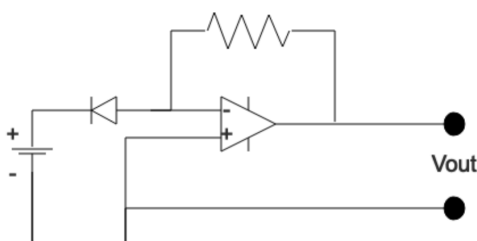
Neste komponent som måtte testes var fotodiodene, noe som var litt verre. Fotodiodene fungerer som strømgeneratorer, dvs. at de begrenser strømmen i kretsen når dioden er koblet i revers. Fordi de analoge inngangene i Arduino MKR1000 tar imot signal fra 0-3,3 V må spenningen fra fotodioden være proporsjonal med strømmen for å gi en indikasjon for lysstyrke.

For å endre spenningen proporsjonalt med strømmen kan det kobles en motstand mellom minuspolen til fotodioden og spenningskilden. Størrelsen på motstanden vil avgjøre utslaget i form av spenning per strømenhet. Med en større resistans vil utslaget øke. Dette illustreres i Figur 10



Figur 10 Kobling for fotodiode; Alternativ 1, 13. Desember 2018

En annen mulighet er å koble til en operasjonsforsterker som i Figur 11. Det gir mulighet for et enda større utslag av spenning per strømenhet. Ulempen er at det behøves et koblingsbrett som tar større plass enn én enkelt motstand. På bakgrunn av plassmangel ble det valgt å benytte motstander.



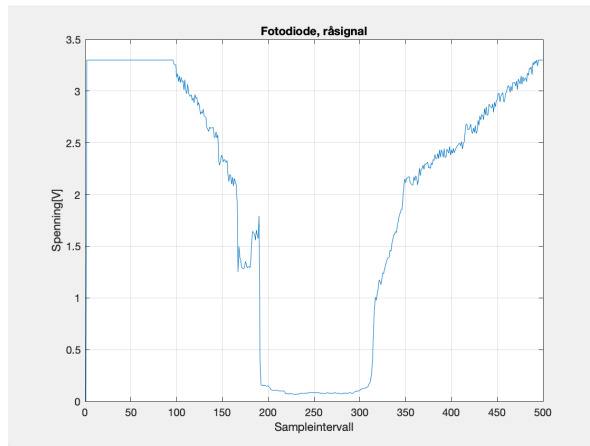
Figur 11 Kobling for fotodiode; Alternativ 2, 13. Desember 2018

6.4.3 Motstand

Se oppsett for test i Figur 12.

Figur 12 Oppsett for test av fotodiode, 2. mai 2019

Figur 13, Figur 14, Figur 15, gikk i metning når lyset var sterkest. Basert på disse målingene ble det vurdert at en motstand på 3,9 k Ω skulle benyttes.



Figur 13 Test av fotodiode med 12kohm motstand, 2. mai 2019

Figur 14 Test av fotodiode med 6kohm motstand, 2. mai 2019

Figur 15 Test av fotodiode med 3 kohm motstand, 2. mai 2019

6.4.4 Redusering av støy

6.4.5 Pyranometer

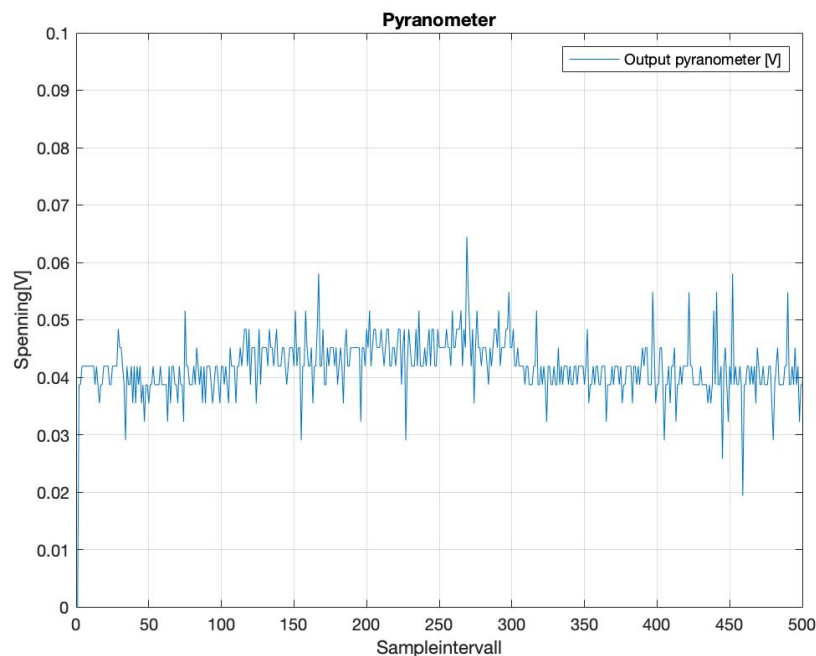
Pyranometeret gir en spenning ut. Verdien er et produkt av irradians og sensitivitet. For å finne irradians brukes følgende formel (oppgitt i datablad for pyranometer i Vedlegg):

$$E_{Solar} = \frac{U_{emf}}{S}$$

Hvor E_{Solar} er irradians [W/m^2], U_{emf} er spenning [μV] og S er sensitivitet [$\frac{\mu V}{W/m^2}$]. Sensitivitet bestemmes av atmosfæriske forhold. Den er proporsjonal med cosinus av innfallsvinkelen til strålingen. Denne vil typisk endre seg når det er mer skyer, regn, snø osv. da direkte solstråling blir redusert og diffus

solstråling øker (definisjonene er beskrevet i kapittel 2.1.2). Pyranometeret er kalibrert til å måle global horisontal innstråling, noe som vil si at den gir ut en total verdi for både diffus og direkte solstråling. Derfor er det kun nødvendig å ta hensyn til vinkelen mellom normalen til pyranometeret og observasjonsretningen til solen. Siden pyranometeret hele tiden skal rettes mot solen, vil denne vinkelen være 0° . Noe som gir oss en konstant sensitivitet.

Signalet fra pyranometeret ble testet og plottet i Matlab, resultatet kan sees i Figur 16. Det ble brukt samme lyskilde som i test av fotodiodene, og en hånd ble ført over for å se endring i signalet.



Figur 16 Signal ut fra pyranometer, 12. desember 2018

I Figur 16 vises en liten endring fra sampleintervall 100 til 300 da hånden var plassert over pyranometeret. Utslaget er svært lavt, noe som kan være problematisk for analyse av verdiene. Det er også en del støy på signalet, delvis på grunn av lyskilden som ble benyttet.

Originalt var planen å bruke Matlab til å håndtere signalene fra pyranometeret. Dette ble etterhvert revurdert da Arduino sine analoge innganger gav ulike signal for samme fotodiode med samme lyskilde under tester. 2 av de analoge



inngangene ble dermed ikke brukt for fotodiodene. Det var kun disse to igjen til bruk for pyranometeret, dermed ble det besluttet å heller benytte et multimeter av høy oppløsning og kvalitet til å måle signalene. Det ble brukt et Fluke 45 multimeter i stedet.

7 Test av solar tracker

I dette kapittelet beskrives hvordan solar trackeren ble testet og resultatet av testen. Hva som ble gjort for å utføre testene i henhold til den vitenskapelige metoden og hva som kunne blitt gjort annerledes for å få enda bedre og mer autentiske resultater.

7.1 Plassering av solar tracker

En vesentlig faktor for hvordan resultatene av testen ville bli var plassering av solar trackeren. Fordi azimuth-vinkelen kun kan endres 180° var det viktig å plassere trackeren slik at disse 180° ville fange opp mest mulig sol. For å få det til må solens bevegelsesmønster undersøkes. Hvordan solen bevegede seg den aktuelle dagen over området der testen ble utført kan du se i Figur 17.

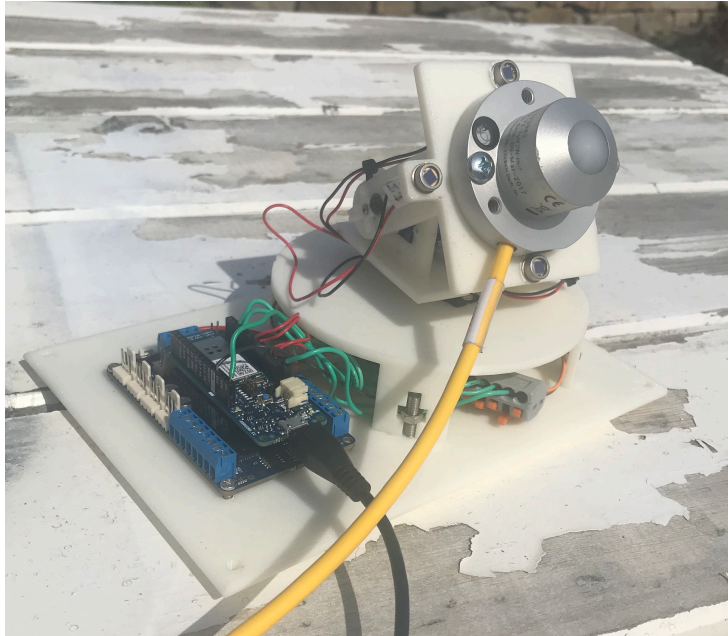
Den gule linjen illustrerer solens bane. Fordi det nærmet seg sommersolverv er solen oppe store deler av døgnet, den beveger seg mer enn 180° . Mot vintersolverv vil vinkelutslaget være mindre enn 180° . Solens azimuth vinkel måles fra nord, dvs. azimuth vinkelen er 180° når solen står mot sør.



Figur 17 Solens bevegelsesmønster over Rubbestadneset, 4. Mai 2019 (Hoffman, 2015).

Det sies at solen står opp i øst, og går ned i vest. Ikke en nøyaktig beskrivelse for hverdagen i Norge men det indikerer at solen stort sett befinner seg mellom øst og vest. Dersom solar trackeren plasseres mot øst og beveger seg mot vest oppnås maksimalt utslag med begrensningen på 180° . Det måtte tas hensyn til i programmet som skulle styre solen etter solalgoritmen. Ved å bruke direkte

verdier for solens altitude og azimuth vil solar trackeren måtte plasseres mot nord. Dersom azimuth vinkelen justeres med -90° kan den plasseres mot øst og får med seg langt mer av sollyset i løpet av en dag. Se solar tracker under test i Figur 18.



Figur 18 Solar tracker under test, 4. mai 2019.

Dermed ble det brukt et kompass til å rette solar trackeren mot øst. Det ble benyttet et vater for å sørge for at den stod horisontalt.

7.2 Utførelse og vurdering av testoppsett

Planene som ble lagt for testing av solar trackeren ble ikke realisert som ønsket. Planen var å ha tilgjengelig 2 pyranometer. En som skulle stilles opp som en fast installasjon, og en som skulle festes på solar trackeren og følge solen. Data skulle bli hentet fra begge pyranometerene samtidig fra samme lokasjon, og logges av en datarekorder. Deretter skulle dataene analyseres. På grunn av en del tidsforsinkelse var det kun ett pyranometer tilgjengelig, og ingen datarekorder. Dermed måtte disse ressursene brukes etter beste evne, og planen endres.

For å fortsatt få gode målinger til å sammenligne resultater mellom fast installasjon og solar tracker ble det avgjort at det skulle brukes 2 timer på test.

Hvorav 1 time ble brukt til å teste fast installasjon, og 1 time ble brukt til å teste solar trackeren. Dette er ikke en optimal metode å gjøre det på ettersom været kan endre seg mye fra en time til en annen. Dette ville selvsagt påvirke resultatene og ikke gi en god nok indikasjon på hva som fungerer best. Skulle dataene blitt gode nok burde det vært hentet inn data samtidig, fra samme lokasjon og over en langt lengre tidsperiode. Testperioden ble delt inn i 4. Første halvtimen ble solar trackeren testet, i den neste ble fast installasjon testet, så en ny halvtime med solartracker og til slutt en halvtime med fast installasjon.

Det positive med dette oppsettet er at samme pyranometer blir brukt i begge testene, noe som eliminerer en mulig feilkilde ved å benytte to ulike komponenter. Testene ble også utført ved nøyaktig samme lokasjon dvs. festet på solar trackeren, men retningen ble endret til tilsvarende optimal retning for en fast installasjon i det aktuelle området. Dette hadde ikke vært mulig dersom det ble benyttet to

pyranometer. På denne måten fikk begge målingene et tilsvarende avvik i plasseringen pga. mekaniske svakheter. Det eliminerer enda en feilkilde.

Et Fluke 45 multimeter ble koblet til pyranometeret og viste målingene i mV. Verdiene ble målt av hvert 5. minutt av samme person for alle

målingene. Her hadde det vært

bedre å koble multimeteret til en datamaskin som registrerte målinger, helst oftere enn hvert 5. minutt, men det var ikke mulig med det gjeldende multimeteret. Menneskelig avlesing er ikke å foretrekke da det fort kan gi uriktige avlesinger. Se Figur 19 for tes oppsett.

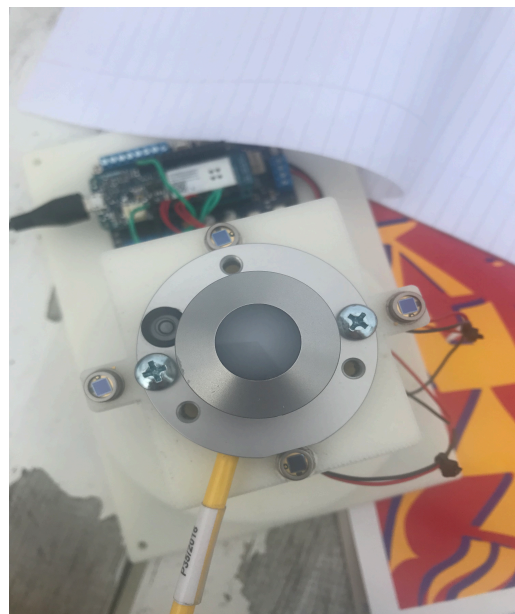


Figur 19 Solar tracker, datamaskin og Fluke 45, 4. mai 2019.

7.3 Resultater

I denne oppgave var det to funksjoner som måtte testes. Solar trackeren skulle følge solen ved hjelp av fotodioder dersom det var sol, og følge solen ved hjelp av en algoritme dersom det ble overskyet. Funksjonen med fotodiodene ble ikke helt så bra som planlagt tenkt. Da den ble testet inne og fulgte en lommelykt fungerte den veldig fint. Ute ble mettet fotodiodene fort signalet på de analoge inngangene, men ved bruk av micropore teip som et slags filter over diodene la verdiene seg under 3,3V og solar trackeren fungerte greit. Se

Den støtte på noen problemer da 2 av fotodiodene var montert litt for tett på pyranometeret, og pyranometeret kastet skygge på fotodioden. Dette vises i Figur 20. På grunn av dette ble det besluttet å bruke algoritmen under testen, selv om det ikke var overskyet, den fungerte utmerket.



Figur 20 Pyranometer montert på solar tracker, 4. mai 2019

Resultatene av testen er vist i en tabellene under med utregnet gjennomsnitt for hver av de 4 testene. Fast installasjon vil si at solar trackeren var plassert mot sør med 30° vertikal helling, som er optimalt for en fast installasjon i Bergen ved vår/høst (ikke langt fra lokasjonen testen ble utført) (Greenstream Publishing, 2008).

Irradians $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ er regnet ut etter formelen i kap. 6.4.5.

Test 1: Solar tracker		
Klokkeslett	mV	W/m ²
14.00	60,58	837,90
14.05	59,42	821,85
14.10	64,02	885,48
14.15	55,34	765,42
14.20	61,94	856,71
14.25	61,98	857,26
14.30	66,18	915,35
Gjennomsnitt:	61,35	848,57

Test 3: Solar tracker		
Klokkeslett	mV	W/m ²
15.00	68,9	952,97
15.05	65,96	912,31
15.10	68,33	945,09
15.15	61,39	849,10
15.20	56,81	785,75
15.25	54,18	749,38
15.30	54,02	747,16
Gjennomsnitt:	61,37	848,82

Test 2: Fast installasjon		
Klokkeslett	mV	W/m ²
14.30	19,37	267,91
14.35	63,82	882,71
14.40	66,42	918,67
14.45	57,34	793,08
14.50	68,72	950,48
14.55	57,68	797,79
15.00	62,44	863,62
Gjennomsnitt:	56,54	782,04

Test 4: Fast installasjon		
Klokkeslett	mV	W/m ²
15.30	51,24	708,71
15.35	57,66	797,51
15.40	59,05	816,74
15.45	50,78	702,35
15.50	54,96	760,17
15.55	57,05	789,07
16.00	55,45	766,94
Gjennomsnitt:	55,17	763,07

Tabellene viser at det er forskjell i irradians for en fast installasjon og en dual axis solar tracker. Forskjellen ved testtidspunktet var for øvrig ikke stor. Dette henger sammen med at *solar noon* på den aktuelle dagen var rundt 14.30, ved *solar noon* vil det være minst differanse mellom en fast installasjon og solar trackers fordi solen står mot sør. Test 3 og 4 viser en større differanse, noe som henger sammen med at solen har bevegde seg litt lenger mot vest. Differansen mellom irradiansen for fast installasjon og en solar tracker vil bli større dess lenger fra solar noon målingene utføres. Sent på kveld og tidlig på morgen er det mest å hente ved bruk av en solar tracker.

Si at et solcellepanel på 4m² og en virkningsgrad på 20% hadde vært koblet til solar trackeren. Den ville kunne gi ut en effekt på: $2 \times 848,82W \times 0,2 = 339,5W$

mot effekten fra en fast installasjon: $2 \times 763,07W \times 0,2 = 305,2 W$.

Det er 11,2% mer effekt for solar trackeren enn for en fast installasjon på den tiden av dagen med minst differanse mellom instillingene. For et enkelt solcellepanel vil ikke dette gjøre den store forskjellen, men for et anlegg med si 600 m² med solpanel vil effekten bli betydelig.

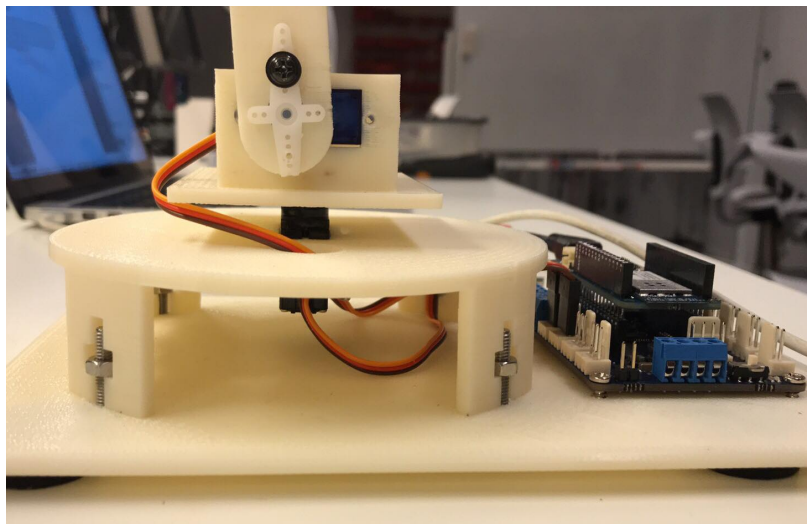
Så er spørsmålet om denne effekten vil gå tapt som følge av å forsyne servomotorene til anlegget? I vårt tilfelle blir servomotorene kjørt på 5V og bruker ca. 1 A med last. Det gir en effekt på 5W for hver av servoene. 10W totalt. De kunne nok ikke taklet et solcellepanel på 4 m². Så for et lite solcellepanel hadde nok gevinsten vært svært liten. Men dersom det er snakk om større anlegg ville det vært gode muligheter for å tjene på investeringen. En rekke med solcellepaneler kan ofte kobles til samme servomotor. Dersom du har en servomotor med god virkningsgrad kan effekten bli betydelig større spesielt på morgen og kveld.

8 Konklusjon

Det er mye som kunne vært gjort annerledes i utførelsen av denne oppgaven. I dette kapitlet vurderes arbeidet og mulige endringer som kunne gjort prosjektet og produktet bedre.

8.1 Design

Angående design av plattformen til solar trackeren er det en del forbedringspotensial. Den burde vært utformet så den tålte vær, noe som var planen fra start, men ble nedprioritert på grunn av andre utfordringer. Platen som holder servomotor 2 skulle hatt støttehjul som stabiliserte platen slik at ikke hele vekten ble satt på servomotor 1. Dette vises tydelig i Figur 21.



Figur 21 Solar tracker fra siden, mangler støtte for øvre plattform, 12. desember 2018

Den øvre platen burde også vært sirkulær, noe den i utgangspunktet var. Det førte til at det ble vanskelig å få fullt utslag for den øverste servomotoren, igjen ble det tiden som spilte inn og kanskje mangelfull planlegging. Selve platen pyranometeret er plassert på kunne vært bedre tilpasset platen under, her ble det en noe avvikende dimensjon som er rettet opp med en mutter. Det trengs også et bedre system for gjennomføring av ledninger mellom etasjene.

Valget om å lage modellen i plast var nyttig da den var lett å bære med seg, og modifisere. Den var ikke helt stabil, og førte med seg mekaniske svakheter. Et eksempel på dette vises i **Error! Reference source not found.**



Figur 22 Skygge under pyranometer, 4. mai 2019

På bildet vises en skygge under pyranometeret, dette er et tegn på at pyranometeret ikke er vinklet direkte mot solen. Det er en følge av at det øverste leddet på plattformen tynges ned som følge av vekten til pyranometeret. Dette kunne vært unngått med en sterkere motor og en stålkonstruksjon.

Til tross for forbedringer som kunne vært gjort, var det en lærerik prosess å utvikle plattformen. Til syvende og sist fungerte den til sitt formål, og var en helt OK prototype.

8.2 Teknisk

Servomotorene kunne definitivt vært av en litt høyere kvalitet. Det virket som de slet med å holde vekten av plasten og pyranometeret, og kunne ofte begynne å dure i sluttposisjon, som om de ikke helt nådde den posisjonen de skulle.

Posisjonene stemte heller ikke helt overens den teoretiske verdien de skulle ha. Spesielt servomotoren som endret altitude vinkel hadde en feilmargin på 30°

som måtte kompenseres for i programmet. Dette var nok også et produkt av vekten til pyranometeret og platen den var montert fast i.

Å finne motstander til fotodiodene har vært det mest utfordrende problemet. Her burde det nok vært installert en operasjonsforsterker i stedet for en motstand. Dette burde også vært testet utendørs fra start så hele problemet med at motstandene mett de analoge inngangene kunne vært unngått. En annen mulighet er å koble fotodiodene til en lavere spenning enn 3.3 V slik at den uansett ikke vil kunne gå i metning. Diodene gav gode utslag og virket tilsynelatende lineært i forhold til irradians.

Koblingene kunne også vært skrevet ut på et printkort i stedet for å kobles sammen med wago. Det ble en ustabil og rotete måte å gjøre det på, men samtidig ga det større rom for endringer og feilsøking.

8.3 Program

Å bruke Matlab sammen med Arduino var en grei løsning, software og hardware samarbeidet greit. Programmet kunne også vært forbedret, da spesielt med tanke på programmet som styrte trackeren etter solen ved hjelp av fotodioder. Det ble gjort en del brå bevegelser som kunne vært unngått med tidsforsinkelser el.

Algoritmen for å finne solposisjon fungerte bedre enn ventet. Det tok en del tid å forstå astronomien og hva de forskjellige variablene betød. Det gikk også mye tid i å feilsøke da algoritmen skulle implementeres i Matlab. Under testing ble det ganske tydelig at funksjonen som benyttet fotodioder til å finne solen var totalt unødvendig. Algoritmen er såpass nøyaktig at denne var langt bedre å bruke. Her må det være et forbehold om at det som skal styre solcellepanelet har tilgang til en klokke.

8.4 Test

Testen skulle vart lenger, og blitt utført med to pyranometer og en datarekorder. Kanskje en hel dag, eller et par dager. Mer data hadde gitt bedre utgangspunkt for en analyse av resultatene og en konklusjon. Med tiden og utstyret tilgjengelig ble det gjort en god test, der resultat stod til forventingene.

8.5 Oppsummering

De fleste av målene som ble satt for denne oppgaven ble nådd. En solar tracker med Arduino ble bygd, og den fungerte. Solar trackeren tåler ikke vær, men den gir en bedre effekt enn en fast installasjon. Det gjenstår å besvare spørsmålet som ble stilt innledningsvis i oppgaven: *Kan naturlige variasjoner i solstråling følges for å få større utbytte av solenergi?*

Svaret har egentlig fra start vært et åpenbart; ja. Det er et spørsmål som allerede er besvart. Det finnes mange studier, artikler, bacheloroppgaver og masteroppgaver som besvarer spørsmålet. Nå er også denne oppgaven med å underbygger svaret.

Norge er plassert såpass langt fra ekvator at det er store variasjoner i solens posisjon i løpet av året. Nettopp derfor er Norge en av de stedene på jorden du får mest utbytte av å benytte solar trackers. Det trenger ikke nødvendigvis å være dual axis, eller en solar tracker i det hele tatt. Bare med å endre vinkel på solcellepanelene et par ganger i året kan gi et stort utbytte. Det er en teknologi som har stort potensiale og bør utvikles videre.

Bibliografi

- U.S. Department Of Energy. (2013, August 21). Solar Radiation Basics.
- Wang, B., & Leu, P. (2012). Enhanced absorbtion in silicone arrays for photovoltaics. *Nanotechnology* .
- Wikipedia. (2012, mai 16). Hentet september 21, 2018 fra [https://no.wikipedia.org/wiki/Fil:Solar_AM0_spectrum_with_visible_spectrum_background_\(no\).png](https://no.wikipedia.org/wiki/Fil:Solar_AM0_spectrum_with_visible_spectrum_background_(no).png)
- Wikipedia. (2014, juni 8). *4MW horizontal single axis tracker in Vellakoil, Tamil Nadu, India*. Hentet oktober 20, 2018 fra https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4MW_single_axis_horizontal_tracker_in_Vellakoil,_Tamil_Nadu,_India.jpg
- Wikipedia. (2011, desember 19). *Azimuth-Altitude schematic*. Hentet desember 10, 2018 fra https://sco.m.wikipedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg
- Wikipedia. (2007, desember 22). *Axial Tilt Obliquity*. Hentet september 30, 2018 fra <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AxialTiltObliquity.png>
- Wikipedia. (2009, mars 7). *Greenwich hour angle*. Hentet oktober 16, 2018 fra https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greenwich_Hour_Angle.svg
- Wikipedia. (2015, mars 13). *HIT solar cell*. Hentet oktober 10, 2018 fra https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HIT_cell.jpg
- Williams, M. (2014, November 21). The Orbit of Earth. How Long is a Year on Earth? Universetoday.com. Hentet fra universetoday.com.
- Arbeidstilsynet. (2017, september). *Risikovurdering*. Hentet desember 12, 2018 fra www.arbeidstilsynet.no:
<https://www.arbeidstilsynet.no/hms/risikovurdering/>
- Bahrami, A., Okye, C. O., & Atikol, U. (2016). *The effect of latitude on the performance of different solar trackers in Europe and Africa*. Eastern Mediterranean University, Middle East Technical University Northern Cyprus Campus, Department of Mechanical engineering, Sustainable Environment and Energy Systems. Elsevier.
- Basher, P. A. (2016). *Performace analysis of Horizontal Single Axis vs. Fixed Tilt Solar PV Plants in Southern States of India*.
- Boone, C., Bond, C., Buhl, K., & Stone, D. (2012). *Zinc Sulfate General Fact Sheet*. Oregon State University Extension Services, National Pesticide Information Center. <http://npic.orst.edu/factsheets/zns04gen.html>.
- Brown Dog Gadgets. (u.d.). *Dual Axis "Smart" Solar Tracker Kit*. Hentet 12 12, 2018 fra www.browndoggadgets.com:
<https://www.browndoggadgets.com/products/dual-axis-smart-solar-tracker>
- Clean Energy Insitute. (u.d.). *Perovskite Solar Cell*. Hentet November 13, 2018 fra University of Washington - Clean Energy Institute:
<https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/perovskite-solar-cell/>
- Excell, R. H. (2000). *homer.com/au*. Hentet 10 31, 2018 fra Solar wind and energy:
<http://www.homer.com.au/webdoc/science/solar/SolarRadiationIntensity.html>
- Encyclopædia Britannica Imagequest. (u.d.). *Earth's orbit around the Sun*. Hentet september 30, 2018 fra https://quest.eb.com/search/309_1156412/1/309_1156412/cite

- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Univeristy of Wisconsin-Madison, Solar Energy Laboratory. Wiley.
- DCE Solar. (2015, Oktober 8). Energy Production in Motion: The Advantages of Single Axis Solar Tracking Systems. *Altenergymag.com* .
- Desai, J., & Nelson, M. (2017, Juni 21). Are we headed for a solar waste crisis? *Environmental Progress*.
- Faaij, A. C., Louwen, A., Sark, W. G., & Schropp, R. E. (2016, 12 06). Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. *Nature Communications*.
- Folkehelseinsittuttet. (2015, September 28). Fakta om Kadmium i mat og miljø.
- Greenstream Publishing. (2008). *Solar Angle Calculator*. Hentet 05 04, 2019 fra www.solarelectricityhandbook.com:
<http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html>
- ITACA. (u.d.). *The sun as a source of energy*. Hentet August 20, 2018 fra www.itacanet.org: <https://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-3-calculating-solar-angles/>
- Hoffman, T. (2015). Hentet 05 04, 2019 fra www.suncalc.org:
<https://www.suncalc.org/#/59.8197,5.2653,17.0916666666666666/2019.05.04/14:12/1/0>
- Justis- og beredskapsdepartementet. (1998, november 06). *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg*. Hentet november 01, 2018 fra www.lovdata.no:
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060>
- LatitudeLongitude.org. (u.d.). Haugesund, Norway latitude longitude.
- NVE; Enova; Norges forskningsråd; Innovasjon Norge. (2016, Mai 1). *Solenergi*. Hentet August 18, 2018 fra [fornybar.no](http://www.fornybar.no):
<http://www.fornybar.no/solenergi/ressursgrunnlag#sol1.1>
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2018, juni 28). Nasjonal varedeklarasjon 2015. Norge: www.nve.no.
- Norsk elektroteknisk komite. (2018). *Elektriske lavspenningsinstallasjoner*. Norge: Norsk elektroteknisk komite.
- Murmsom, S. (2017, April 26). The Effect og Wavelenght on Photovoltaic Cells. *Sciencing.com*.
- McGrath, M. (2018, August 9). Organic cells set 'remarkable' energy record. *BBC News*.
- Ranabhat, K., Sofronova, E., & Lapshinsky, V. (2016, Januar). *An introduction to solar cell technology*. Hentet November 13, 2018 fra [Researchgate.net](http://www.researchgate.net):
<https://www.researchgate.net/publication/312225770>
- Rosvold, K. A. (2017, Desember 12). *Solenergi*. Norge: Store norske leksikon.

9 Vedlegg

Vedlegg 1 Møtereferat

Vedlegg 2 Program i Matlab

Vedlegg 3 Koblingskjema

Vedlegg 4 I/O-liste

Vedlegg 5 Blokkkjema

Vedlegg 6 Datablad for fotodiode

Vedlegg 7 Datablad for pyranometer

Vedlegg 8 Datablad for servomotor

Vedlegg 9 Milepæler