

Ole Martin Flåseth

Et soldriftet energisystem for et hjelpesenter i Zimbabwe

For Midlands children hope project via
Ingeniører uten grenser

Bacheloroppgave i Fornybar energi
Veileder: Magnar Eikerol

Mai 2019

Ole Martin Flåseth

Et soldriftet energisystem for et hjelpesenter i Zimbabwe

For Midlands children hope project via Ingeniører
uten grenser

Bacheloroppgave i Fornybar energi
Veileder: Magnar Eikerol
Mai 2019

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



Oppgavens tittel: Et soldrftet energisystem for et hjelpesenter i Zimbabwe [For Midlands Children Hope Project via Ingeniører uten Grenser]	Dato: [20.05.2019]	
	Antall sider: [78]	
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave ✓
Navn: [Ole Martin Flåseth]		
Veileder: [Magnar Eikerol]		

Sammendrag:

Tema for rapporten er hvordan utvikle et fornybart energialternativ til et lokalt ustabil strømnett i Zimbabwe. Oppdragsgiver er Ingeniører uten grenser, de har fått en forespørsel om å hjelpe Midland children hope project. MCHP er en hjelpeorganisasjon som ønsker en stabil og pålitelig energitilførsel til et fremtidig prosjekt fordi de sliter med nettbrudd. Prosjektet innebærer at de skal bygge et hjelpesenter som blir kalt håp-senteret. Problemstillingen i denne rapporten er å kartlegge energibehovet til MCHP håp-senteret lokalisert i Mkoba, Zimbabwe. For å dimensjonere et solenergisystem som oppfyller dette behovet på best mulig måte, og til slutt gi et kostnadsoverslag av prosjektets omfang.

I løpet av rapporten kommer det frem at problemstillingen best løses ved å koble vekk det lokale nettet og implementere et solenergisystem der all energiproduksjon kommer fra solcellemoduler. Energisystemet blir designet med en batteribank som gir håp-senteret mulighet til å ha pålitelig strømtilførsel selv om det er lav solinnstråling.

Denne løsningen ble utviklet på grunnlag av et strukturert databasesøk for innhenting av kunnskap. Denne informasjonen ble videre brukt til å estimere behovet til senteret også simulere solenergisystemet.

- Stikkord: (Nøkkelord)

Solenergi
Afrika
Fornybarenergi
Solcellemodul

Ole Martin Flåseth

(sign.)

Abstract

The theme of the report is how to develop a renewable energy alternative to a locally unstable power grid in Zimbabwe. A company named Engineers without borders, have received a request to help midland children hope project. MCHP is an non-profit aid organization that needs a stable and reliable energy supply to a future project, because they are struggling with power network failures. The project entails that they will build a help center named the hope-center. The main task in this report is to map the energy needs of the MCHP hope-center located in Mkoba, Zimbabwe. And then calculate and implement a solar energy system that meets this need in the best possible way, and ultimately provide a cost estimate of the scope of the project.

During the report, it emerges that the problem is best solved by disconnecting the local network and implementing a solar energy system where all energy production comes from solar cell modules. The energy system is designed with a battery bank that gives the hope-center the opportunity to have reliable power supply even though there is low solar radiation.

This solution was developed based on a structured database search for knowledge acquisition. This information was further used to estimate the needs of the center and to simulate the solar energy system.

Innholdsfortegnelse

Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figur liste	vii
Tabell liste	viii
1 Innledning.....	1
1.1 Valg av metode	1
1.2 Presentasjon av oppdragsgiver	2
1.3 Tema som skal undersøkes	2
1.4 Oppsett av problemformuleringen.....	2
1.4.1 Problemstillingen	2
1.4.2 Avgrensning av prosjektet.....	3
1.5 Rapportens struktur.....	4
1.6 Tidligere forskning/ lignende prosjekter	5
1.7 Definisjoner av begreper	6
2 Metode.....	7
2.1 Data oppgaven bygger på	7
2.2 Systemets konfigurerings muligheter	11
2.2.1 Samspill med det lokale nettet eller ikke?.....	11
2.2.2 Hybrid system	12
2.3 Valgt løsning, nettuavhengig kun sol	14
2.4 Hvordan estimere forbruk?	15
2.4.1 Utstyr som skal driftes via solceller	15
2.4.2 Hvor mye er på samtidig?	20
2.5 Energitap og tiltak	22
2.5.1 Omgivelser	22
2.5.2 Tap innad solenergisystemets komponenter	24
2.6 Simulering	25
2.6.1 Data som brukes under simulering	25
2.6.2 Viktige parametere og begrensinger	26
2.6.3 Simulering av produksjon med og uten solfølgefunksjonalitet.....	28
2.6.4 Simulering av valgt alternativ, nettuavhengig kun sol.....	29
2.6.5 Innkjøpskostnad	31
2.7 Montering og vedlikehold	32
3 Teori	33

3.1	Sollyset	33
3.1.1	Solen.....	33
3.1.2	Årstider.....	33
3.1.3	Sollyset som treffer jordskorpen	35
3.2	Vinkler brukt for å utnytte sollyset til energi	37
3.2.1	Deklinasjonsvinkel [δ]	37
3.2.2	Timevinkel [h].....	38
3.2.3	Solhøydevinkel [α]	39
3.2.4	Sol senitvinkel [ϕ].....	39
3.2.5	Sol asimutevinkel [z].....	39
3.2.6	Innfallsvinkel [θ]	40
3.2.7	Magnetisk deklinasjon [δ_M]	40
3.3	Hvordan er solenergisystemet bygget opp?.....	41
3.3.1	Solcellen	41
3.3.2	Balanse av system komponenter	44
4	Resultatene	49
4.1.1	Hvordan ble lastbehovet dekket?	49
5	Drøfting	51
5.1	Data brukt i oppgaven.....	51
5.2	Det estimerte forbruket.....	52
5.3	Tilnærmingen av det nettuavhengige flyttisolenergisystemet i SAM	53
5.4	Hva ble Innkjøpskostnaden?.....	55
5.5	Etiske- og miljø aspekt ved prosjektet.....	55
5.6	Tidligere forskning og lignende prosjekter	56
6	Konklusjon	57
	Litteraturliste	59
	Vedlegg	62

Figur liste

Figur 1: Et nettuavhengig solenergisystem gjengitt med tillatelse fra leonics.....	11
Figur 2: Illustrasjon av et nettuavhengig hybrid system, med en diesel drevet generator og PV. Gjengitt med tillatelse av Leonics	12
Figur 3: Blokkskjema av det valgte nettuavhengige solenergisystemet	14
Figur 4: Last behov for håp-senteret, for å visualisere $P_{maks} = 3602 \text{ W}$	21
Figur 5: Grafisk illustrasjon av hvordan temperatur og solinnstråling påvirker Volt og Strøm	22
Figur 6: Satellittbilde med valgte obstruksjoner, laget i SAM.....	23
Figur 7: 3D bildet av valgte obstruksjoner, laget i SAM	23
Figur 8:Sammenligning av datakilder for solstråling:.....	26
Figur 9: Energi produsert mot årlig last med DC kapasitet på 4699 kW	29
Figur 10: Energi produsert mot årlig last med DC kapasitet på 5286 kW	30
Figur 11:Vinter og sommer illustrasjon, figur produsert selv	34
Figur 12: Luftmasse og senitvinkel sammenheng.....	36
Figur 13: Vinkler illustrert	37
Figur 14: Illustrasjon av sammensettingen til en solcelle	42
Figur 15:Elektronisk ekvivalent diode modell som representerer en solcelle, laget av Ole Martin Flåseth. Med informasjon hentet fra (Lorenzo, 1994).....	43
Figur 16:I-V karaktrestikk.....	43
Figur 17:Shunt spenningskontroller laget av Ole Martin Flåseth med kunnskap fra (Power Electronics Handbook).....	45
Figur 18:Serie spenningskontroller laget av Ole Martin Flåseth med kunnskap fra (Power Electronics Handbook).....	45
Figur 19: MPPT spenningskontroller krets	48
Figur 20: Håp-senterets last og solenergisystemets tilførsel.....	49
Figur 21: Solinnstrålings påvirkning på PV- og batteritilførsel.....	50
Figur 22: Viser batteriets ladningsprosent når nettet blir koblet inn i SAM	54

Tabell liste

Tabell 1: Avgrensninger variable	3
Tabell 2:Skjematisk dokumentering av søket "dimensjonere et solenergisystem"	9
Tabell 3: Skjematisk dokumentering av søket "kartlegge strøm- og oppvarmingsbehov"	10
Tabell 4: Skjematisk dokumentering av søket "solenergiens samspill med jorden"	10
Tabell 5: Standard utstyr og energiforbruk	18
Tabell 6:Energibesparende utstyr og energiforbruk	19
Tabell 7: Samtidighetsfaktor	20
Tabell 8: Solcellepanel orientering energiskapning	28
Tabell 9: Nettuavhengig kun sol	31
Tabell 10: Dagsnummer for 2019	38

1 Innledning

I Norge ser man på strømtilgang som en selvfølge. De fleste har ingen anelse om hvordan det fungerer, de bare trykker på knappen også fungerer det. Dette er ikke tilfellet for barna som lever i Zimbabwe, de har i snitt uavbrutt strømtilgang kun to av syv dager i uka ifølge Lene Tollefsen Rodegård, daglig leder i Midland children hope project (Skype, 19.november 2018). De ønsker å gjøre noe med denne ustabiliteten, MCHP planlegger et hjelpesenter som skal ha stabil strøm hele uken og i denne rapporten kan du lese hvordan dette målet oppnås.

1.1 Valg av metode

Valg av metode falt på John Deweys metode, den er delt opp i seks steg som er sitert i form av en liste og forklart under. (Rognsaa,2015)

1. Formuler problemet.
2. Definer problemet (dvs. begrens omfanget og undersøk historien).
3. Formuler kriterier (dvs. finn en målestokk å måle problemet med).
4. Foreslå alternativer (dvs. overveie mulige løsninger).
5. Evaluere alternativer (dvs. bruk kriteriene på alternativene).
6. Anbefal handling (dvs. velg det beste alternativet).

Problemet er formulert underkapittel «1.4 oppsett av problemformuleringen» både som hoved problemstilling og underproblemstillinger for å oppnå den. Problemet er definert videre i underkapittel «1.4.2 avgrensning av prosjektet». Når det kommer til formulering av kriterier er dette gjort gjennom å se på lignende prosjekter og datainnsamling som er beskrevet i underkapittel 1.6 og 2.1. Det blir både foreslått og evaluert forskjellige måter å tilføre energi til håp-senteret på i underkapittel «2.2 Systemets konfigurerings muligheter». Det blir valgt versjon i underkapittel 2.3 og det blir jobbet videre med i underkapittel «2.6 simulering», resultatene blir evaluert i kapittel «4 resultatene» og kapittel «5 drøfting». Til slutt anbefales løsningen i kapittel «6 konklusjon».

1.2 Presentasjon av oppdragsgiver

Midland children hope project, videre omtalt I rapporten som MCHP er en non-profit organisasjon basert i Zimbabwe som jobber med å hjelpe barn og familier, de gir og nødhjelp. MCHP har flere prosjekter som man kan lese mer om på (hopeproject). Et av de prosjektene er prosjektet denne rapporten omhandler, håp-senteret. Senteret skal bygges i Gweru, Mkoba. Senteret skal fungere som en hovedbygning for videre prosjekter. En skisse av senteret er i vedlegg A.1-2. Senteret vil få en stor betydning for lokalsamfunnet, både i form av arbeidsplasser, utdanning og helsetilbudet som vil bli tilbudt der. Alt skal driftes ved hjelp av solenergi, og det er denne problemstillingen som løses i denne rapporten.

1.3 Tema som skal undersøkes

Tema er solenergi, hvordan solenergi fungerer og hvordan det kan designes solenergisystemer som kan ta i bruk energien fra sola, til å blant annet varme opp vann ved hjelp av solfangere. Eller implementere solcellemoduler som omdanner solenergi til elektrisitet.

1.4 Oppsett av problemformuleringen

I dette underkapitlet defineres problemstillingen og hvilke avgrensinger som gjøres, først defineres problemstillingen som videre blir delt opp i underproblemstillinger.

1.4.1 Problemstillingen

Kartlegge energibehovet til MCHP håp-senteret lokalisert i Mkoba, Zimbabwe. Dimensjonere et solenergisystem som oppfyller dette behovet, og gi et kostnadsoverslag av prosjektets omfang.

Underproblemstilling nummer en:

Innsamling av nødvendig informasjon, en standard for innhenting av data må lages, dokumenteres og følges.

Underproblemstilling nummer to:

Energiskapning i solenergisystemet, først må man finne ut hvordan teknologi som er tilgjengelig og hvilke som er best egnet til prosjektet. Deretter må man finne ut om det er gjennomførbart å produsere all energi fra sol, eller om man må se på supplementerende tiltak som for eksempel diesel drevet generatorer. Dette ser man ut ifra en rekke faktorer, blant annet størrelse tilgjengelig på taket, og effekt levert av solcellene. Til slutt finnes det teknologi som gir muligheten for å ha bevegelige solcellemoduler som følger solens bane på himmelen. Det vil bli sett nærmere på om en slik solfølgefunksjon er aktuell eller ikke.

Underproblemstilling nummer tre:

Kartlegge kostnadene ved investering.

Underproblemstilling fire:

Til slutt sees det nærmere på det etiske- og miljø aspektet ved prosjektet.

1.4.2 Avgrensning av prosjektet

Prosjektets utgangspunkt er et ønske om et bærekraftig hjelpesenter lokalisert i Zimbabwe, som skal ha solceller for strømproduksjon og solfanger for oppvarming av tappevann. Oppgaven fokuserer på strømproduksjonen gjennom solceller. Dette betyr at det antas at noen andre dimensjonerer og implementerer solfangere så det elektriske anlegget vil ikke dimensjoneres for hverken oppvarming av rom eller tappevann. Solenergisystemet er tiltenkt å være et nettuavhengig system, men det vil og bli sett på mulighetene for å implementere både diesel drevet generator og et samspill med det lokale strømnettverket. Løsningen som skal utvikles er et soldriftet energisystem med de konkretiserte variable listet i tabell en.

Tabell 1: Avgrensninger variable

Tekniske variable	Indikatorer	Konkretiserte indikatorer
Kraftproduksjon	Solceller	Lokalisering, størrelse, modell, stasjonær/ bevegelig, sammensetning
Energi lagring	Batteri	Størrelse, modell

1.5 Rapportens struktur

Innad dette underkapitlet skal rapportens struktur forklares og de kapitler som anses som de viktigste er skrevet i *kursiv*. Det ble valgt å strukturere rapporten litt annerledes enn andre tekniske bacheloroppgaver. Rapporten starter med *metode*, og i løpet av metodekapitlet henvises det til teorikapitlet, og vedlegg der det finnes mer utdypende teknisk informasjon. Metode kapitlet starter med *hvilke data oppgaven bygger på*, deretter systemets konfigurasjons muligheter. Etter *løsning er valgt estimeres forbruket* til håp-senteret og hvilke tap som må tas hensyn til. Etter det kommer det viktigste kapitlet, *simulering*, som bruker all informasjonen innhentet hittil og gir oppgaven det som skal drøftes. Kapitlet avsluttes med a hvordan man skal montere og vedlikeholde det valgte solenergisystemet. Innad teorikapitlet forklares først hvordan jordens samspill med solen påvirker hvordan solcellemodulene blir plassert, hvilke vinkler som brukes og hva de betyr og til slutt hvordan de forskjellige komponentene fungerer. Etter teoridelen fremlegges *resultatene* fra simuleringen og forklares nærmere. Valg som ble gjort under oppgaven blir deretter *drøftet* og rapporten avsluttes med en *konklusjon* før litteraturliste og vedlegg kommer til slutt.

1.6 Tidligere forskning/ lignende prosjekter

I dette underkapitlet er formålet og kort å gå inn på tre lignende prosjekter og deres løsninger. Etter rapporten om håp-senteret er skrevet, vil det bli sett på sammenhenger og eventuelle motsigelser mellom disse og denne rapporten under drøftetekapitlet.

Første artikkel går inn på et solenergisenter som ble konstruert i Kenya for å tilføre et lite samfunn en ladestasjon til lys, og en mulighet for å tjene penger (Kenyan energy centre). De kom frem til at det både er mulig og lønnsomt å implementere et solenergisenter istedenfor å bruke det lokale strømmettet. Neste lignende prosjekt tok plass i Pakistan (Renewable and Sustainable Energy Reviews), der ble et nettuavhengig system designet for å drifte en husstand. De utførte i tillegg en økonomisk analyse. De kom også frem til at det å implementere solenergi som produksjon av kraft er både bra og lønnsomt. De to foregående prosjektene var begge tidligere prosjekter som ligner det som skal bli gjort i denne rapporten. Den siste artikkelen er et tidligere forskningsprosjekt der solenergipotensialet i Zimbabwe ble undersøkt. Det ble gjort for å kunne bidra til miljøet ved å supplere kraftproduksjonen med solenergi istedenfor kullkraft (Of grid potential Zimbabwe).

1.7 Definisjoner av begreper

MCHP:	Midland Children Hope Project, er organisasjonen som skal bygge håpsenteret.
Solenergi:	I denne rapporten brukes solenergi til å omtale energien som er høstet fra solen via solceller til å produsere strøm eller varme opp vann.
Analemma:	Er et diagram som blir produsert ved å notere posisjonen til solen på himmelen ved samme tidspunkt i løpet av året. I denne oppgaven brukes det til å bekrefte helningsgradvinkel utregninger gjort av kalkulator.
Deklinasjonsvinkel:	Er vinkelen mellom solstrålen og ekvator
Asimutevinkel:	Vinkel innad det horisontale planet beskrevet med respekt til nord lik 180 grader
Senit:	Senit er tiltenkt retning rett opp, sagt på en annen måte er Senit motsatt vei av gravitasjonen.
Sol senitvinkel:	Sol senitvinkelen er vinkelen mellom en tiltenkt linje fra solen trukket til jordoverflaten og senit.
Meridian:	Er en tiltenkt bue langs jordens overflate mellom Sør- og Nordpolen.
Timevinkel:	Beskriver gradene som jorda må roteres for å få meridianen til plasseringen som blir undersøkt direkte mot en tiltenkt linje fra solen.
Solhøydevinkel:	Vinkelen som beskriver hvor høyt solen er på himmelen.
Solenergisystemet:	Systemet som designes og er tiltenkt implementeres t\for å dekke håpsenterets energibehov. Systemet er bestående av solcellepanel, spenningskontroller, batteribank og en inverter samt alle småkomponenter som kobler disse sammen.
Lasten:	Lasten viser til forbruket til håpsenteret, alt hvilke komponenter som trenger elektrisitet fra solenergisystemet for å fungere.
Lumen:	Benevnelse til lumen er lm, lumen måler styrken på lysfluks.
LED:	Lys Emitterende Diode

2 Metode

I metodekapitlet gjennomgås det først hvilke data oppgaven er bygget på, dette materiale er hovedsakelig basert på fagfelleverderte tekster funnet gjennom databaser. Det er også funnet frem til informasjon gjennom veiledere og fagpersonell. Materialet er omfattende i den forstand at man kan gå ekstremt i dybden både teknisk og miljømessig hvis ønskelig. Dette er en av grunnene til at det er valgt ut visse kriterier og retningslinjer for å gå gjennom materialet. Dette står det mer om i underkapittel 2.1. Det neste som blir beskrevet er solenergisystemets konfigurasjons muligheter i underkapittel 2.2. Videre gjennomgås det mer i detaljer i den valgte løsningen i underkapittel 2.3. Deretter estimeres forbruket til MCHP sitt håp-senter ved å se på hva som skal driftes i underkapittel 2.4. Neste kapittel tar for seg tap, og hvilke tiltak som kan innføres under design av solenergisystemet for å minimere dette. I underkapittel 2.6. utføres de forskjellige simuleringene, resultatene fra disse blir kort beskrevet i dette kapitlet, mens det blir vurdert og drøftet i dybden senere i rapporten. Til slutt beskrives montering og vedlikehold av solenergisystemet i underkapittel 2.7.

2.1 Data oppgaven bygger på

I dette underkapitlet beskrives hvordan en standard ble laget for innhenting av data for å oppfylle problemstillingen.

Det ble laget en standard søkeramme for å kunne innhente best mulig informasjon på en strukturert og oversiktlig måte. Det gir også mulighet for ettersyn og man kan finne igjen samme data for eventuell videreutvikling av solenergisystemet fra samme grunnlag. Databasen som ble brukt for å innhente data er Compendex og innstillinger til søket ble satt til at nøkkelord ble søkt etter i tittel og abstract, for å hjelpe med å korte ned antall søkeresultater. Det ble kun sett på journal artikler for å bidra til at informasjonen kom fra fagfelleverderte kilder. Det ble bestemt å avgrense søket til å gjelde de siste fem årene fordi solenergifeltet har hatt en stor teknologisk utvikling.

Målet med å systematisk kartlegge søket etter data, er å innhente nok kunnskap for å utarbeide best mulig løsning for å dekke energibehovet til håp-senteret. Søket er delt opp i fire hoveddeler:

1. Dimensjonere et solenergisystem
2. Kartlegge strøm- og oppvarmingsbehov
- 3 Solenergiens samspill med jorden.
4. Kostnadsoverslag av prosjektet.

I tillegg til det systematiske databasesøket har informasjon blitt innhentet via både e-mail, samtaler, bøker og nettsteder. De gjeldene referansene blir nevnt fortløpende i teksten der de blir tatt i bruk og de er listet alfabetisk i litteraturliste bakerst i rapporten. Hvis samme kilde brukes flere steder etter hverandre er dette kommunisert ved teksten «(op.cit.)». Innad dette kapitlet vil søkene bli listet opp i tabeller med tilhørende utdypende tekst.

Etter kombinasjonen en til og med syv, (se tabell to) gikk søket ned på et nivå der det var mulig å lese igjennom dokumentene. I den første artikkelen (Kenyan energy centre) ble det funnet flere andre gode kilder som igjen ga annen brukbar informasjon, en såkalt snøballeffekt. Disse var (Solar home systems) som videre refererte til (Stand-alone photovoltaic systems) denne viste seg å være en kilde som ble brukt under flere ledd av design av solenergisystemet. Gjennom studering av denne ble (Power Electronics Handbook) funnet, det hadde et kapittel om kraftelektronikk for fornybare energikilder. Den ble brukt til å innhente informasjon om komponenter i solenergisystemet på et generelt nivå innad teorikapitlet. Via den informasjonen ble enda en kilde funnet, (Renewable and Sustainable Energy Reviews) som hovedsakelig ble brukt som matematisk kilde for formler for dimensjonering.

For å innhente informasjon på et mer detaljert komponentnivå ble et søk utført med kombinasjon en, to og syv, åtte. Via dette søke ble (Solar Energy Engineering) funnet. Innad denne artikkelen er de mest relevante kapitlene nummer to og ni som ble brukt for å innhente informasjon om hvordan man kan designe et solenergisystem, og komponentenes virkemåter.

Tabell 2: Skjematisk dokumentering av søket "dimensjonere et solenergisystem"

Nøkkelord	Database	Kombinasjon	Søkeresultat
1. solar	Compendex	1,2 og 3	20 741 stk.
2. energy		1-4	5 413 stk.
3. system		1-6	585 stk.
4. sustainab*		1-7	48 stk.
5. developing		1,2,7 og 8	53 stk.
6. countries			
7. household			
8. components			

Med erfaring fra tidligere søk ble det valgt å legge til to nye søkeord (se tabell tre). Dette ga et første søksutvalg på kun et søkeresultat. Dette gjaldt Chile, som ikke anses som relevant til problemstillingen. Det ble derfor valgt å gjøre et søk som ikke var like spesifikt som resulterte i 71 søk, som er en overkommelig mengde å se igjennom. Via en artikkel (Of grid potential Zimbabwe) ble det funnet informasjon som viste til forbruk til en typisk husstand i måneden. Denne kunnskapen blir tatt i bruk under forbruksestimeringen av håp-senteret. I søk tre ble søkeord åtte «components» byttet ut med søkeord ti «consumption». Dette ga et resultat på 74 dokumenter derav (Energy Research & Social Science, 2015) som ga et bilde av forbruket til en husstand i Nigeria. Denne informasjonen ble brukt til å ytterligere styrke grunnlaget til korrekt estimering av forbruk.

Tabell 3: Skjematisk dokumentering av søket "kartlegge strøm- og oppvarmingsbehov"

Nøkkelord	Database	Kombinasjon	Søkeresultat
9. power	Compendex	1-9	1 stk.
10. consumption		5-9	71 stk.
		5-7, 9 og 10	74 stk.

Det meste av informasjonen rundt jordens samspill med sola under andre søk, på grunn av at de fleste dokumenter beskriver denne informasjonen i tillegg. En ting som det ikke ble funnet detaljer rundt, var forklaring om ekte og magnetiske poler, også kalt «magnetic declination» på engelsk i litteraturen. Det ble derfor utført et eget søk med søkeord elleve til 14, som er listet i tabell fire der (magnetic declination) ble funnet, og sammen med (Solar Energy Engineering kapittel to) fra søk om dimensjonering legger disse to kildene grunnlaget for informasjonen rundt solenergiens samspill med jorden.

Tabell 4: Skjematisk dokumentering av søket "solenergiens samspill med jorden"

Nøkkelord	Database	Kombinasjon	Søkeresultat
11. magnetic	Compendex	11 og 12	9 939 stk.
12. declination		11-13	1 624 stk.
13. positioning		1, 11-13	150 stk.
14. formula		11,12 og 14	99 stk.

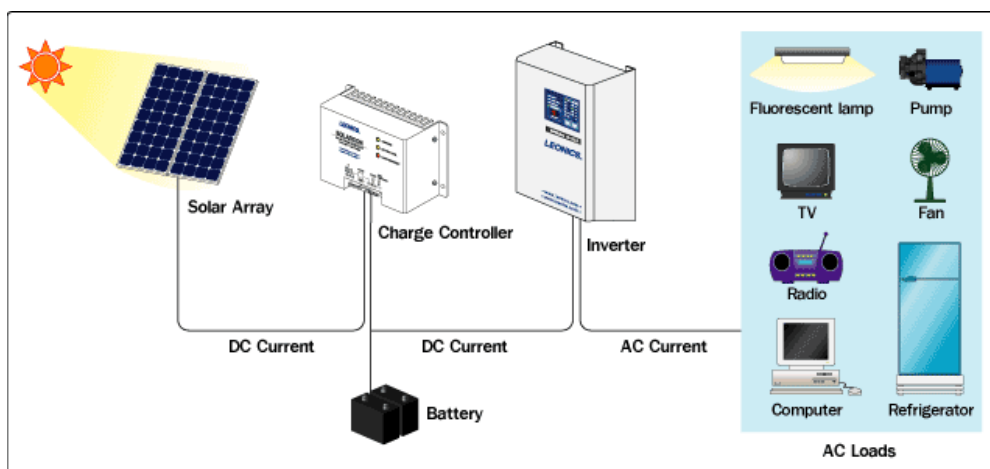
Når det kom til søk om kostnadsoverslag av prosjekter ble det prøvd å bruke compendex databasen for å innhente litteratur som beskrev dette. Det viste seg at når det kom til å finne ut av hva de forskjellige komponentene koster, var denne informasjonen enklere å få tak i via leverandører og salgssnettsider. Kildene funnet var (Classifieds), (Freecleansolar), (Medium) og (Setsolar).

2.2 Systemets konfigurerings muligheter

I dette kapitlet gjennomgås de forskjellige systemkonfigurasjonene man kan velge imellom for å oppnå et bærekraftig alternativ for å drifte hjelpesenteret til MCHP. Videre forklares fordeler og ulemper ved konfigurasjonene og til slutt hvilken som blir valgt å jobbe videre med i rapporten. Solenergisystemet velges ut i fra hvordan man kan møte h p-senterets energibehov på best mulig måte sett ut i fra MCHP ønsker, det økonomiske, teknologiske og miljømessige aspektet.

2.2.1 Samspill med det lokale nettet eller ikke?

Normalt er det smart å koble solenergisystemer opp imot det lokale nettverket når man har muligheten til det. Grunnen til dette er at da kan man selge den overflødige produksjonen til nettet, da slipper man å ha en lagringsenhet. Dette er ikke en mulighet per dags dato i Zimbabwe. Oppgaven ble til, nettopp fordi det lokale nettet i Zimbabwe nærmere sagt Gweru som h p-senteret er lokalisert, er veldig ustabil. Det betyr ikke at det er uten fordeler å designe et system som samsvarer med nettet. Fordi strøm fra nettet de få gangene det fungerer vil kunne bidra med tilførsel til å dekke forbruket til håp-senteret (også omtalt i teksten som «lasten»). Det å designe et system som kan kommunisere med nettet på en bra måte er komplisert, men gjennomførbart. Den andre måten å gjøre det på er å sette opp et system som er helt selvforsynt, et nettuavhengig system. Det vil gi et enklere system og designe, men da må hele lasten dekkes av solcellene. Et eksempelsystem er illustrert i figur 1.

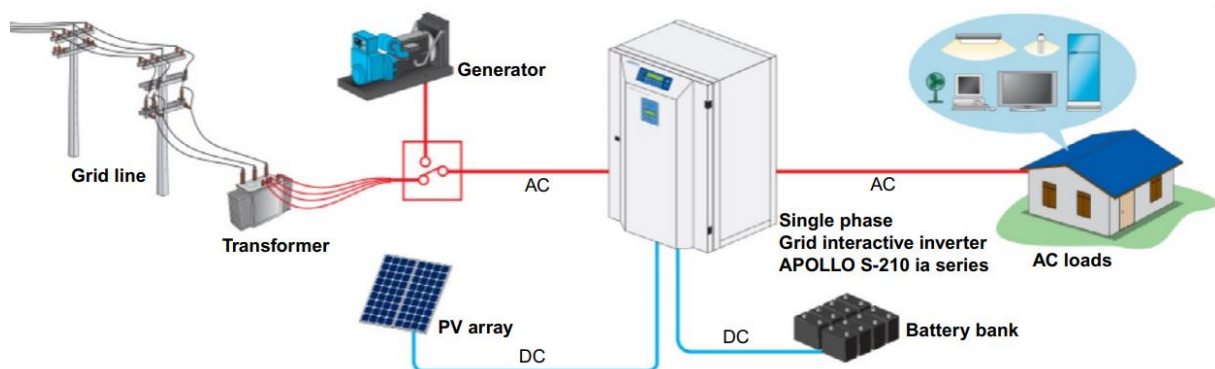


Figur 1: Et nettuavhengig solenergisystem gjengitt med tillatelse fra leonics

MCHP sitt nye håp-senter skal designes som et nettuavhengigsystem. Dette valget ble tatt på grunnlag av at man ikke kan selge overflødig produksjon til nettet i Zimbabwe. Det vil si at man må ha en lagringsenhet i form av batterier uansett løsning. Videre er nettverket kun stabilt i cirka to dager i løpet av uka, som betyr at man ikke kan kontrollere når det vil fungere. Det betyr solcellepanelene må dimensjoneres for å kunne dekke hele lasten til håp-senteret uansett. Kompleksiteten innad design av et nettavhengig system vil ikke gi noen direkte fordel i dette tilfellet. I neste underkapittel sees det nærmere på muligheten til implementasjon av andre energiskapere innad systemet.

2.2.2 Hybrid system

Man må ta i betraktning at den beste løsningen ikke nødvendigvis er den mest miljøvennlige løsningen. Implementasjon av en ekstra måte å skape strøm på kan være nødvendig hvis man skal kunne garantere tilnærmet 100 prosent oppetid uten å overdimensjonere solenergisystemet. Se figur to for et nettavhengig system med en diesel drevet generator eksempel.



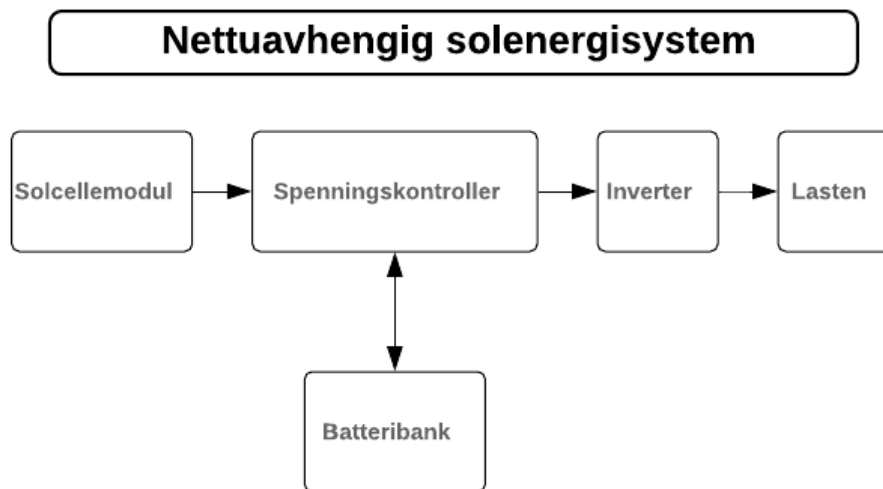
Figur 2: Illustrasjon av et nettavhengig hybrid system, med en diesel drevet generator og PV. Gjengitt med tillatelse av Leonics

Økonomisk sett så vil det trolig være billigere å implementere en diesel drevet generator for å supplere det nettuavhengige systemet med energi hvis produksjonen fra solcellemodulene eller batteriladningen er for lav. Grunnen til denne antagelsen er at ved å implementere en generator kan man dimensjonere ned batteribanken og solcellemodulene som vil være kostnadsbesparende. Drivstoff vil også spille en faktor, men dette blir ikke sett noe nærmere på enn denne antagelsen. Rent teknisk er den eneste forskjellen at det trengs en mer komplisert spenningskontroller som kan regulere tilførselen fra både solcellemodulene og diesel drevet generatoren til last og batteribank. Miljømessig er det bedre å ta i bruk fornybar energi fra solen for å minimere forurensing. Gjennom samtaler med MCHP via både Skype og email kommer det tydelig frem at de ønsker et soldriftet senter. Ut i fra deres ønske om et soldrevet energisystem velges det å ikke implementere et hybrid system for å drifte håp-senteret.

2.3 Valgt løsning, nettuavhengig kun sol

I dette kapitlet sees det nærmere på hvordan håp-senteret skal bli driftet av et nettuavhengig solenergisystem.

Målet er å oppfylle MCHP sitt ønske ved og kun bruke solen som energikilde. Solenergisystemet vil være designet slik som det er illustrert i figur tre. All energien blir høstet fra solen via solcellemoduler. Likestrømmen blir regulert via en spenningskontroller før den lades til batteriene som er koblet til inverteren, som omdanner likestrøm til vekselstrøm, som igjen går til å drifte lasten i håp-senteret. Det er også mulig å bruke en inverter som har funksjonaliteten til både en inverter og en spenningskontroller i ett (Leonics). Se teori underkapittel 3.4 for en videre beskrivelse av hvordan alle komponentene fungerer. Nå som løsning er valgt flyttes fokuset til lasten håp-senteret representerer, se neste kapittel for hvordan håp-senterets forbruk blir estimert.



Figur 3: Blokkkjema av det valgte nettuavhengige solenergisystemet

2.4 Hvordan estimere forbruk?

I dette underkapitlet blir det lagt frem hvordan forbruket ble estimert ved å se på hvilke komponenter som skal driftes, og hvordan man kan gjøre disse mindre energikrevende. Grunnen til at forbruk estimeres er fordi resten av solenergisystemet er avhengig av hva det skal drifte. Det er vesentlig billigere å gjøre energibesparende valg på hva som skal driftes enn å dimensjonere opp systemet. Det antas at forbruket til håp-senteret vil være tilnærmet en typisk husstand som er på 15 600 kWh i året (Of grid potential Zimbabwe). Denne antagelsen er tatt på grunnlag av at selv om håp-senteret ikke har noe form for elektriskforbruk ved oppvarming av vann, så er størrelsen på håp-senteret vesentlig større, og det har flere bruksområder enn en typisk husstand. Det blir bestemt at alt av utstyr som driftes via solenergisystemet er vekselstrøm.

2.4.1 Utstyr som skal driftes via solceller

Dette underkapitlet går gjennom hvilke komponenter som skal driftes av solenergisystemet. Hvert enkelt energibesparendevalg er beskrevet i tekst, se tabellene nederst i dette underkapitlet for en oppsummerende oversikt.

Lys

Det er anbefalt å ha en minimumsstyrke på 300 lumen, som tilsvarer en 30 W glødelampe (Stand-alone photovoltaic systems). For å oppnå samme lysstyrke ved bruk av LED kan man investere i en lyspære som bruker fire watt (any-lamp). Soloppgang varierer fra 05:13 til 06:35 og sol nedgang varierer fra 17:29 til 18:45(time and date). Dette er med på å senke behovet for å ha på lys, fordi håp-senteret blir mest brukt på dagtid. Med dette tatt i betraktning blir brukstiden på lysene satt til seks timer, der det antas tre timer bruk om morgenen og tre timer bruk på ettermiddag/ kvelden.

Datamaskiner

MCHP har fått donert ti bærbare datamaskiner (MCHP e-mail). Dette er kjempebra for organisasjonen, men det medfører også at energiforbruket til disse er faste tall. En ny og effektiv datamaskin har et forbruk på 100 Watt (wholesalesolar). Det antas derfor at maskinene som er donert til MCHP bruker cirka 120 W, og at datamaskinen vil bli ladet opp på cirka fem timer. Som en energibesparelse velges det å installere kun fem ladestasjoner i bygget. Dette vil gi en mindre maks last på solenergisystemet, men det totale forbruket i løpet av dagen vil bli det samme.

Printer

En standard printer som holder til MCHP sitt bruk på håp-senterets kontorer og business senter bruker 100 W (op.cit.). Den er trolig ikke i bruk mer enn en time i løpet av en dag. En energibesparelse i dette tilfellet er å velge bort den ene printeren og velge om printeren skal være på kontoret eller business avdelingen.

Ruter

Ruter har ikke et stort forbruk, den bruker kun syv watt (op.cit.), men den står på hele døgnet med mindre noen skrur den av på slutten av arbeidsdagen. Det antas at denne står på hele døgnet.

Vifter

For å gi et bedre inneklima i håp-senteret må temperaturen kunne reguleres. En enkel måte å gjøre dette på er å installere ni vifter i rommene i bygget. En standard vifte bruker 120 W (op.cit.). Det antas at viften kun står på når det er varmest på døgnet, som gir en brukstid på seks timer (timeanddate). For å spare energiforbruket kan det monteres færre vifter, det velges at seks stykker er minimalt akseptabelt for et behagelig inneklima.

Fryser

En fryser er koblet til strøm hele døgnet, men for å finne ut et estimat av hvor mange timer en fryser trekker maks effekt, som er på 135 W (wholesalesolar) er det vanlig å dele antall timer i døgnet på tre som da gir en brukstid på åtte timer (op.cit.). Dette kan gjøres fordi selv om en fryser er koblet på hele døgnet skrur den seg av og på for å regulere temperaturen riktig.

Kjøleskap

Man kan estimere brukstiden til et kjøleskap på lik måte som ble gjort med fryseren ovenfor. Et billig og gammelt kjøleskap bruker omtrent 1200 W (Energy Research & Social Science) mens et energieffektivt kjøleskap bruker 150 W maks effekt (wholesolar). Det er ønskelig med to kjøleskap totalt, et i undersøkelsesrommet og et i business avdelingen. Her er det store mengder energi å spare ved å investere i et effektivt kjøleskap.

Projektor

Håp-senteret skal være mer enn et hjelpesenter, det skal være et sted for lærdom. Derfor er det ønskelig å ta med energibehovet til en projektor i klasserommet. En standard projektor som kan kjøpes i Zimbabwe bruker cirka 300 W mens den er i drift (atea og classifieds).

Kaffemaskin

En kaffemaskin bruker cirka 1000 W (wholesolar) når den er i bruk, men på en annen side er brukstiden veldig lav. Det antas at kaffemaskinen brukes til å trakte to kaffekanner om dagen, som gir en brukstid på rundt en halvtime daglig. Energibesparelsen valgt her er å kjøpe en vannkoker i stedet som kan brukes til flere ting enn kun kaffe.

Vannkoker

Vannkoker bruker 1200 W (op.cit.), og bruksmønsteret er tilnærmet lik en kaffemaskin.

Mikrobølgeovn

En mikrobølgeovn har et forbruk på cirka 1000 W (op.cit.). Hoved forbruket vil bli under lunsjtid og til frokost på morgenen. Med dette tatt i betraktning settes brukstiden til to timer daglig.

Oppvaskmaskin

Effekttrekket til en oppvaskmaskin ligger på rundt 1500 W (op.cit.). En oppvaskmaskin er noe som kan anses som en «ikke-nødvendighet», men det blir valgt å ta det med i beregningene for totalt energiforbruk siden det er et positivt tilskudd til håp-senteret. Når det er sagt er det også en enkel energibesparelse og ikke gå til innkjøp av en oppvaskmaskin. Brukstiden blir antatt å være cirka en og en halv time siden det er cirka den tiden det tar for et oppvaskprogram å fullføre.

Vaskemaskin

En vaskemaskin bruker rundt 800 W (op.cit.). Brukstiden er tilnærmet dobbel så lang som oppvaskmaskin, siden det antas at vaskemaskinen må kjøres to ganger i løpet av en dag for å kunne få rengjort klærne til ansatte og elever.

Diverse

Det har blitt valgt å ta med en diverse post som vil dekke andre ting som går på strøm, for eksempel telefon-/ kamera-/ nettbrettladere også videre.

Tabell 5: Standard utstyr og energiforbruk

Utstyr x antall	Effektforbruk	Daglig brukstid (timer)	Energiforbruk (daglig)	Energiforbruk (årlig)
Lys x 10	300 W	6	1,8 kWh	657 kWh
Bærbare datamaskiner x 10	1200 W	5	6 kWh	2190 kWh
Printer x 2	200 W	1	0,2 kWh	73 kWh
Ruter	7 W	24	0,2 kWh	61,3 kWh
Vifter x 9	1080 W	6	6,5 kWh	2372,5 kWh
Fryser	135 W	8	1,1 kWh	401,5 kWh
Kjøleskap x 2	2400 W	8	19,2 kWh	7008,0 kWh
Projektor	300 W	2	0,6 kWh	219,0 kWh
Kaffetrakter	1000 W	0,5	0,5 kWh	182,5 kWh
Vannkoker	1200 W	0,5	0,6 kWh	219,0 kWh
Mikrobølgeovn	1000 W	2	2,0 kWh	730,0 kWh
Oppvaskmaskin	1500 W	1,5	2,3 kWh	821,3 kWh
Vaskemaskin	800 W	3	2,4 kWh	876,0 kWh
Diverse	100 W	6	0,6 kWh	219 kWh
Totalt			43,9 kWh	16 030 kWh

Tabell 6: Energibesparende utstyr og energiforbruk

Utstyr x antall	Effektforbruk	Daglig brukstid (timer)	Energiforbruk (daglig)	Energiforbruk (årlig)
Lys x 10	40 W	6	0,2 kWh	87,6 kWh
Bærbare datamaskiner x 10	1200 W	5	6 kWh	2190 kWh
Printer	100 W	1	0,1 kWh	36,5 kWh
Ruter	7 W	8	0,06 kWh	20,43 kWh
Vifter x 6	720 W	6	4,3 kWh	1576,8 kWh
Fryser	135 W	8	1,1 kWh	401,5 kWh
Kjøleskap x 2	300 W	8	2,4 kWh	876 kWh
Projektor	300 W	2	0,6 kWh	219,0 kWh
Kaffetrakter	0 W	0	0 kWh	0 kWh
Vannkoker	1200 W	0,5	0,6 kWh	219,0 kWh
Mikrobølgeovn	1000 W	2	2,0 kWh	730,0 kWh
Oppvaskmaskin	0 W	0	0 kWh	0 kWh
Vaskemaskin	800 W	3	2,4 kWh	876,0 kWh
Diverse	100 W	6	0,6 kWh	219 kWh
Totalt	5902 W		20,4 kWh	7451 kWh

Som illustrert i tabellene ovenfor er det mye energi å spare ved å minimere bruken av luksuriøse gjenstander som kaffetrakter og oppvaskmaskin samt gå til innkjøp av energieffektive versjoner av produktet som for eksempel kjøleskap og lys. Energiforbruket ble regnet ut via formel en.

$$Energiforbruk_{\text{årlig}} = \text{Antall} \cdot \text{Effektforbruk} \cdot \text{Daglig brukstid}_{\text{timer}} \cdot \text{Dager i året} \quad (1)$$

2.4.2 Hvor mye er på samtidig?

Det finnes hverken norske eller internasjonale normer som fastsetter samtidighetsfaktorer, men boka (Ormbostad, 2018) gir informasjon om dimensjonering av overbelastningsvern for strøm listet i tabell åtte, den samme samtidighetsfaktoren kan brukes for maks effektforbruk til håp-senteret fordi vernet skal tåle maks strøm, og maks strøm henger sammen med maks effekt og da og maksimalt forbruk.

Tabell 7: Samtidighetsfaktor

Antall kurser	Bolig
2-3	0,8
4-5	0,7
6-9	0,6
10+	0,5

Ut i fra tabell åtte sin informasjon om energiforbruk og samtidighetsfaktoren valgt, finner man det maksimale effektforbruket til håp-senteret ved hjelp av utregningen gjort ut i fra formel to. Samtidighetsfaktor kan være både 0,6 og 0,7. Det velges å bruke den høyere av de to for å forsikre at solenergisystemet ikke blir underdimensjonert.

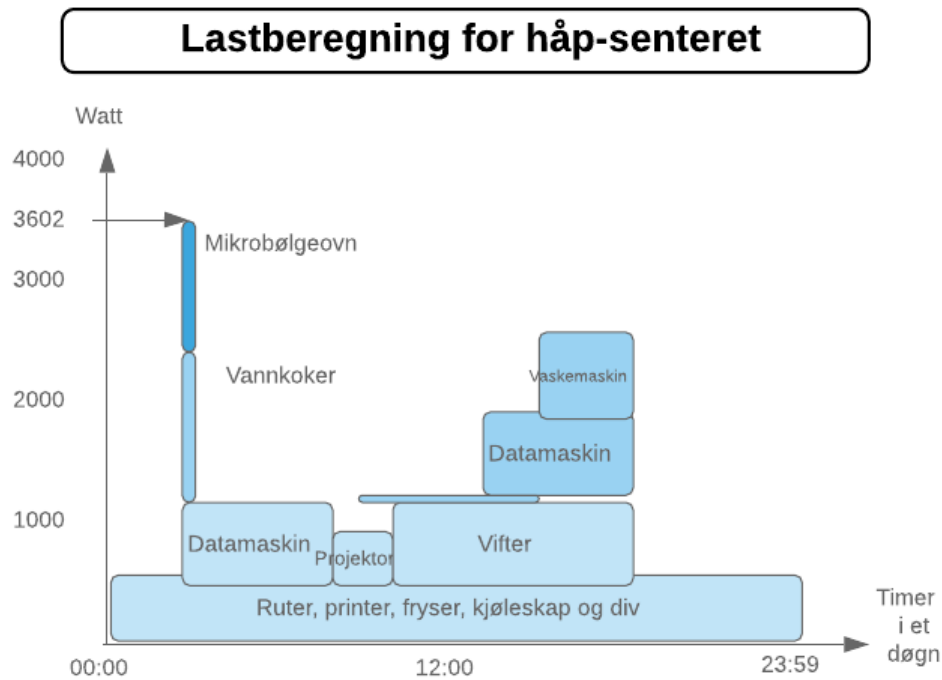
$$P_{maks,h\ddot{a}p-senter} = \text{Energiforbruk}_{\ddot{a}rlig} \cdot \text{Samtidighetsfaktor} \quad (2)$$

$$P_{maks,h\ddot{a}p-senter,daglig} = 5902 \text{ W} \cdot 0,7$$

$$P_{maks,h\ddot{a}p-senter,daglig} = 4131,4 \text{ W} \approx 4130 \text{ W}$$

Tallet ovenfor sier at solenergisystemet må kunne håndtere et maksimalt effekttrekk på 4130 W fordi det er den effekten som mest sannsynlig kommer til å bli brukt samtidig i løpet av dagen. Dette er en enkel, men utprøvd metode. En annen og mer detaljert metode er å sette opp et tidsskjemadiagram og se nærmere på hva som brukes når. Videre kan denne informasjonen brukes til å finne den maksimale effektmengden grafisk. I figur fire ser man at det høyeste punktet skjer på morgenen. Man kan senke dette tallet med å sørge for å kun bruke enten mikrobølgeovnen eller vannkokeren om gangen. Dette er ikke ønskelig, fordi målet er at

brukerne av håp-senteret ikke skal føle seg begrenset. Ved å se nærmere på effekttoppen på morgenen kan man lese av at det er på cirka 3602 W, for å legge inn en sikkerhets margin velges det å legge til 20 % som gir tilnærmet 4300 W. Dette er litt høyere enn ved bruk av samtidighetsfaktor metoden, men fortsatt tilnærmet likt. Dette er med på å styrke troverdigheten at effekttrekket er korrekt. Resten av oppgaven utføres ut i fra et maks effekttrekk på 4300 W.



Figur 4: Last behov for håp-senteret, for å visualisere $P_{maks} = 3602\text{ W}$

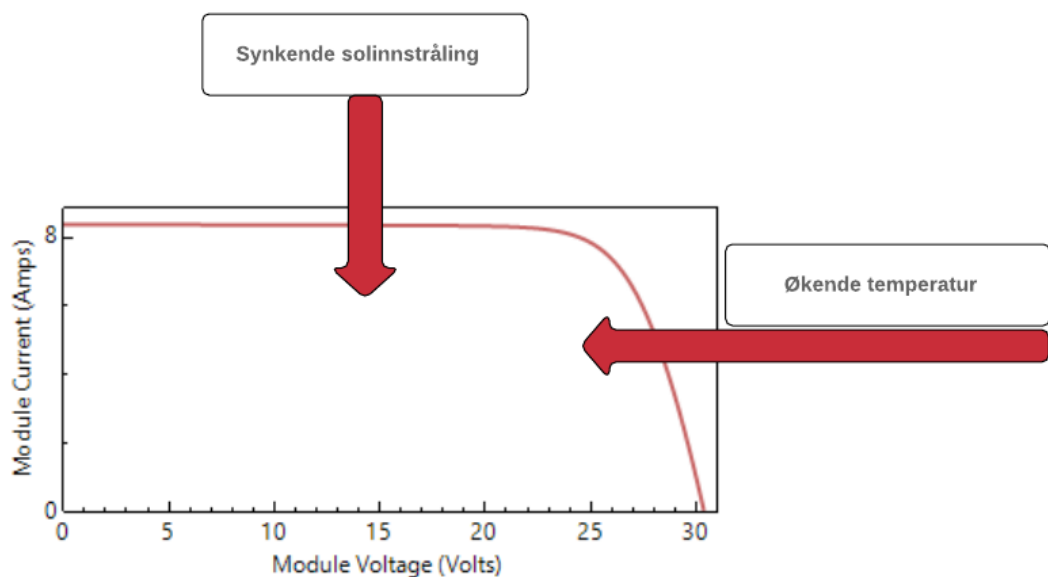
2.5 Energitap og tiltak

I dette kapitlet er fokuset å fremheve informasjon rundt tap og hensyn, det er valgt å dele dette inn i to deler. Omgivelser, som vil si verden utenfor solenergisystemet og selve systemet. Viktige faktorer å ta hensyn til er temperatur, solinnstråling og skygge. Innad systemet er det tap i alle komponenter og kabling, valg og design av disse er derfor viktige for å minimere tap. Resultatene av alle tap innad systemet som kom fra simuleringen er lagt ved som vedlegg under B.3.

2.5.1 Omgivelser

Effekten til solcellemodulen avhenger av temperatur og solstråling (PVGIS) I-V diagrammene nedenfor er et eksempel av hvordan effekten (formel tre) til en solcelle blir dårligere ved høyere temperaturer fordi spenningen produsert faller. Og ved lavere solinnstråling fordi strømmen generert blir mindre.

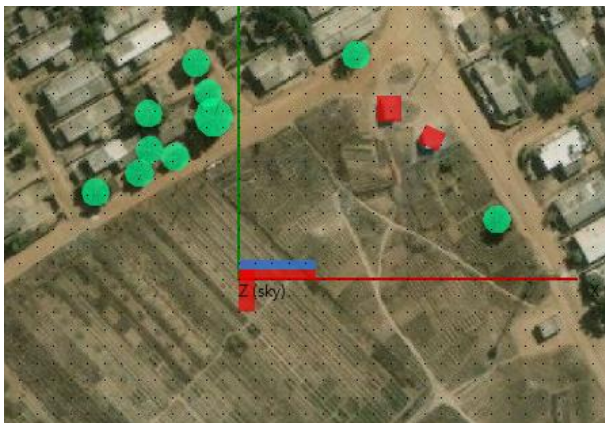
$$P = I \cdot V \quad (3)$$



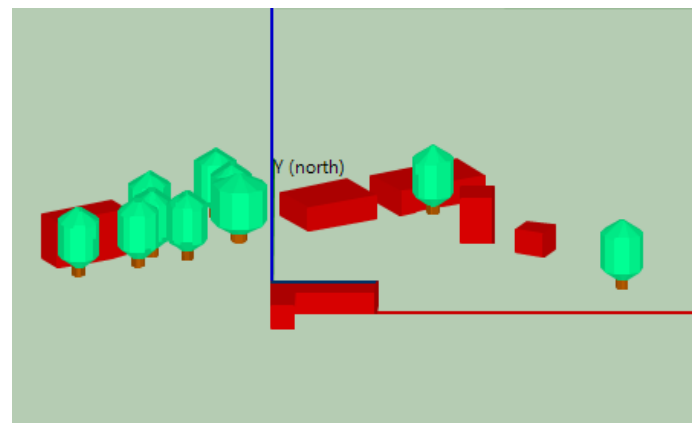
Figur 5: Grafisk illustrasjon av hvordan temperatur og solinnstråling påvirker Volt og Strøm

Korrigerende tiltak for å forhindre temperatur- og solinnstrålingstap er å montere solpanelene med en helningsgrad som sørger for størst mulig solinnstråling dette blir gjort under simuleringen i underkapittel 2.6.3 og teorien bak helningsgrad beregning er beskrevet i underkapittel 3.2. Man burde også sørge for å rengjøre skitt og støv fra panelet. Temperatur er noe som må tas spesielt hensyn til med tanke på at håp-senteret er lokalisert i Zimbabwe. Et korrigerende tiltak er å montere solpanelene med rikelig tilgang til luftgjennomstrømming, dette blir og beskrevet nærmere i underkapittel 2.7.

Grunnen til at skyggehåndtering er viktig er ikke bare for å maksimere solinnstrålingen, men dersom solcellepanelene er koblet i serie og en liten del skyggelegges. gjør dette at hele solcellestrengens energiproduksjon synker kraftig. Det ble valgt å ta i bruk satellittbilde av lokasjon til håp-senteret og bruke 3D tegning innad SAM til å rekonstruere trær og bygninger, som kan forårsake skyggeleggingen på solenergisystemet og dets følger sammen med solinnstrålingsdata se figur seks og syv.



Figur 6: Satellittbilde med valgte obstruksjoner, laget i SAM



Figur 7: 3D bildet av valgte obstruksjoner, laget i SAM

2.5.2 Tap innad solenergisystemets komponenter

I forrige underkapittel ble det skrevet om tapene utenom solenergisystemet, i dette underkapittelet skal det gjennomgås nærmere hvilke tap som finnes innad systemet. Det vil være tap i alle komponenter og kablinger i mellom dem. Det er derfor viktig å ta dette med i betraktning når man designer systemet for å unngå underdimensjonering. Generelt kan man sette en inverters effektivitet til 90 %, batteribanken sin effektivitet til 85 % (Renewable and Sustainable Energy Reviews). Effektiviteten til spenningskontroller antas til å være i det samme området, og effektiviteten til kablene vil variere ut ifra lengden og tverrsnittet som blir brukt innad systemet.

$$Effekt_{AC} = P_{SP} \cdot \eta_{SK} \cdot \eta_B \cdot \eta_I \cdot \eta_{L,tot} \quad (4)$$

P_{SP} = Effekten fra solcellepanelet

η_{SK} = Effektiviteten til spennings kontroller

η_B = Effektiviteten til batteribanken

η_I = Effektiviteten til inverteren

$\eta_{L,tot}$ = Effektiviteten til alle ledninger i solenergisystemet

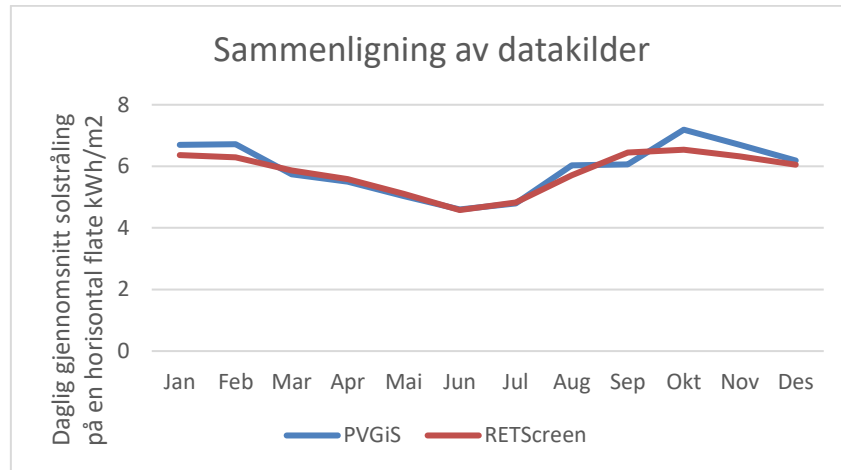
2.6 Simulering

I dette kapitlet skrives det kort om hvilke data som ble valgt og hvorfor, videre sees det nærmere på viktige parametere og begrensinger til simuleringsprogrammet SAM. Det ses på forskjellen mellom et stasjonært, et bevegelig panel og produksjonen fra dem. Til slutt blir nøkkeldata fra simuleringen lagt frem, mer detaljert rundt solenergisystemet og dataene brukt er lagt ved som vedlegg.

Simuleringsprogrammet SAM ble valgt på grunnlag av at det har et stort samfunn på nettet som ble tatt i bruk under arbeidet av oppgaven, og programmet er bra designet og forståelig. I tillegg har det mulighet til å legge inn ekte komponenter som spesifikke solcellemoduler og inverterer fra virkeligheten.

2.6.1 Data som brukes under simulering

I dette underkapitlet skrives det om hvilke data som er valgt til bruk i videre simulering og hvorfor. Simuleringsprogrammet som brukes er System Advisor Model og kalt SAM, dette programmet tilbyr en måte å innhente data for store deler av verden på. Dette skjer via databasen til (NREL) den dekker ikke Afrika, derfor brukes en tredjepart (PVGIS) for å laste ned data for lokasjon utenfor Gweru i Mkoba. Bredde- og lengdegrad brukt for innhenting av data, er -19,467 Sør og 29,750 Øst som er tilnærmet der håp-senteret skal bygges.. Se vedlegg C for en oversikt over data brukt. Via et tidligere fag ved NTNU i Gjøvik ble jeg introdusert til programmet RETScreen, via RETScreen ble data fra NASA satellitter funnet og sammenlignet med data fra PVGIS dette er illustrert i figur åtte. Sammenligningen ble gjort for å sjekke validiteten til kildene, som viste seg å være tilnærmet like. Datasettet som brukes er av typen TMY, det vil si typisk meteorologisk år sett ut i fra data fra 2007 til 2016. Solstråling data blir generert via kalkulasjoner fra satellitt data. Hvis du ønsker å lese mer om dette se kilden (PVGIS data and calculation).



Figur 8: Sammenligning av datakilder for solstråling:

2.6.2 Viktige parametere og begrensinger

Innad dette kapitlet vil viktige parametere, og grunnlag for valg under simulering bli beskrevet. På et overflatenivå handler det om å møte lasten som representerer håp-senteret, men dette må oppnås med hensyn på for eksempel plassmuligheter, hvordan solenergisystemet kobles sammen, eventuelt flere pådrivere av energi og budsjett.

Under design av solenergisystemet er målet å oppnå en balanse mellom komponenter for å oppnå best mulig resultat. Et viktig parameter er forholdet mellom likestrøm og vekselstrøm (sam.nrel.gov). Formelen er gitt ved:

$$\frac{\text{Likestrøms kapasitet fra PV modul [kW]}}{\text{Vekselstrøm kapasitet til inverter [kW]}} \approx 1,2 \quad (5)$$

Det er ikke slik at forholdet alltid er best ved verdien 1,2 det som er viktig er å finne en balanse som fungerer for solenergisystemet ved å se på solcellemodulene sin produksjon og inverteren sin evne til å omdanne likestrøm til vekselstrøm. Hvis produsert effekt fra solcellemodulene er mye større en inverter medfører det tap i form av klipping og hvis det er motsatt kan det bety unødvendige innkjøpskostnader på grunn av en overestimert inverter, og effektiviteten til inverteren vil gå ned. For mer informasjon om komponenter se underkapittel 3.4. Solenergisystemet til håp-senteret designes med tanke på at kapasiteten fra solcellemodulene skal kunne levere effekt til hele lasten under store deler av dagen på en solrik dag, i tillegg til å ha nok til å lade opp batteriene. Når sol energien blir for lav vil batteribanken supplere energi til lasten. Det ble valgt å bruke mest mulig utstyr som er tilgjengelig i Zimbabwe og omegn.

Dette gjøres for å minimere klimapåvirkningen som frakt med båter, og fly medfører. Leverandørene som ble brukt er (Setsolar) og (Classifieds), denne informasjonen ble gitt via en samtale med en som har levert solcelleanlegg i Zimbabwe for IuG tidligere.

En begrensning til simuleringsprogrammet SAM er at det er laget for å simulere nettavhengige systemer, se underkapittel 5.3 for forklaring rundt tilnærmingen som er gjort slik at SAM kan brukes til å simulere Håp-senterets nettuavhengige system. Solcellemodulene skal monteres på taket til håp-senteret. Det betyr at plassen som panelene kan monteres på er begrenset. Håp-senteret er ikke bygget enda, men en skisse av plantegningene er lagt ved i Vedlegg A 1-2. Ut i fra tallverdier spesifisert, og at man regner med at bygningen blir plassert optimalt for solinnstråling. Det vil det si at bygningen bygges slik at solcellemodulene kan monteres mot ekte nord, (forskjellen ved magnetisk og ekte nord er beskrevet i underkapittel. 3.2.7) med en takhelning mellom 14-32 grader (Vedlegg C. 1). Størrelsen tilgjengelig varierer fra $74,75 m^2$ til $27,1 m^2$. Disse tallene ble funnet ut i fra en antatt takvinkel på 23 grader og trigonometrisk utregning.

Solenergisystemet skal kunne tilføre nok energi til å drifte håp-senteret som har en gjennomsnittlig last på 20,4 kWh daglig, det tilsvarer 7451 kWh i året. Det maksimale effekttrekket daglig er antatt å komme på morgen, og vil maksimalt være 4,3 kW.

Batteribanken skal være stor nok til å kunne drifte håp-senteret i tre dager uten soltilførsel, det vil si 61,2 kWh som er tilgjengelig, på grunn av at batteriene hverken kan lades helt ut eller opp blir batteribanken større. Det ble konstruert et 3D scenario for å modulere de reelle skyggeforholdene der håp-senteret skal konstrueres. Dette ble beskrevet nærmere i kap 2.5.1. Se vedlegg C. 5 for beskrivelse av skyggeforhold etter tidspunkt og dato.

2.6.3 Simulering av produksjon med og uten solfølgefunksjonalitet

Dette underkapitlet går inn på energi produksjonsendringen ved å installere bevegelige solcellemoduler, mot stasjonære. Målet er å se om det er verdt å komplisere installasjonen og få en dyrere innkjøpskostnad ved implementering av bevegelige deler som og kan føre til mer vedlikehold.

Det ble valgt å først se på produksjon av årlig energi i kWh, detaljer rundt valgene innad simuleringen er lagt ved i vedlegg B.1. Resultatene er lagt frem i tabellen nedenfor.

Tabell 8: Solcellepanel orientering energiskapning

Solcellepanel orientering	Årlig energi (år 1)
23 grader med respekt til det horisontale	7 409 kWh
Årstider endring	7 670 kWh
Asimute sporing	8 734 kWh
1 akse sporing	9 299 kWh
2 akse sporing	9 608 kWh

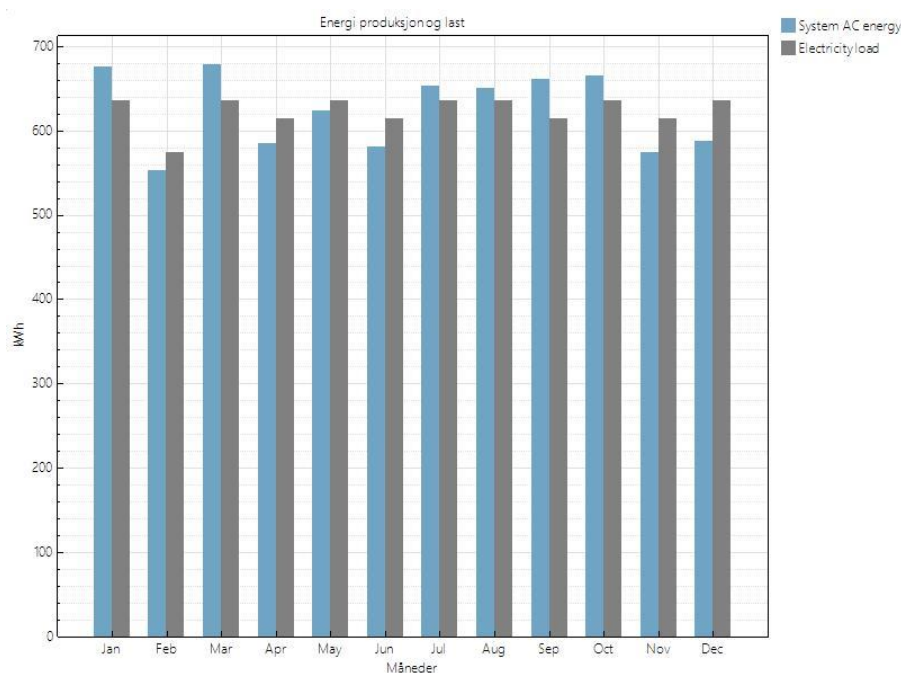
Ut i fra tabellen er det tydelig at å endre solcellepanelene sin helningsgrad etter årstider ikke vil være verdt en økning på 261 kWh i året, tilsvarende 3,5 prosent. Videre ser man på aksesporingene at det ikke er verdt å implementere et to-akse system, på grunn av det er tilnærmet likt et singulært-akse systemet. Dette øker den årlige energiproduksjonen med 1890 kWh fra den stasjonære versjonen, som er en vesentlig økning på cirka 25 prosent. Isolert sett ser det ut som det beste valget er å installere et singulært-akse solfølgesystem for solcellemodulene. Da har det ikke blitt tatt i betraktning at solenergisystemet vil bli dyrere og det vil få bevegelige deler som kan stoppe å fungere. Hvis det ikke blir reparert vil panelene stå i en tilfeldig vinkel som vil gi dårlig solinnstråling. I følge (Kenyan energy centre) er et problem i Afrika at solenergisystemene blir stående i stedet for å bli reparert. Det verste som kan skje er at solenergi sin følgefunksjon stopper å fungere på vinteren med en grad på 81 grader, dette gir en årlig energi på 4 629 kWh (Vedlegg C. 4) som er vesentlig mindre enn ved 23 graders helning. Det velges derfor å installere et stasjonært, holdbart og trygt system som er montert på en helningsgrad på 23 grader ved respekt til det horisontale planet.

2.6.4 Simulering av valgt alternativ, nettuavhengig kun sol

Solenergisystemet sin generelle oppbygning er beskrevet i underkapittel 2.3 og komponentene i systemet er forklart i underkapittel 3.3. Se vedlegg B.1 for en detaljert fremgangsmåte med valg og notater som ble tatt under simuleringen.

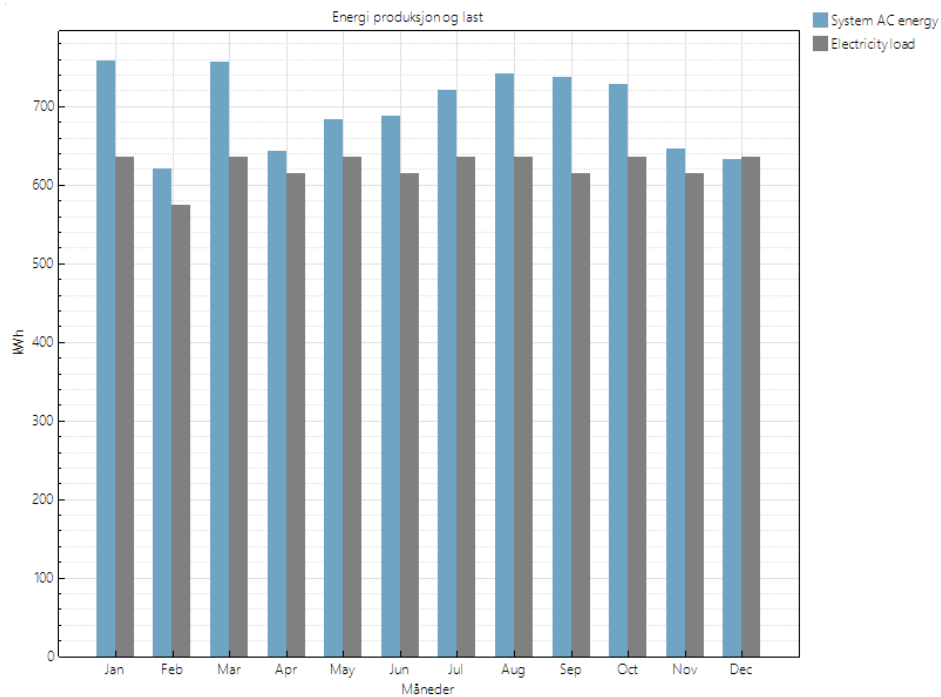
Simuleringen går ut på å finne en balanse mellom solcellemodulene, batteribank og inverter for å dekke behovet til håp-senteret. All produksjon av elektrisitet skjer via solpanelene, og batteribanken står for all reservestrøm. Valg av utstyr ble gjort ut i fra hva som var tilgjengelig i Zimbabwe og produkter med tilsvarende karaktstikk ble satt inn under simuleringen.

Den første simuleringen ble gjennomført med fokus på den årlige energiproduksjonen med et mål om at den skulle dekke det årlige energibehovet til håp-senteret. Dette ble oppnådd med en produksjon på 7 490 kWh. Problemet viste seg når man ser på den månedlige produksjonen i bl tt mot lasten i grått i figur ni. Der kommer det frem at produksjonen ble for lav i noen måneder og for høy i andre.



Figur 9: Energi produsert mot årlig last med DC kapasitet på 4699 kW

For å løse problemet med for lite produksjon ble det først prøvd å dimensjonere opp batteribanken der antagelsen var at den overfløydige produksjonen skulle lagres for å bli brukt ved behov. Batteribanken skal ha en størrelse som dekker håp-senterets energikrav i tre døgn uten noe produksjon. Siden batteribanken hverken kan lades helt opp eller ut havner den på 81,6 kWh. Det var ingen endring i energitilførselen til håp-senteret ved å doble størrelsen på batteribanken. Det ble derfor valgt å se på effekten av å øke solcelleproduksjonen ved å implementere tre paneler ekstra. Illustrert i figur ti ser man at effektforbruket til håp-senteret blir dekt i alle måneder. Det er også tydelig overproduksjon i flere måneder. Denne energien vil ikke bli produsert ved implementasjonen av solenergisystemet i håp-senteret, fordi etter batteribanken er ladet opp og lasten sitt behov er møtt vil spenningskontrolleren koble vekk solcellepanelene.



Figur 10: Energi produsert mot årlig last med DC kapasitet på 5286 kW

2.6.5 Innkjøpskostnad

Priser på modul og inverter ble funnet via (Freecleansolar) modulene kostet 2 562 kr stk. Inverteren 20 983 kr og batterikostnaden ble estimert via SAM med en kostnad på 1 144 kr per kWh (medium) som ble 93 392 kr. Til sammen koster solenergisystemets tre viktigste komponenter 183 549 kr. SAM har standard priser lagt inn i programmet for det resterende utstyr og installasjon på totalt 14 kr per watt installert som ble 76 644 kr. Et gjennomsnittlig solenergisystem koster 42 kr per watt installert (op.cit.), solenergisystemet som skal drifte håpsenteret havner på 50 kr per watt installert, noe som er med å styrke troverdigheten til kostnadene i tabell ni. Siden solenergisystemet skal installeres via frivillig arbeid ender den totale kostnaden på 38,81 kr per watt installert, som er rundt 200 000 kr.

Tabell 9: Nettuavhengig kun sol

Komponent x antall	Navn	Spesifikasjoner	Pris
Modul x 27	Suntop Solar Energy TOP-S-195S6A	Se vedlegg D.1	69 174 kr
Inverter	Yaskawa Solectria Solar: PVI 4000-208 [208V]	Se vedlegg D.2	20 983 kr
Batteribank		Se vedlegg D.3	93 392 kr
Resterende utstyr og installasjon		Se vedlegg E.1	76 644 kr
Totalt:			260 193 kr
Total, IuG gratis installasjon			200 247 kr

2.7 Montering og vedlikehold

I dette kapitlet beskrives hvordan solenergisystemet skal monteres og hvordan det vil bli vedlikeholdt for å gi tiltenkt resultat. Når det kommer til montering vil monteringsstativ variere ut i fra hvilke typer solcellemoduler man skal installere, men når de skal monteres er sikkerhet viktig. Siden panelene skal monteres på taket må man ta hensyn til vinden for å sikre at modulene ikke kan blåses ned. Det må derfor monteres stormkroker som vil sørge for ekstra sikring. Det er viktig å passe på å bruke materialer som ikke ruster siden panelene vil stå ute året rundt. Det er vesentlig å montere komponenter med minimal lengde i mellom hverandre for å unngå både utgifter og tap i kabling. Det er også viktig å gi komponentene nok plass for å skape luftgjennomstrømning som bidrar med å holde temperaturen nede. Dette gjøres ved å montere solcellemodulene med mellomrom mellom panelene og taket, og batteribanken må monteres i en boks med god plass. Den mest utsatte komponenten for å skape systemsvikt er batteribanken (Kenyan energy centre) og når den først må byttes ut er det dyrt, det er derfor essensielt å få på plass en vedlikeholdsplan som følges av noen på stedet med regelmessige mellomrom.

3 Teori

I dette kapitlet sees det nærmere på hvordan solenergi blir utnyttet, hvordan solenergisystemets komponenter fungerer, hvordan sollys oppstår og oppfører seg.

3.1 Sollyset

Innad de neste underkapitlene beskrives først sollysets opprinnelse, solen. For å gå inn på hvordan jorden og solas samspill fører til årstider og hva som skjer med sollyset når det treffer atmosfæren før det kan bli høstet og brukt til energi for h ap-senteret.

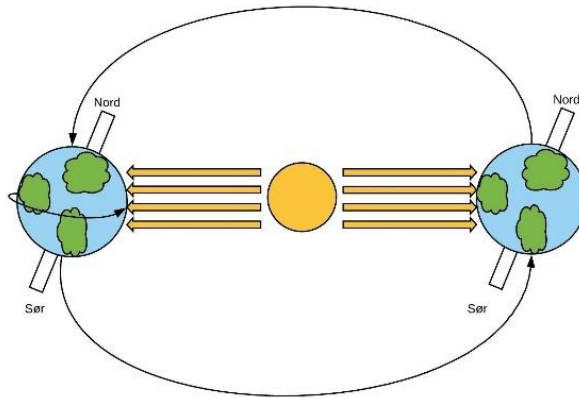
3.1.1 Solen

Solen er ansett som en gigantisk fusjonsreaktor som omdanner hydrogen til helium dette skaper en enorm kraft med e effektivt svart legeme temperatur på 5760 Kelvin som er det samme som 5 487 Celsius. Eksakt har solen en diameter på $1,39 \cdot 10^9 m$ og produserer en kraft på $3,8 \cdot 10^{20} MW$ (Solar Energy Engineering kapittel 2). All denne kraften blir sendt ut fra solens overflate i alle retninger og siden solen er cirka $1,5 \cdot 10^8$ km unna jordensom treffer kun $1,7 \cdot 10^{14} kW$ jordens atmosf ere, nå skrives «kun» fordi det er en veldig liten andel av hva solen produserer, men dette er fortsatt en enorm mengde kraft.

3.1.2  rstider

Under denne teksten vil solen og jordens forhold bli beskrevet fra ståstedet vi har på jorden, mens vi ser på solens bane på himmelen. Denne banen varierer i løpet av året. Grunnen til at solen har forskjellige baner i løpet av året er at jordens akse har en helning på 23,5 grader i forhold til solen(op.cit.), se figur 11 for en illustrasjon. Dette medfører at solen treffer jordskorpen med forskjellig intensitet. Lengden på dagene forandres og jorden f r årstider, det er fire datoer som skiller seg ut i løpet av året. For den s rlige halvkule er høstjevndøgn den 20. mars og vårjevndøgn 23. september, på disse datoene er natten like lang som dagen. Vintersolverv er 21. juni, dette er den mørkeste dagen i året mens sommersolverv er den dagen med mest sol som faller på 22. desember.

Dette er viktig å forstå når man planlegger et prosjekt slik som elektrifiseringen av håp-senteret i Zimbabwe for å kunne optimalisere energiskapningen.



Figur 11: Vinter og sommer illustrasjon, figur produsert selv

En annen måte å spore solen på er ved hjelp av tiden. Det høyeste punktet på himmelen er ikke alltid klokken 12, det punktet varierer fra dag til dag. Dette er fordi tiden vi representerer med klokken varierer med faste intervaller mens jordens bane rundt solen ikke er en sirkel, den har en mer oval tilnærming. Dette medfører at jorden ikke har en fast hastighet. For å finne ut tidsdifferansen mellom klokken og soltid brukes en ligning som heter tidsjevningen eller «equation of time» på engelsk. Se ligning seks.

$$Tidsjevning = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) [min] \quad (6)$$

$$B = (N - 81) \cdot \frac{360}{364}$$

N = Dagsnummer (tidligere brukt i metode kapitlet under helningsvinkel utregning)

Tidsjevningen kan brukes til å finne soltiden hvor som helst på jorden. Man tar utgangspunkt i greenwich standard meridian tidssone sammen med andre faktorer, se formel syv. Hvis lokasjonen er vest for greenwich brukes pluss og motsatt ved øst.

$$\text{Soltid} = \text{LKT} + T \pm 4(\text{SL} - \text{LL}) - \text{ST} [\text{min}] \quad (7)$$

LKT = Lokasjon klokke tid

T = Tidsjevningen

SL = Standard lengdegrad

LL = Lokal lengdegrad

ST = Sommertid, den er enten 0 min eller 60 min og gjelder kun i deler av verden

3.1.3 Sollyset som treffer jordskorpen

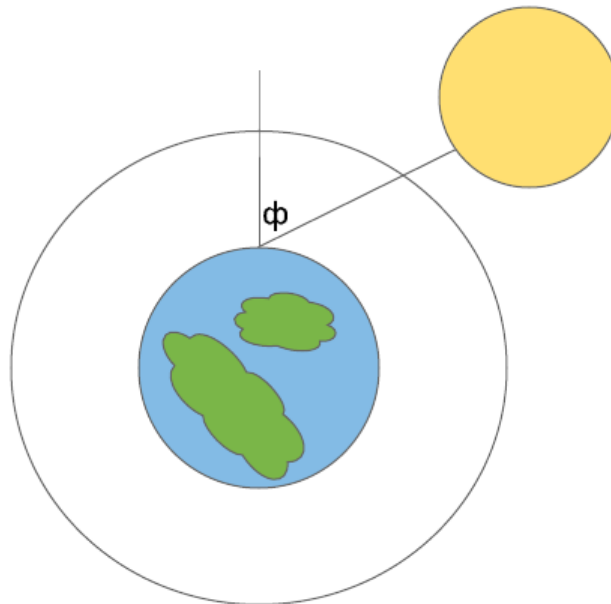
Mellom solen og solenergisystemet er det mye som sollyset ferdes igjennom. Dette påvirker mengden sollys og styrken på sollyset. Når det kommer til å utnytte sollyset til å skape kraft er det kun ultrafiolett, infrarød og synlig lys som kan brukes til å oppnå dette. Det vil si at kun sollys med bølgelengde mellom 0,15 og 3,0 mikro meter er interessant for prosjektet (Solar Energy Engineering kapittel to). Gjennom målinger fra blant annet romferdsoppdrag og satellitter viser at solinnstrålingen varierer fra 1330 W/m^2 når solen er lengst unna jorden, til 1400 W/m^2 når solen er nærmest jorden. Denne distansen varierer som nevnt tidligere fordi jordens bane rundt solen er tilnærmet oval. For å regne ut denne verdien til ulike dager på året brukes formel åtte.

$$G_{on} = G_{sk} \cdot \left(1 + 0,33 \cos\left(\frac{360 \cdot N}{365}\right)\right) \quad (8)$$

G_{sk} = Solkonstanten = $1366,1 \text{ [W/m}^2\text{]}$

Videre skal det sees på atmosfærisk demping, nærmere sagt hvordan atmosfæren beskytter mot stråling, men som en følge av dette medfører det lavere mengde innstråling til solenergisystemet. Når solinnstrålingen treffer atmosfæren blir en del reflektert ut i rommet igjen, mens resten fortsetter inn i atmosfæren der de enten blir absorbert, spredt utover (også kalt diffus stråling) eller den går direkte igjennom. Viktige faktorer i atmosfæren (op.cit.) som påvirker solinnstrålingen er blant annet tykkelsen på ozonlaget, distansen mellom ytterste laget av atmosfæren og enheten som tar opp solinnstrålingen. Andre faktorer er mengden skyer, forurensing og andre obstruksjoner som støv, vann eller lignende. Antall obstruksjoner som kan forårsake tap for solinnstråling vil øke desto lenger ferd sollyset har. Fordi da vil luftmassen også øke, denne lengden kan beskrives med formell ni via sol senitvinkelen [ϕ]. Når luftmassen er lik en, er senitvinkelen lik null grader, dette representerer den korteste veien solinnstrålingen må gå igjennom atmosfæren for å nå jordskorpen, se figur tolv.

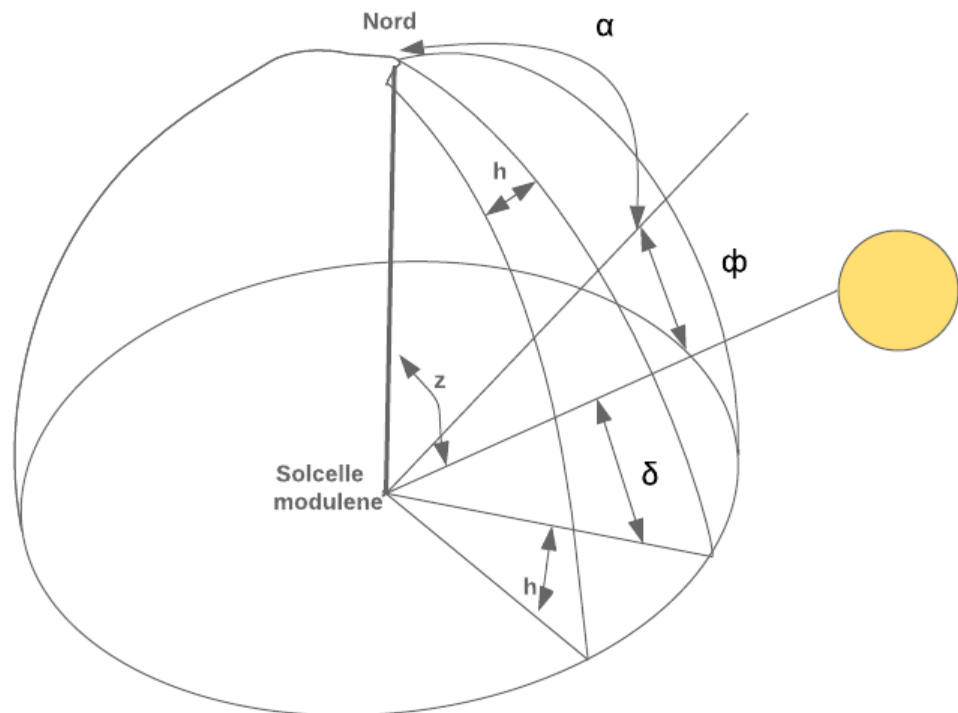
$$\text{Luftmasse} = m = \frac{1}{\cos(\phi)} \quad (9)$$



Figur 12: Luftmasse og senitvinkel sammenheng

3.2 Vinkler brukt for å utnytte sollyset til energi

I dette kapitlet blir alle vinkler som er brukt i rapporten forklart grundig, med utgangspunkt tatt ut i fra en observator på jordens overflate sitt ståsted. Alle vinkler omtalt i dette underkapitlet unntatt magnetisk deklinasjon og innfallsvinkel er illustrert i figur 13.



Figur 13: Vinkler illustrert

3.2.1 Deklinasjonsvinkel [δ]

Deklinasjonsvinkelen er vinkelen mellom ekvator planet, og en tiltenkt linje fra solen sentrum trukket til jordoverflaten. Den varierer i løpet av året på grunn av årstidene, deklinasjonsvinkelen har positivt fortegn på sommeren og negativt fortegn på vinteren (Solar Energy Engineering kapittel to). Deklinasjonsvinkelen for en gitt dag i løpet av året kan bli funnet via formel ti. Når man vet deklinasjonsvinkelen kan man sette opp solcellepanelet vinkelrett mot solstrålen for å oppnå størst mulig sollys eksponering.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (284 + N)\right) \quad (10)$$

N = Dagsnummer finnes gjennom informasjonen innad tabell 10.

Tabell 10: Dagsnummer for 2019

Måned	Dagsnummer for 2019
Januar	Dato
Februar	Dato + 31
Mars	Dato + 59
April	Dato + 90
Mai	Dato + 120
Juni	Dato + 151
Juli	Dato + 181
August	Dato + 212
September	Dato + 243
Oktober	Dato + 273
November	Dato + 304
Desember	Dato + 334

3.2.2 Timevinkel [h]

Timevinkelen beskriver gradene som jorda må roteres for å få meridianen på stedet som blir undersøkt direkte mot en tiltenkt linje fra solen til jord overflaten (op.cit.). Den kan bli funnet ved bruk av flere formler, formel elleve sier at timevinkelen kan finnes ved bruk av tilsynelatende soltid. Den bruker det faktum at jorden kan ansees som en kule, eller i to dimensjoner som en sirkel. Det er 360 grader rundt en sirkel og det tar jorden 24 timer å spinne en runde rundt sin egen akse. Det vil si at jorden spinner cirka 15 grader per time. Timevinkelen klokken 12:00 er null grader. Positivt fortegn viser til etter klokken 12:00 og negativt fortegn viser til før.

$$h = (AST) - 12) \cdot 15 \text{ [grader]} \quad (11)$$

3.2.3 Solhøydevinkel [α]

Solhøydevinkelen er vinkelen som beskriver hvor høyt solen er på himmelen. Sagt på en annen måte solhøydevinkelen er vinkelen mellom en tiltenkt linje fra solen til jordoverflaten og det horisontale planet ved lokasjon som blir undersøkt (op.cit.). Sammen med senitvinkelen utgjør de to vinklene sammen alltid 90 grader se formel tolv.

$$\sin(\alpha) = \cos(\phi) = \sin(B) \cdot \sin(\delta) + \cos(B) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) \quad (12)$$

Φ = Sol senitvinkel

B = Breddegrad på lokasjon, breddegrad er gradene stedet avviker fra ekvator med positivt fortegn for nordlige halvkule og negativt fortegn for den sørlige halvkule.

δ = Deklinasjon vinkel

h = Timevinkel

3.2.4 Sol senitvinkel [ϕ]

Sol senitvinkelen er vinkelen mellom en tiltenkt linje fra solen til jordoverflaten og det vertikale planet gitt at solhøydevinkelen er lik null grader. (op.cit.).

3.2.5 Sol asimutevinkel [z]

Hvis man projiserer solens tiltenkte linje ned i det horisontale planet og ser på vinkelen mellom den projiserte linjen og ekte nord på den sørlige halvkule så får man Sol asimutevinkelen (op.cit.). Vinkelen er beskrevet i formel 13.

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad (13)$$

Formel 13 er kun korrekt gitt at $\cos(h) \geq \frac{\tan(\delta)}{\tan(B)}$ hvis $\cos(h)$ er mindre vil det si at solen er «bak vest-øst linjen».

3.2.6 Innfallsvinkel [θ]

Innfallsvinkelen er vinkelen mellom en tiltenkt linja fra solen og normalen på en overflate (op.cit.). Hvis denne overflaten er horisontal medfører det at innfallsvinkelen er det samme som senitvinkelen. Formelen som beskriver innfallsvinkelen er gitt i formel 14.1.

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(B) \cdot \sin(\delta) \cdot \cos(\beta) - \cos(B) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(Z_S) + \cos(B) \cdot \cos(\delta) \cdot \\ & \cos(h) \cdot \cos(\beta) + \sin(B) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(Z_S) + \cos(\delta) \cdot \sin(h) \cdot \\ & \sin(\beta) \sin(Z_S) \end{aligned} \quad (14.1)$$

β = Overflate tilt vinkel fra det horisontale planet

Formel 14.1 forenkles under utregningen tilhørende MCHP sitt HÅP-senter fordi når man er på den sørlige halvkule og tilter overflaten mot nord er $Z_S = 180$ grader og da får man formel 14.2.

$$\cos(\theta) = \sin(B + \beta) \cdot \sin(\delta) + \cos(B + \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) \quad (14.2)$$

3.2.7 Magnetisk deklinasjon [δ_M]

Magnetisk deklinasjon beskriver vinkelen i mellom magnetisk nord og ekte nord som er definert på et kart. Denne vinkelen er viktig å ta hensyn til under installasjon av solcellepanelene. Ved lokasjonen til håp-senteret i Gweru er den magnetiske deklinasjonen tilnærmet ti grader vestover (magnetic declination). Det vil si at man må legge til ti grader til hva kompasset sier. Dette betyr at solcellemodulene skal bli montert med en asimute vinkel på 0 grader magnetisk nord + ti deklinasjons kompensering, for å treffe mot ekte nord, dette vil oppnå mest mulig solinnstråling.

3.3 Hvordan er solenergisystemet bygget opp?

I dette kapitlet gjennomgås det hvordan alle komponenter innad solenergisystemet fungerer. Forskjellige teknologialternativer blir beskrevet, først beskrives solcellen og koblingsalternativer til solcelle modulene. Videre blir de forskjellige BoS (Balance of system) delene i solenergisystemet forklart, disse er spenningskontroller, batteribank og inverter.

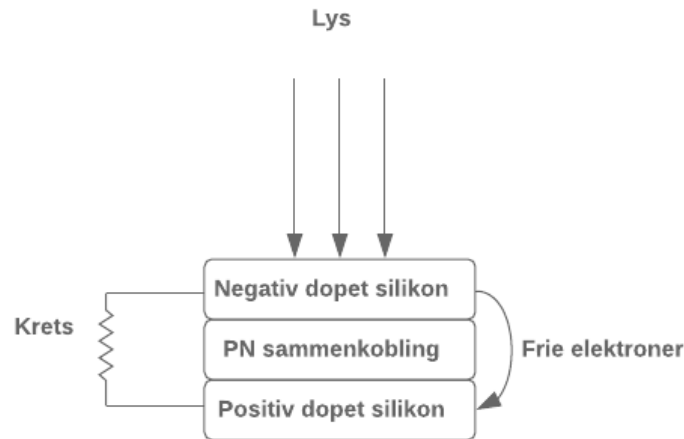
3.3.1 Solcellen

Solceller har et enormt bredt bruksområdet, de blir brukt til å produsere strøm i alt fra små kalkulatorer, hus, landsbyer til store solkraftstasjoner. Det som gjør solcelleteknologien så allsidig er at den er billig å lage og den er skalerbar. I dette underkapitlet beskrives hvordan en solcelle er bygget opp, hva den er laget av og hvordan den er koblet sammen med andre solceller. Solcellens kjennetegn og virkemåte skal også beskrives og visualiseres.

Det finnes forskjellige måter å produsere solceller på, de har sine ulemper og fordeler både når det kommer til effektivitet, brukervennlighet og kostnad. Den mest vanlige og billigste versjonen heter «multicrystalline silicon cells». Grunnen til at den er billigst er produksjonsmetodene som er veldig effektive, og den lave renheten av silisium som blir tatt i bruk. Den har en typisk effektivitet på rundt tolv prosent (Solar Energy Engineering kapittel ni). En mer effektiv, men også mer komplisert måte å fremstille solceller på, er å ta i bruk «monocrystalline silicon cells». Disse har en generell effektivitet som er tre prosent bedre enn multicrystalline. Disse to teknologiene er de mest vanlige og mest etablerte, det er også nytenkende, innovative måter som blir utviklet. Disse har for eksempel mulighet til å bøye solpanelet, solceller innebygd i bygg materialer og lignende. Disse kan bli laget av noe som heter «amorphous silicon», og har som oftest en effektivitet på rundt seks prosent.

De fleste solceller er laget av silisium, dette er behandlet kvarts. Kvarts er det mineralet som det fins nest mest av i jordskorpa (Gunnar Raade, 2018), potensialet for å lage solceller er enormt. Ut i fra silisiumet blir det produsert silikon plater og kalt «silicon wafer» i den engelske litteraturen. En solcelle er satt sammen som et smørbrød, i midten er det en halvleder i form av en PN sammenkobling. Som vil si at på den nedre siden er en positivt dopet silikonplate, mens på den øvre siden er det en negativt dopet silikon plate. Disse platene er dopet med boron for å oppnå en positiv ladning og fosfor for å oppnå en negativ ladning (Power Electronics Handbook). Grunnen til at man doper silikon platene er for å skape et elektriskfelt. Det som da

skjer når fotoner fra sola treffer solcellen, er at elektronene i den negativt ladede silikon platen frigjøres og dette medfører at det blir generert en volt forskjell over solcellen, og når en last kobles til gjør det så strøm kan flyte. Se figur 14 for en illustrasjon.



Figur 14: Illustrasjon av sammensettingen til en solcelle

Nå som sammensettingen av en solcelle er beskrevet skal vi se nærmere på solcellekjennetegnene og hvordan den blir beskrevet skjematisk. En solcelle kan representeres med en elektronisk ekvivalent diode modell vist i figur 15 (Lorenzo, 1994). Modellen består av en strømkilde som er koblet i parallell med en diode og en shunt resistans. Den andre resistansen i modellen representerer den indre resistansen til solcellen. Strømmen som blir produsert i- og som kommer ut av cellen er representert med bokstaven I og er matematisk forklart i formel 19.1. Strømmen kan i virkeligheten beskrives nok nøyaktig ved å ignorere resistansene, se formel 19.2. Dette er fordi shunt resistansen er veldig stor, dette medfører at det siste leddet i ligningen blir tilnærmet null. Og serie resistansen er veldig lav som gjør at det leddet også blir borte (Solar Energy Engineering kapittel 9)

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{e(V+IR_S)}{kT_C}\right) - 1 \right) - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \quad (19.1)$$

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{eV}{kT_C}\right) - 1 \right) \quad (19.2)$$

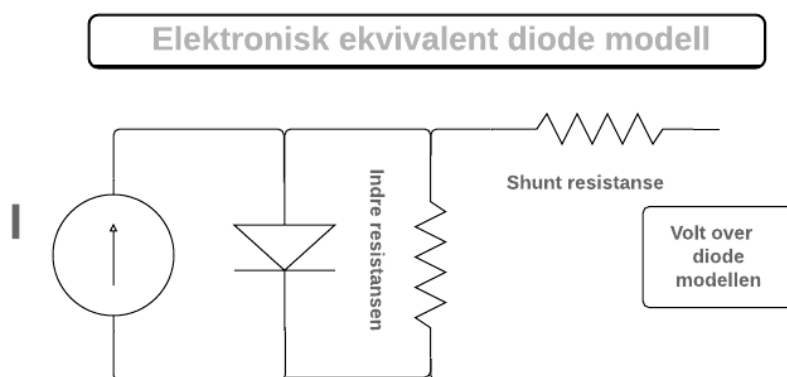
k = Boltzmann's gas konstant = $1,381 \cdot 10^{-23} J/K$

T_C = Absolutte temperatur til cellen i Kelvin

e = Elektronisk spenning = $1,602 \cdot 10^{-19} J/V$

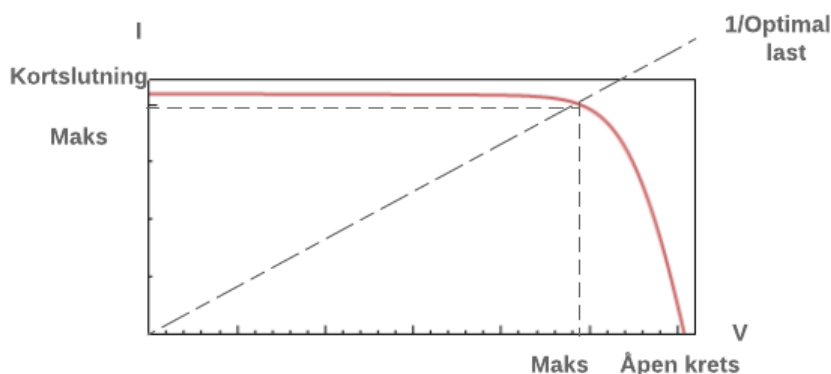
V = Volt over solcellen

I_o = Strøm under ikke noe sollys



Figur 15: Elektronisk ekvivalent diode modell som representerer en solcelle, laget av Ole Martin Flåseth. Med informasjon hentet fra (Lorenzo, 1994).

Som nevnt i underkapittel 2.5, effektproduksjonen avhenger av strøm og spenning fra og over solcellen, dette er gitt i formel 3. Disse parameterne varierer ut i fra hvordan solcellene er koblet og hvilket omgivelsesforhold solcellene er utsatt for, i form av temperatur og solinnstråling. I figur 16 kan du se nærmere på I-V karaktrestikkskurven til en solcelle.



Figur 16: I-V karaktrestikk

I figuren vises det at når kretsen er kortsluttet er det ikke noe volt. Og når kretsen er åpen går det ikke noe strøm. I mellom disse to tilstandene ser man at effekten kan ende opp i et kryssningspunkt som gir maksimal effekt. Solcellen blir designet og produsert slik at effekten er så nærme dette punktet som mulig, men når man kobler cellen på en varierende last slik som håp-senteret trenger man noe for å kunne regulere maks effekt fortsetter å bli produsert. Dette gjennomgås nærmere i kapitlet om spenningskontroller der det er skrevet om hvordan en MPPT spenningskontroller regulerer for å oppnå nettopp dette. Det er en faktor til som ikke er illustrert i figuren direkte, men som består av V -maks, I -maks, V -åpen og I -kortslutt. Den faktoren heter

fyll faktoren, denne faktoren bestemmer formen på I-V karakteristikken, se formel 20. For silikon er FF som oftest rundt 0,7 (Power Electronics Handbook).

$$\text{Fyll faktoren} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (20)$$

Nå som det er sett på hvordan en solcelle fungerer vil sammensetting av de forklares, en singel solcelle produserer cirka 0,5 Volt. Dette er en liten mengde, men som nevnt tidligere kan man skalere opp ytelsen på solcellesystemer med å legge til flere celler. Koblingen av disse avgjør om strømmen skal øke ved å koble de sammen i parallell eller i serie for å øke spenningen. Solcellesammenkoblinger har forskjellige navn ut i fra antallet og hvordan de er koblet, en celle alene heter PV (Photo voltaic) celle, celler koblet sammen er en modul, flere moduler sammen blir til et solcellepanel og til slutt flere paneler blir kalt et array.

Nå som solceller er lagt frem og forklart skal de andre komponentene innad solenergisystemet forklares i neste underkapittel.

3.3.2 Balanse av system komponenter

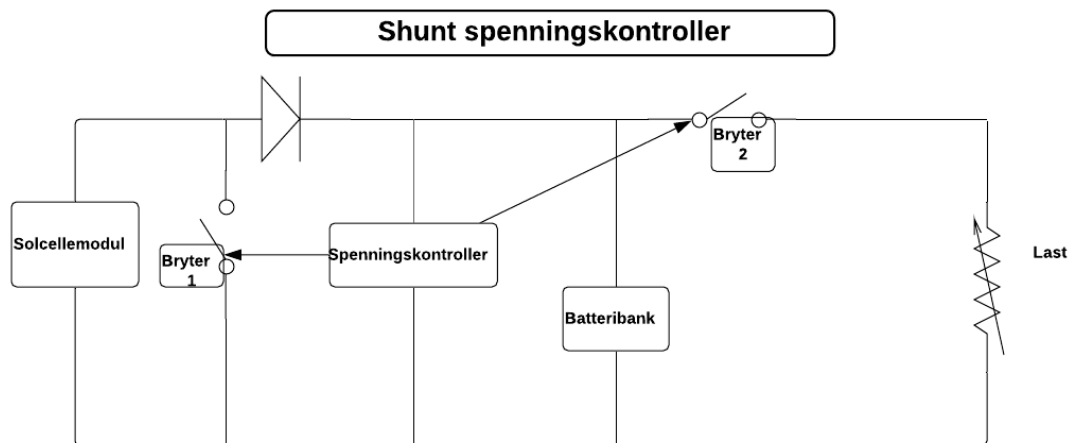
Balanse av systemet omhandler alle komponentene i solenergisystemet utenom solcellene, og i dette underkapitlet blir de forskjellige komponentene lagt frem og det blir forklart hvordan de fungerer, første komponenten er spenningskontrolleren.

Spenningskontroller

Spenningskontroller som heter «charge controller» i den engelske litteraturen, har som formål å kontrollere strømflyten mellom solcellene og batteribanken det vil si den skal sørge for at batteribanken i solenergisystemet verken blir overladet eller lader ut for mye, se teksten under batteri for mer detaljer. Det finnes forskjellige typer spenningskontrollere på markedet og det finnes mange modeller innad de forskjellige typene. Dette underkapitlet skal ta for seg de fire generelle typene som er shunt-, serie-, PWM- og MPPT spenningskontrollere (Stand-alone photovoltaic systems).

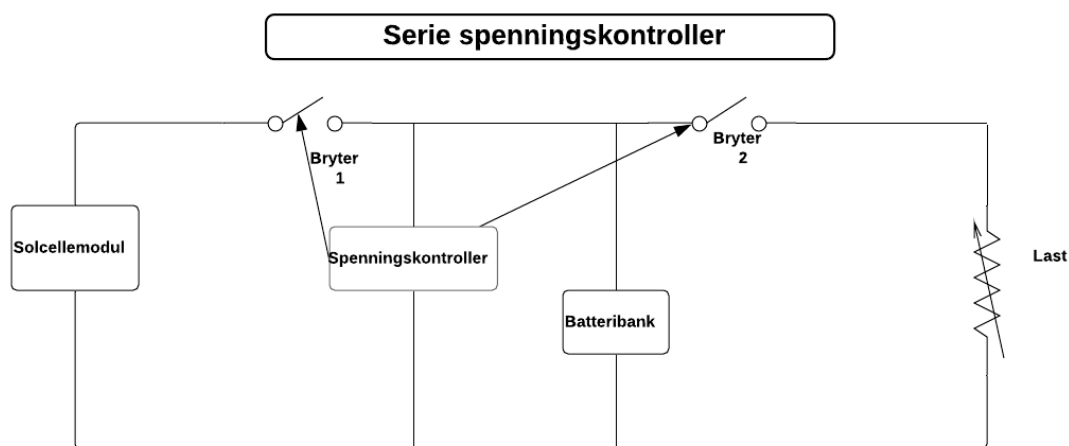
De enkleste av de fire er shunt- og serie kontrollerne, disse brukes som oftest kun ved små solenergisystemer (Power Electronics Handbook). Shunt spenningskontrolleren (se figur 17) sørger for at batteriet ikke lades opp for mye ved å kortslutte solcellemodulene ved å koble inn bryter en ved en angitt batterispenning. En blokkerende diode er en del av kretsen for å forhindre

kortslutning av batteriet. Bryter en er alltid koblet inn med mindre batterispenningen er kritisk lav, da kobles lasten vekk fra systemet slik at batteriet får ladet seg opp til et trygt nivå.



Figur 17: Shunt spenningskontroller laget av Ole Martin Flåseth med kunnskap fra (Power Electronics Handbook)

Serie spenningskontrolleren bruker to brytere for å regulere strømflyten mellom solcellemodulen og batteribanken. Den fungerer slik at når batteriet trenger å lades så kobles bryter en inn, som gjør at solcellemodulen kan tilføre strøm til batteriet. Hvis batteriet er kritisk ladet ut kobles og bryter to ut som kobler lasten av systemet. Når batteriet er ladet opp til et trykt nivå kobles bryter to inn igjen slik at lasten får tilført strøm, når batteriet er fulladet så åpnes bryter en, dette gjør slik at solcellemodulen kobles vekk.



Figur 18: Serie spenningskontroller laget av Ole Martin Flåseth med kunnskap fra (Power Electronics Handbook)

En av de mer kompliserte, men også mer nøyaktige metodene å kontrollere spenningen på er via «pulse width modulation». PWM kontrollerer spenningen tilført batteriet fra solcellemodulene ved å regulere «duty-cylen» til spenningen, den endrer signalet enten av eller på, i en gitt frekvens. Når batteriet er ladet opp vil solcellemodulene være koblet vekk i lengre tidsintervall enn tilkoblet. Og når batteriet er ladet ut vil solcellemodulene være tilkoblet lenger en frakoblet. Dette høres likt ut som de to forgående metodene, men den viktigste forskjellen er at ved PWM kan reguleringen gjøres langt hurtigere og ved små intervaller, som gjør den mer nøyaktig og det medfører mindre endring i batteri tilstanden. Dette gir et lengre batteri levetid som du kan lese mer om i neste underkapittel som handler om batteriene.

Den siste metoden som skal beskrives er «max power point tracker». Som er en likestrøm til likestrøm konverter som har som hovedfunksjon å sørge for at solcellemodulene gir ut maksimal effekt, for å få ladet opp batteribanken så effektivt som mulig. Dette oppnås ved å regulere den indre resistansen innad MPPT spenningskontrolleren sammen med resistansen i systemet og sammenhengen mellom resistansen og effekt medfører maksimal effekt fra solcellemodulene. Viktige parametere for de elektriske spesifikasjonene til en MPPT kontroller er nominell batterispenning, inngangsspenningen, maks åpen krets spenning og maks strøm til batteriet (Stand-alone photovoltaic systems). Nå som både energiskapelse og regulering har blitt forklart er det neste steg å se nærmere på batteribanken.

Batteri

Det finnes mange forskjellige typer batterier. Disse er, men ikke begrenset til: bly, zinc, nickel og redox batterier (Power Electronics Handbook). Den mest brukte batteritypen til solenergisystemer er blybatterier, de har ikke lengst levetid, men de er blitt populære på grunn av at de er relativt billige i forhold til de andre typene. De finnes i to forskjellige hoved typer, disse er designet slik at de enten er egnet for å lades mye ut før de lades opp igjen kalt «deep cycling gelled batteries» i litteraturen, eller de som er best egnet til små endringer i ladning som heter «shallow cycling gelled batteries». Begge kommer i en forseglet og uforseglet utgave, den forseglede versjonen krever mindre vedlikehold, men den uforseglede har potensialet til å fungere lenger hvis det blir vedlikeholdt. Batteriets utladnings status er gitt ved batteriets «State of charge» (SOC) som er bestemt ut i fra ligning 21. Denne brukes av spenningskontrolleren for å regulere opp- og utladning av batteriet.

$$SOC = \frac{q}{q_{maks}} \quad (21)$$

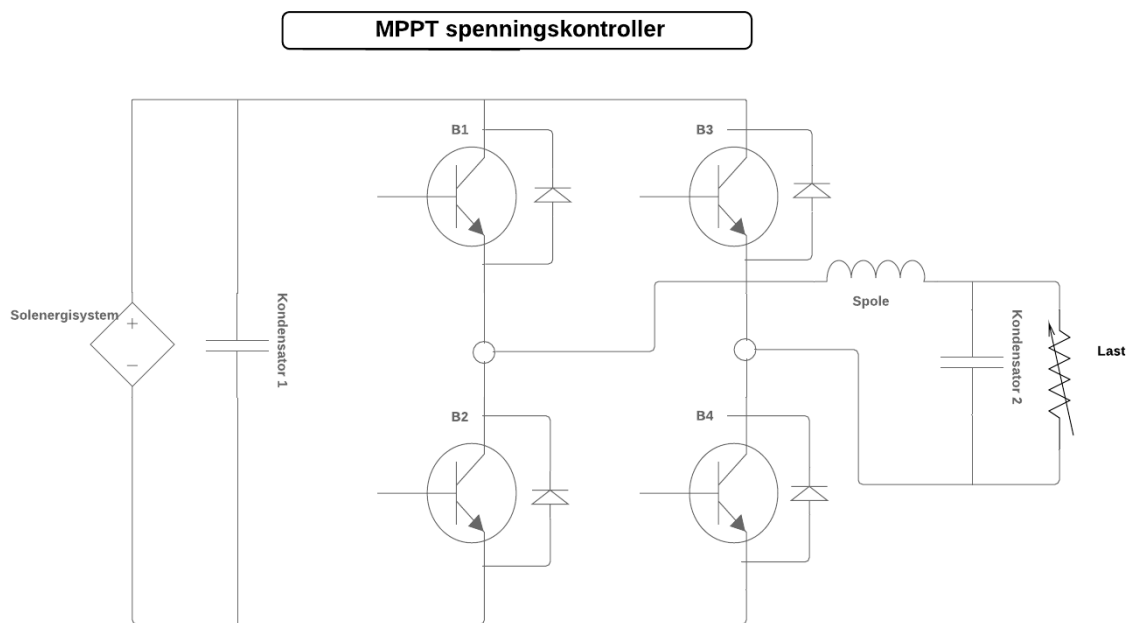
q = ladning

Inverter

Formålet til en inverter er å ta imot likestrøm fra batteribanken og/ eller solcellene for å omgjøre den til vekselstrøm som kan brukes i håp-senteret. Vekselstrømmen som kommer ut av inverteren kan både være en-fase og tre-fase, det finnes invertere som er bedre egnet for å håndtere høyt trekkende elementer. Eksempel på dette er elektriske motorer eller kjøleskap, mens andre type invertere er bedre egnet for et mer jevnt effekttrekk. En annen funksjon til inverteren er at den prøver å samsvare effektbehovet til lasten med effektproduksjonen fra solenergisystemet, dette gjøres som oftest ved hjelp av MPPT eller PWM teknologi. Som ved alle komponenter innad solenergisystemet så er effektiviteten viktig for å kunne maksimere effekten som kommer frem til lasten, inverter effektiviteten er gitt ved formel 22.

$$\eta_{Inverter} = \frac{P_{ut}}{P_{inn}} = \frac{V_{AC} \cdot I_{AC} \cdot \cos \varphi}{V_{DC} \cdot I_{DC}} \quad (22)$$

En generalisert inverter krets er illustrert i figur 19. Den omgjør likestrøm til vekselstrøm ved hjelp av å kontrollere fire brytere som i figuren er merket som B1-4. Når bryter en og bryter fire er igjen, og bryter to og bryter tre er åpen vil strømmen gå i positiv retning. Motsatt vil strømmen gå i negativ retning. Når man veksler mellom disse to produseres en firkantpuls, dette gjøres ved ta i bruk MOSFET som blir styrt av komparatorer, dette er fordi mekaniske brytere ikke er raske nok. Komparatorene sammenligner et sinussignal og et trekantsignal som til sammen blir et firkantpulserende sinussignal. For å få signalet ut, til å være tilnærmet en ren sinus må firkant pulsen jevnes ut, dette gjøres ved hjelp av spolene og kondensatoren i furen.



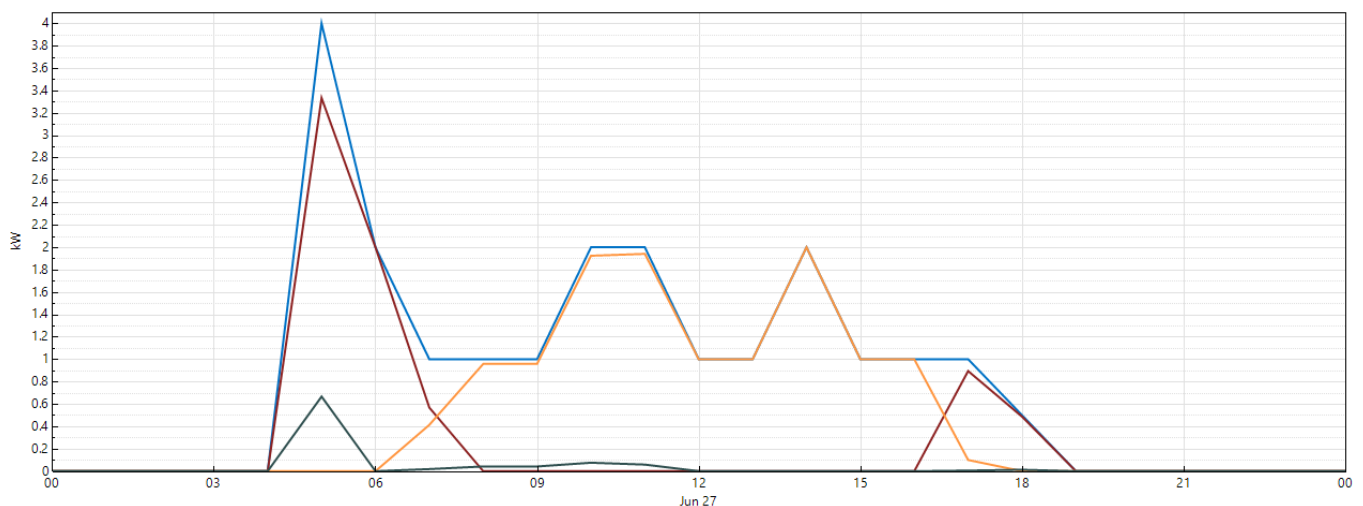
Figur 19: MPPT spenningskontroller krets

4 Resultatene

I dette kapitlet gjennomgås resultatene fra simuleringene i dybden, målet er å legge frem resultatene som forklare hvordan solenergisystemet fungerer. Og hvordan håp-senteret sitt behov ble møtt.

4.1.1 Hvordan ble lastbehovet dekket?

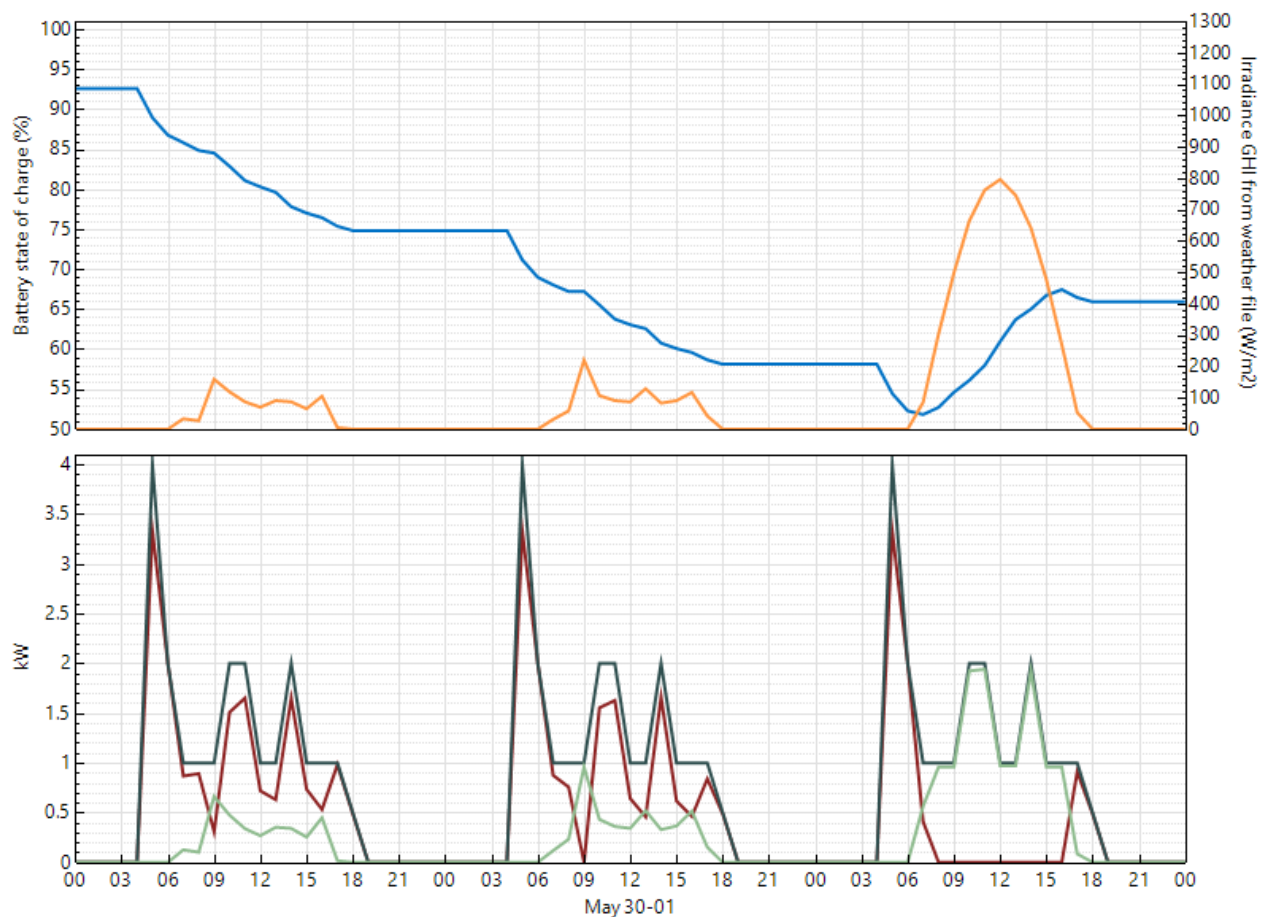
Det første resultatet som skal gjennomgås er hvordan lastbehovet til håp-senteret blir møtt figur 20 viser hvordan **lasten** (blått) blir møtt av **batteri** (Burgunder), **nettverket** (grå) og **solcellemoduler** (gul). Som nevnt tidligere i metoden så er solenergisystemet et nettuavhengig system, nettverket kan anses som en del av batteritilførselen. Forklaring rundt denne tilnærmingen er gjort innad underkapittel 5.3.



Figur 20: Håp-senterets last og solenergisystemets tilførsel

Figur 20 er tatt fra en typisk vinterdag i Zimbabwe, 27 juni. Lasten på dagen blir tilnærmet møtt av solcellepanelene mellom 06:00 og 17:00 på grunn av at det er en solrik dag. Hvis det er dårlig vær er batteriene designet slik at de kan opprettholde lastbehovet til håp-senteret i tre døgn. Denne mengden ble valgt på grunn av at det er en «tommelfingerregel» innad solindustrien, men den ble også bekreftet under simulering. Værdata viste at solinnstrålingen var så lav at batteriene måtte kobles inn på dagen, to dager på rad i løpet av året. Dette er illustrert i figur 21. Grunnen til at batteribanken har en ekstra dag er på grunn av at batteriet også blir brukt til å dekke lasten på morgenen før soloppgang og ekstra sikkerhet hvis værmønsteret endrer seg i fremtiden. I figur 21 er **batteribankens ladnings** representert øverst i blått og **solinnstrålingen** i gult, mens nederst er **lasten** representert i mørkeblått,

batteritilførselen i burgunder og solcelletilførsel i rødt. Legg merke til når solinnstrålingen er lav (30 og 31 mai) dekker batteribanken lasten, og når det er nok sol (1 juni) dekker solcelletilførselen lasten.



Figur 21: Solinnstrålings påvirkning på PV- og batteritilførsel

5 Drøfting

Denne oppgaven har handlet om at MCHP skal bygge et håp-senter via ingeniører uten grenser, og de trenger pålitelig elektrisitet. I løpet av denne teksten har det blitt lagt frem metoder for hvordan jeg har valgt å oppfylle dette behovet. Teori som forklarer sammenhenger og komponenter har blitt lagt frem. Og veien fra problemstilling til foreslått løsning skal drøftes i dette kapitlet. Først skal dataene oppgaven bygger på drøftes, videre sees det nærmere på hvordan forbruket ble estimert. Deretter drøftes de forskjellige simuleringenes tilnærminger og resultatene også drøftes den økonomiske analysen. Til slutt så drøftes det etiske og miljømessige aspektet ved oppgaven og resultatet blir kort sammenlignet med tidligere forskning og lignende prosjekter nevnt i starten av rapporten.

5.1 Data brukt i oppgaven

Innad dette kapitlet skal metoden for å innhente dataene som ble brukt for å designe, og simulere solenergisystemet til håp-senteret drøftes. Positive sider er at søket ble segmentert og strukturert ved hjelp av nøkkelord og innstillinger innad valgt database. Det ble også valgt å avgrense søket til journalartikler fra de siste 5 årene. Dette gir muligheten for å gjenskape søkene for eventuelt videre arbeid, og det er mitt håp om at det kommer tydelig frem hvordan hver enkelt kilde ble funnet, og hva de ble brukt til. En negativ side med kildene som det henvises til i denne oppgaven, er at noen av de ikke er primærkilder, men heller andre forskeres artikler om tilsvarende emner som er blitt belyst i denne oppgaven. Dette vil skape litt merarbeid hvis man ønsker å se nøyaktig hvor informasjonen originalt kommer ifra, men er fortsatt representativt for informasjonen brukt for å oppnå problemstillingen.

5.2 Det estimerte forbruket

I dette underkapitlet skal estimeringen av forbruket drøftes, det skal sees nærmere på kvaliteten av undersøkelsen og lastrepresentasjonens nøyaktighet.

Det strukturerte datasøket drøftet i forrige kapittel ble tatt til grunn for å få en ide om forventet resultat av egne beregninger. Etter forbruket ble estimert, bekreftet informasjonen fra datasøket at beregningene ga forventet resultat. Forbruket ble først estimert ved å sette seg inn i hverdagen til de som skal bruke håp-senteret. Informasjon ble samlet inn via kommunikasjon med leder av MCHP og effektforbruket, samt brukstid ble hentet inn fra troverdige kilder og dobbeltsjekket opp imot tilgjengelige tilsvarende komponenter. Ved å se på estimeringen av forbruk er det viktig å påpeke at besparende energiltak på forbrukersiden, har stor påvirkning for innkjøpskostnaden til solenergisystemet. I tilfellet for håp-senteret medførte denne prosessen at lasten ble tilnærmet halvert som igjen betyr at solenergisystemets produksjon og lagring halveres. Etter lasten var estimert ble det sett på effekttoppen, det vil si hvor mye som er på samtidig. Den ble funnet både via samtidighetsfaktor og grafisk fremstilling av trolig bruk som ga tilsvarende resultater. Det at begge metodene ga tilsvarende resultater er med på å styrke at representasjonen er korrekt. Grunnen til at forbruket og forbruksmønsteret ble estimert var for å finne ut av hvor stort solenergisystemet skulle bli. Og hvor mye det måtte håndtere, videre drøftes det hvordan solenergisystemet ble simulert i programmet SAM.

5.3 Tilnærmingen av det nettuavhengige

solenergisystemet i SAM

Etter data ble funnet og forbruket estimert skal det sees nærmere på hvilke valg som ble gjort for å tilnærme det nettuavhengige solenergisystemet som skal drifte håp-senteret i simuleringsprogrammet SAM. Det er i utgangspunktet laget for å simulere nettuavhengige systemer. Gjennom undersøkelser av simuleringsdata innad SAM har det blitt tilnærmet et nettuavhengigsystem ved å se på energien til lasten, fra nettets mengde og oppførsel. I løpet av året leverer nettet 374,8 kWh til håp-senteret ifølge SAM, håp-senteret er i virkeligheten koblet helt av nettet, slik at dette tallet vil være null. Ved å se på oppførselen til nettet via simulering ser man at cirka 70% av mengden nettet leverer til lasten, er under morgen effekttoppen. De resterende 30% kommer på morgenen frem til klokken tolv, denne energien kan komme fra batteriet i stedet. Fordi batteriet aldri er i fare for å gå under de tillate grenser.

En mulighet kunne være å prioritere tilførselskilder i SAM, men etter kommunikasjon med utviklerne av programmet viser det seg at dette ikke er mulig. Det er derfor valgt å forklare videre hvorfor batteribanken kan håndtere det nettet tilfører på neste side, ved hjelp av figuren som viser at batteribanken kun lades ut til 87 prosent. Hvis batteriet hadde levert det nettverket leverer, kan man se ut i fra figuren at den trolig ville blitt ladet ut til cirka 84-85 prosent i stedet, dette er innenfor trygge grenser som er satt i mellom 95 og 25 prosent, som bidrar til en lang levetid for batteriene.

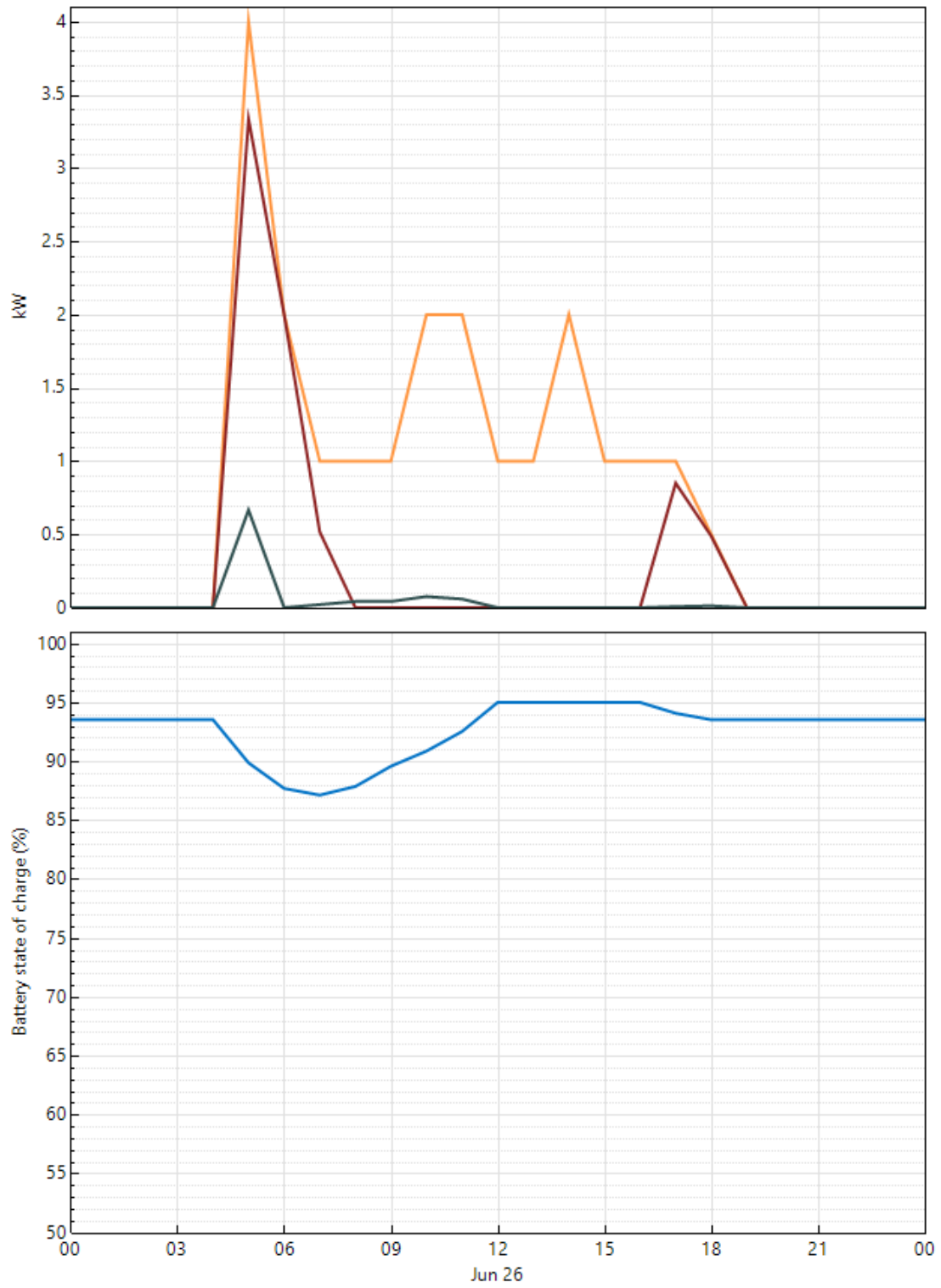
Hvilken farge som representerer hvilken enhet i figur 22 er listet opp nedenfor.

Oransje = Lasten til håp-senteret

Rød = Elektrisitet til last fra batteribanken

Mørkeblå = Elektrisiteten til last fra nettet

Lyseblå = Batteribanken sin SOC, ladnings tilstand.



Figur 22: Viser batteriets ladningsprosent når nettet blir koblet inn i SAM

5.4 Hva ble Innkjøpskostnaden?

Dette underkapitlet ser på det økonomiske aspektet av å implementere det valgte solenergisystemet i Zimbabwe. Målet med oppgaven var å hjelpe MCHP ved å gi de tilgang til pålitelig strømtilførsel til sitt nye prosjekt, håp-senteret. Det ble tidlig fastslått at systemet skulle være driftet av sol, og være så bærekraftig som mulig for miljøet sitt skyld. Det ble derfor ikke sammenlignet priser med andre typer systemer, slik som et eventuelt hybridsystem som er beskrevet under metoden. Ut i fra tilstanden til nettverket i Zimbabwe kom det frem i løpet av metoden at nettverket ikke skulle være en del av solenergisystemet. Både fordi nettverket er ustabil og at det ikke finnes noen mulighet for å selge overflødig produksjon til nettet. Hvis man kunne gjort dette, kunne man analysert kjøp og salg, og brukt dette under design av systemet. Man kunne potensielt designet et system uten lagring og stor produksjon, som ville gitt grunnlag for en fullverdig kostnadsanalyse, men hoved fokuset til MCHP er å hjelpe, ikke tjene penger så at det endte opp med å bli en innkjøpskostnad kartlegging istedenfor er greit.

Når det er sagt, kom det frem under simulering at solenergisystemet koster det som er forventet at et solenergisystem koster, ut ifra kroner per watt produsert. Dette er med å styrke valgene gjort under design av solenergisystemet som skal drifte håp-senteret. Nå som valgene og grunnlaget for de har blitt drøftet. Hvilken konklusjon kan man trekke ut i fra dette?

5.5 Etske- og miljø aspekt ved prosjektet

I dette underkapitlet skal det drøftes kort de etiske- og miljø aspektene ved prosjektet denne rapporten omhandler. Mye av ansvaret rundt det etiske ved u-hjelp faller på MCHP og ikke implementeringen av solenergisystemet, men når det kommer til installering og drift er det viktig å ha respekt for de lokale, og gi de mulighet til å være med på monteringen uten å utnytte de som billig arbeidskraft. Dette er også viktig å ta hensyn til under vedlikeholdet av systemet.

Miljømessig er ønsket som fornybarenergi ingeniør å implementere et solenergisystem som bidrar til en bedre fremtid, med et minimalt klimafottrykk. Det ble derfor valgt å fokusere på kort reisevei for innkjøp av alt utstyr som kreves for å implementere solenergisystemet. Videre så er solkraft vesentlig bedre for miljøet enn kullkraft, grunnen til at dette blir nevnt er fordi kullkraft er en av pådriverne av energi på det Zimbabwiske kraftnettet som ble koblet vekk. Det ble også valgt å ikke implementere et hybrid system med diesel-generator med tanke på miljøet.

5.6 Tidligere forskning og lignende prosjekter

I starten av rapporten ble det henvist til tidligere forskning og lignende prosjekter, nå som solenergisystemet til håp-senteret har blitt dimensjonert, simulert og drøftet kan de sammenlignes med resultatene fra denne rapporten.

Begge de to lignende prosjektene, både fra Kenya og Pakistan kom frem til at ved å implementere solenergi som produksjon av elkraft både er en god ide i forhold til at det fungerer, men også at det er lønnsomt. Ut i fra simulering av håp-senteret sitt behov fremkommer det at et solenergisystem også vil fungere veldig bra som energipådriver. Begge de to lignende prosjektene utførte en kostnadsanalyse, dette har ikke blitt utført i lik grad i denne rapporten så dette kan ikke sammenlignes.

6 Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å designe et solenergisystem som skal drifte forbruket til det nye prosjektet til MCHP, håp-senteret. Senteret vil levere et helsetilbud, jobbobplæring og undervisning til familier i Gweru, Zimbabwe. Kunnskap som kreves for å oppnå dette ble tilegnet via innhenting av data. Hovedsakelig fra fagfellevurderte artikler via en database ved navn compendex. Denne informasjonen ble tatt i bruk under alle ledd fra ide til fullført løsning.

De viktigste valgene og resultatene av denne oppgaven startet med valg av metode som falt på John Deweys metode. Videre ble det valgt å avgrense prosjektet til å fokusere på å levere et solenergisystem som kun produserer elektrisitet. I stedet for det tiltenkte systemet som også skulle ha solfangere til oppvarming av tappevann i tillegg. Det neste viktige valget falt på hvordan solenergisystemet skulle designes. Der ble det bestemt å følge ønske til MCHP som var å drifte senteret med solenergi. Dette ble gjort ved å konstruere et nettuavhengig solenergisystem med eneste energipådriver i form av solen. Størrelsen på solenergisystemets produksjon og energilagring var avhengig av forbruket til håp-senteret. Det var derfor viktig å estimere dette korrekt, under estimering av forbruket ble det sett på energibesparende valg under hva som skal driftes. Det viste seg at ved å implementere disse energibesparende tiltakene ble det estimerte forbruket tilnærmet halvert, noe som er en vesentlig besparelse for størrelsen på solenergisystemet som medfører en lavere innkjøpskostnad.

Neste steg var å simulere solenergisystemet. For å forsikre et riktig bilde av virkeligheten ble det valgt å se på værdata fra to forskjellige kilder som ble sammenlignet. Med disse dataene ble det først utført en simulering med hensikt om å finne optimal helningsgrad på solcellemodulene. Der ble det valgt å implementere en stasjonær løsning selv om mengden sollys høstet ville vært høyere ved å installere en solfølgefunksjonalitet. Da ville også kostanden gått opp og ved å implementere bevegelige deler som kan feile, risikerer man at systemet også tar til seg langt mindre sollys. Et annet viktig valg under simulering var at systemet ble dimensjonert for å dekke energibehovet i måneden med lavest solinnstråling. Dette medførte overproduksjon i flere måneder, men ble gjort for å gi MCHP et stabilt og skikkelig energitilbud året rundt. Batteribanken ble dimensjonert med tanke på å holde senteret operativt selv ved lav soltilførsel. Kostnadsanalysen ble begrenset til en innkjøpskostnad.

Resultatet av simuleringen ble et nettuavhengig solenergisystem som dekket hele det estimerte forbruket til håp-senteret, ved hjelp av solcellepaneler som produserer elektrisitet, og en batteribank som supplerer tilførselen ved lav solinnstråling. Solenergisystemet garanterer energitilførsel selv i måneden med lavest solinnstråling, og vil holde håp-senteret operativt inntil tre dager på rad uten noe produksjon fra solcellemodulene. Det kan derfor konkluderes med at solenergisystemet som er designet i denne rapporten vil trygt kunne implementeres etter ferdig utbygning av håp-senteret. Og det vil sørge for en enklere hverdag med stabil tilgang til elektrisitet.

Oppgaven har et forbedringspotensial på noen områder. Selv om jeg har full tiltro til at tilnærmingen gjort i denne rapporten er nøyaktig nok, foreslås det ved videre arbeid at simuleringen blir gjort i et simuleringsprogram laget for nettuavhengige systemer. Man kan også se nærmere på om det kunne vært verdt å implementere et hybrid system og dets økonomiske effekt istedenfor å prioritere miljøpåvirkning, slik som det ble gjort her. Hvis det zimbabwiske nettet blir oppdatert for mulighet for kjøp og salg av energi til nettet vil dette og en eventuell hybrid løsning bidra til en dypere kostnadsanalyse istedenfor kun innkjøp som ble sett på i denne rapporten, jeg er fortsatt fornøyd med å gi en innkjøpskostnad i denne rapporten. Fordi hovedfokuset til oppgaven var å tilby et stabilt solenergisystem til MCHP sitt håp-senter.

Litteraturliste

Any-lamp (2019) *Convert lumens to watt*. <https://www.any-lamp.com/lumen-to-watt>

Atea (2019) *Epson EB-S05 – 3 LCD-projektor – portable*

[https://www.atea.no/eshop/product/epson-eb-s05-3-](https://www.atea.no/eshop/product/epson-eb-s05-3-lcd/?prodid=3778192&gclid=Cj0KCQiAh9njBRCYARIsALJhQkH3E4Z9VmtKtptnRnGboQCtCzF6eAA78sm-7luZKP_d32MUfgNEwJwaAuNnEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds)

[lcd/?prodid=3778192&gclid=Cj0KCQiAh9njBRCYARIsALJhQkH3E4Z9VmtKtptnRnGboQCtCzF6eAA78sm-7luZKP_d32MUfgNEwJwaAuNnEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds](https://www.atea.no/eshop/product/epson-eb-s05-3-lcd/?prodid=3778192&gclid=Cj0KCQiAh9njBRCYARIsALJhQkH3E4Z9VmtKtptnRnGboQCtCzF6eAA78sm-7luZKP_d32MUfgNEwJwaAuNnEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds)

Classifieds *Epson EB-S05 Projector* <https://www.classifieds.co.zw/en/advert-epson-eb-s05-projector-1500420>

Energy Research & Social Science (2015) *Side 9-19 tabell 1*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629614001455?via%3Dihub#sec0010>

Freecleansolar (2019) *Nettside med informasjon om solenergi produkter*

<https://www.freecleansolar.com/Suntop-Solar-Energy-s/4408.htm>

Gunnar Raade (2018) *Det store norske leksikon, kvarts utrbedt mineral* <https://snl.no/kvarts>

Ormbostad (2018) *NEK 400:2018 MontørHåndboka Elforlaget*

Kenyan energy centre (2019) *Design of a solar energy centre for providing lighting and income-generating activities for off-grid rural communities in Kenya*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117311540?via%3Dihub>

Leonics (2019) *Flere systemer og produkter* <http://www.leonics.com/index.php#>

Lorenzo (1994) *Solar electricity Engineering of photovoltaic systems Side 80*

Hopeproject.no (2019) *Vårt arbeid*. <http://www.hopeproject.no/vrt-arbeid>

Solkart (2019) *Sun path chart program*. <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

snl (2019) *Analemma* <https://snl.no/analemma>

Magnetic declination (2019) *Nettside som kalkulerer magnetisk deklinasjonsvinkel etter posisjon* <http://www.magnetic-declination.com/Zimbabwe/Gweru/3035673.html>

MCHP e-mail (2019) *Samtale om hvilke utstyr som skal driftes*. Via e-mail 08.02.2019

Medium (2019) *Brukt til å finne kostnad på batteripakken* <https://medium.com/solar-microgrid/battery-showdown-lead-acid-vs-lithium-ion-1d37a1998287>

NREL (2019) *National Renewable Energy Laboratory* <https://sam.nrel.gov/weather>

Of grid potential Zimbabwe (2019) *The potential of grid connected photovoltaic arrays in Zimbabwe* <https://ieeexplore.ieee.org/document/6196434/references#references>

PVGIS (2019) *European Commission's Photovoltaic Geographical Information System* http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#TMY

PVGIS data and calculation (2019) *Overview of PVGIS data sources and calculation methods* http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html

Power Electronics Handbook (2018) *Power Electronics for Renewable Energy Sources Side 783-827* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128114070000271>

Renewable and Sustainable Energy Reviews (2015) *Side 496-502 Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008296#bib47>

Sam.nrel.gov (2017) *Guide for dimensjonering av solcelle system i SAM* <https://sam.nrel.gov/photovoltaic/pv-videos.html>

Setsolar (2019) *Solenergisystem komponent butikk i Sør Afrika* <https://www.setsolar-shop.com/>

Solar home systems (2019) *Solar home systems*

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-home-systems>

Stand-alone photovoltaic systems (2017) *The performance of photovoltaic (PV) system.*

<https://www.sciencedirect.com/book/9781782423362/the-performance-of-photovoltaic-pv-systems>

Solar Energy Engineering kapittel ni (2009) *Chapter nine – Photovoltaic Systems*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123745019000091>

Solar Energy Engineering kapittel to (2009) *Chapter two – Environmental Characteristics*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123745019000029>

Timeanddate (2019) *Mkoba, Midlands Province, Zimbabwe – Sunrise, Sunset and Daylength, 2019* <https://www.timeanddate.com/sun/@886045>

Worldclimate (2019) *Regn og vind data hentet fra The Global Historical Climatology*

Network version 1 <http://www.worldclimate.com/sources.htm#2100>

Wholesalesolar (2019) *Appliance Consumption Table* <https://www.wholesalesolar.com/solar-information/how-to-save-energy/power-table>

Vedlegg

Innholdsfortegnelse

A

1. Plantegning håp-senteret
2. 3D Plantegning håp-senteret

B

1. Simulering, stasjonært og bevegelig system fremgangsmåte
2. Simulerings valg innad SAM for valgt alternativ, nettuavhengig kun sol
3. Simuleringsresultat av tap

C

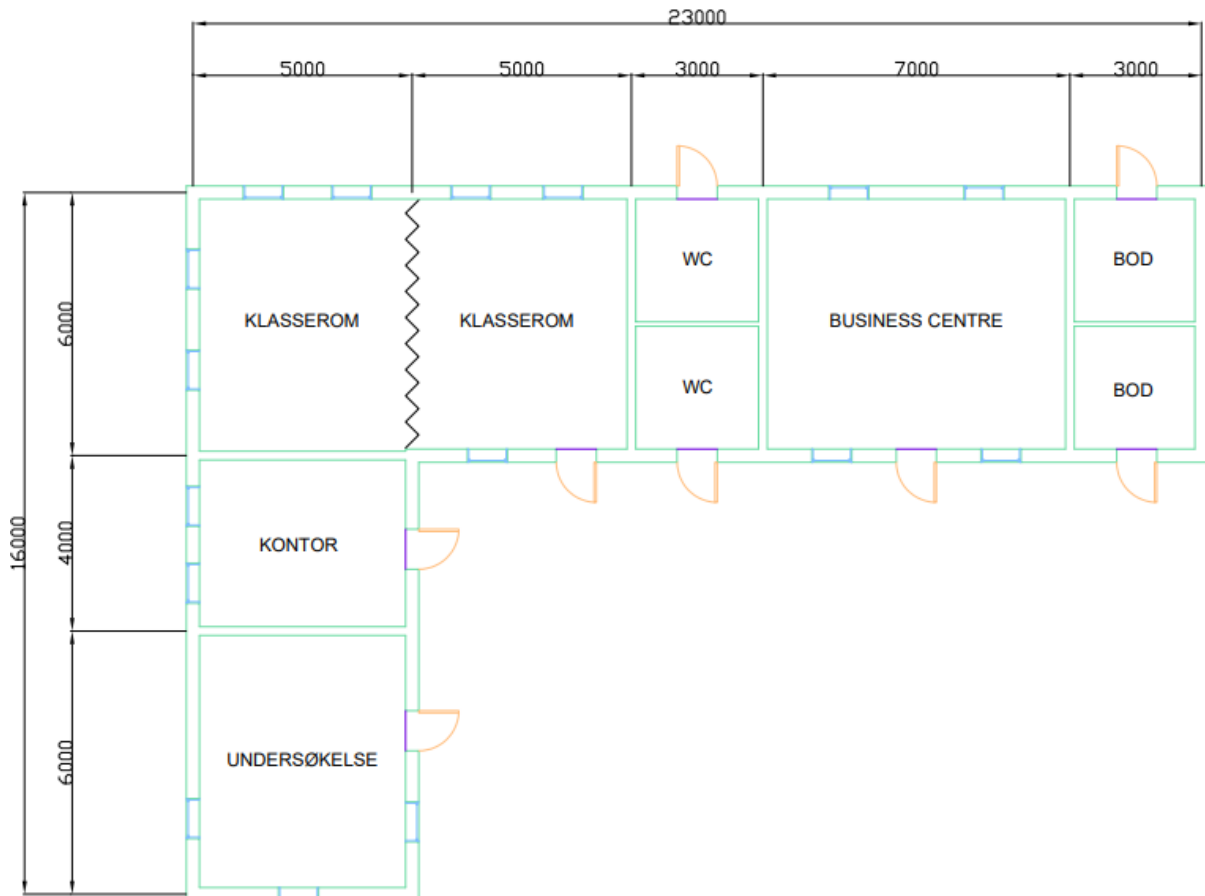
1. Data for optimal stasjonærvinkling
2. Data for vinter helningsvinkel hele året
3. Skyggedata ut i fra 3D analyse
4. Solinnstrålingsdata for lokasjon
5. Last data

D

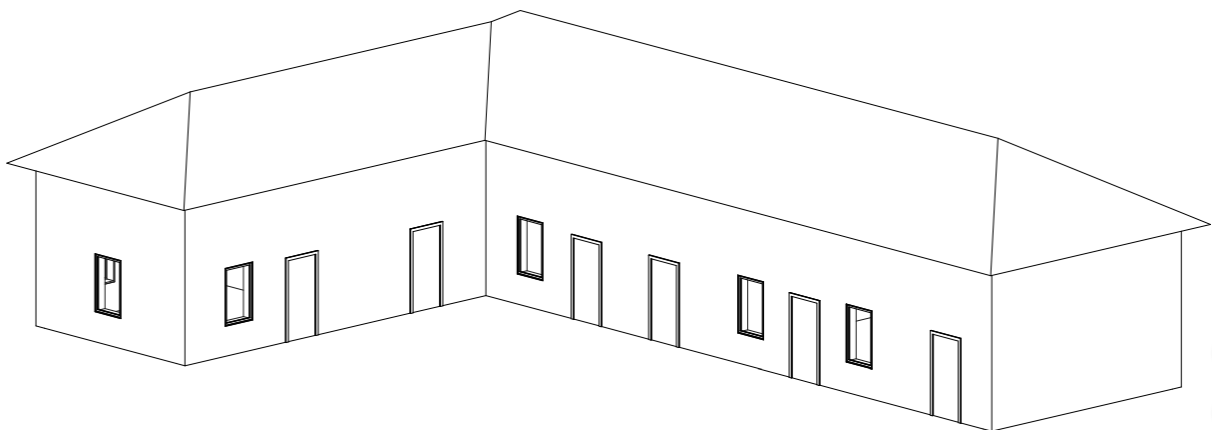
1. Modul ved karakteristisk referansepunkt

A

1. Plantegning håp-senteret



2. 3D plantegning håp-senteret



B

1. Simulering, stasjonært og bevegelig system fremgangsmåte

Module

SET-Solar SDM-170/(185)-72M

(Tilnærmet denne <https://www.setsolar-shop.com/product-page/foldable-105w-solar-module>)

Inverter

SMA America: SB3000TL-US-22 [208V].

System Design

AC Sizing

Number of inverters: 1

DC to AC ratio: 1.46

Sizing Summary

Total AC capacity: 3,050 kWac

Total inverter DC capacity: 3,148 kWdc

Nameplate DC capacity: 4,455 kWdc

Total number of modules: 24

Total number of strings: 3

Total module area: 30,6 m²

Electrical Configuration

Modules per string in subarray: 8

Strings in parallel in subarray: 3

String Voc at reference conditions (V): 356

String Vmp at reference condition (V): 300

Tracking and orientation

Fixed

Tilt: 23 degree

Azimuth: 0 degree

GCR: 0,3

Electrical Sizing Information

Maximum DC voltage: 480 Vdc

Minimum MPPT voltage: 100 Vdc

Maximum MPPT voltage: 480 Vdc

Shading and Layout

Losses

Lifetime

Battery Storage

Simulate

Parametrics

Sammenlignet alle grader fra det horisontale til det vertikale, alt 90 simuleringer og fant at det var 23 grader med respekt til det horisontale det ble mest årlig DC net på 7996,34 kWh satte inn 23 grader og fikk årlig energi nevnt nedenfor.

23 grader → Årlig energi (år 1) på 7 409 kWh

Sesong tilt → Årlig energi (år 1) på 7 670 kWh

1 akse tracking → Årlig energi (år 1) på 9 299 kWh

2 akse tracking → Årlig energi (år 1) på 9 608 kWh

Asimute akse tracking → Årlig energi (år 1) på 8 734kWh

2. Simulering av valgt alternativ, nettuavhengig kun sol

Module

Suntop Solar Energy TOP-S-195S6A

(Tilnærmet denne <https://www.setsolar-shop.com/product-page/foldable-105w-solar-module>)

Inverter

Yaskawa Solectria Solar: PVI 4000-POS-208

Valgt på grunnlag av at den håndterer både DC strømmen produsert og AC strømmen som blir brukt av lasten. String Vmp ligger og innenfor denne inverteren sin Minimum og maximum MPPT voltage som forhindrer tap i form av klipping.

System Design

AC Sizing

Number of inverters: 1

DC to AC ratio: 1.55

Sizing Summary

Total AC capacity: 3 400 kWac

Total inverter DC capacity: 3 573 kWdc

Nameplate DC capacity: 5 286 kWdc

Total number of modules: 27

Total number of strings: 3

Total module area: 36,3 m²

Electrical Configuration

Modules per string in subarray: 9

Strings in parallel in subarray: 3

String Voc at reference conditions (V): 273,7

String Vmp at reference condition (V): 224,2

Tracking and orientation

Fixed

Tilt: 23 degree

Azimuth: 0 degree

GCR: 0,3

Electrical Sizing Information

Maximum DC voltage: 400 Vdc

Minimum MPPT voltage: 100 Vdc

Maximum MPPT voltage: 400 Vdc

Shading and Layout

3D shade calculator (se annet vedlegg for data)

Losses

Default DC losses satt til Central inverters.

Lifetime

Standard degresjonsrate på 0,5% per år

Battery Storage

Chemistry

Lead Acid: Flooded

Battery bank sizing

Desired bank capacity: 81,6 kWh

Desired bank power: 3,4 kW

Current and Capacity

Cell capacity: 20 Ah

Power Converters

DC Connected

DC to DC conversion efficiency 100 %

Storage Dispatch Controller
 Choose Dispatch Model
 Manual dispatch

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Feb	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Mar	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Apr	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
May	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Jun	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Jul	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Aug	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Sep	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Oct	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Nov	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3
Dec	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3

Charge Limits & Priority

Minimum state of charge: 20 %

Maximum state of charge: 95 %

System cost

Module – 293 \$ per	=	7 911 \$
Inverter – 2 400 \$ per	=	2 400 \$
Battery pack 81,6 kWh – 131 \$ per	=	10 689 \$
BoS – 0,36 \$ per W	=	1 903
Subtotal	=	22 903 \$
Taxes	=	595 \$
Total installed cost	=	23 499 \$
Total installed cost per capacity	=	4,45 \$ per W

Financial Parameters

Incentives

Electricity Rates

Electric Load

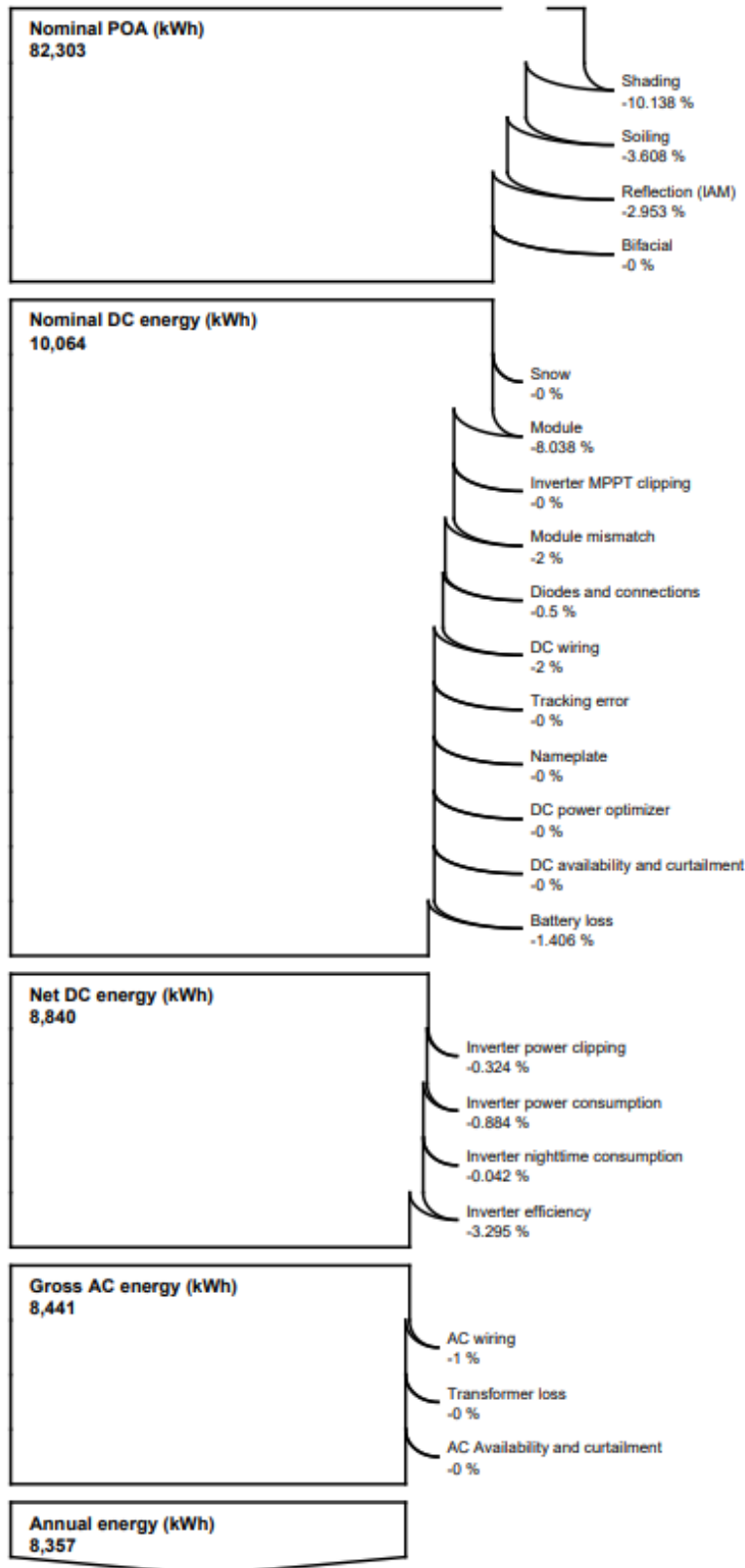
La inn data antatt og utregnet selv. Se andre vedlegg og kapitler innad teksten for mer info.

Simulate

3. Simuleringsresultat av tap

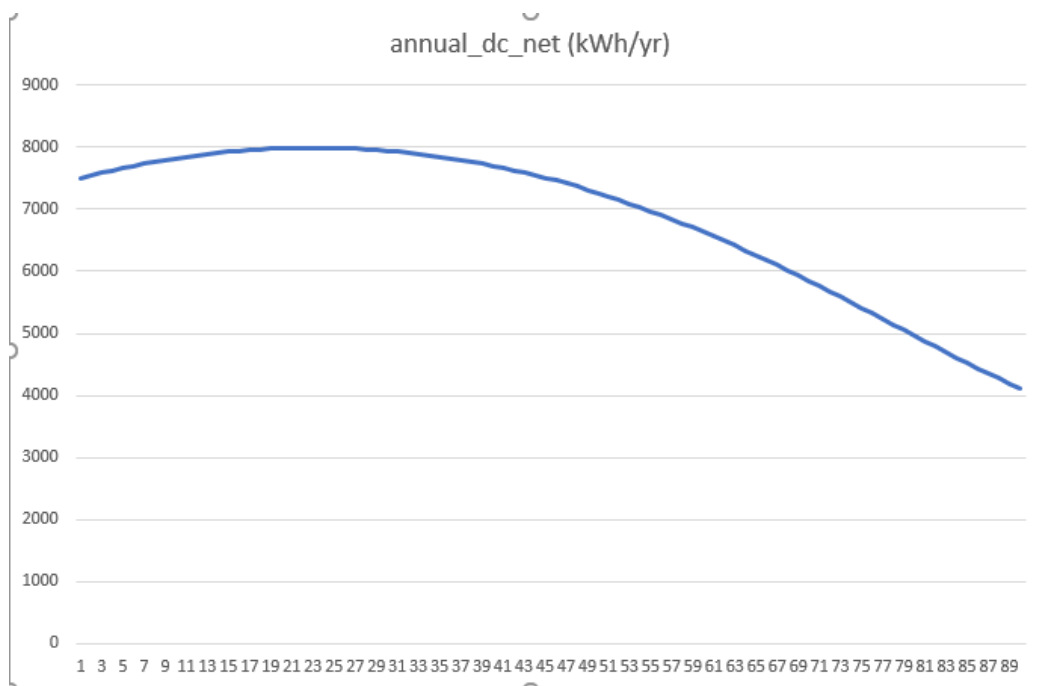
Photovoltaic System
Residential

5.29 kW Nameplate



C

1. Data for optimal helningsgrad på panelene

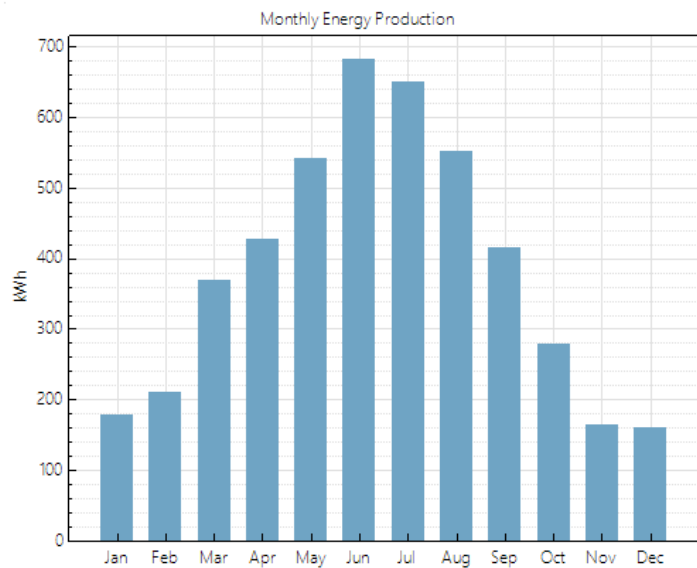


subarray1_tilt (deg)	annual_dc_net (kWh/yr)	subarray1_tilt (deg)	annual_dc_net (kWh/yr)
1	7498,88	46	7462,85
2	7543,44	47	7415,88
3	7585,83	48	7367
4	7626,07	49	7316,27
5	7664,18	50	7263,74
6	7700,18	51	7209,34
7	7734,07	52	7153,11
8	7765,87	53	7095,03
9	7795,59	54	7035,13
10	7823,24	55	6973,4
11	7848,82	56	6909,87
12	7872,35	57	6844,55
13	7893,82	58	6777,47
14	7913,25	59	6708,66
15	7930,64	60	6638,14

16	7945,98	61	6565,95
17	7959,29	62	6492,14
18	7970,56	63	6416,74
19	7979,79	64	6339,8
20	7986,98	65	6261,38
21	7992,14	66	6181,54
22	7995,26	67	6100,38
23	7996,34	68	6017,96
24	7995,39	69	5934,42
25	7992,41	70	5849,82
26	7987,39	71	5764,17
27	7980,34	72	5677,53
28	7971,25	73	5589,98
29	7960,14	74	5501,6
30	7946,99	75	5412,54
31	7931,81	76	5322,96
32	7914,6	77	5233,02
33	7895,36	78	5142,9
34	7874,09	79	5052,94
35	7850,8	80	4963,17
36	7825,48	81	4873,7
37	7798,16	82	4784,72
38	7768,82	83	4696,46
39	7737,49	84	4609,39
40	7704,15	85	4523,54
41	7668,84	86	4439,12
42	7631,54	87	4356,35
43	7592,29	88	4274,66
44	7551,08	89	4193,82
45	7507,93	90	4113,77

2. Vinter helning hele året

Metric	Value
Annual energy (year 1)	4,629 kWh
Capacity factor (year 1)	11.9%
Energy yield (year 1)	1,039 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.74
Levelized COE (nominal)	12.99 ¢/kWh
Levelized COE (real)	10.37 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$2,158
Electricity bill with system (year 1)	\$1,529
Net savings with system (year 1)	\$629
Net present value	\$1,564
Simple payback period	14.9 years
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$12,010
Equity	\$0
Debt	\$12,010



3. Skyggedata ut i fra 3D analyse

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.173861	0	0	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0269459	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	99.7392	0.111568	0	0	0	0	0	0.122961	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	0.0228648	0	0.22254	0	0	0	0	0.138856	0	0	0	51.8655	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0.0927387	0	0	0.125069	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
Jul	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0.142908	0	0	0.112064	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	0.609493	0	0	0	0.129339	0	0	0	0	0	0.132324	0	100	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0.0690278	0	0	0	0.0753642	0	0.0669665	0.134758	0	100	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	100	0	0.183466	0.103229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0.170459	0	0.0551861	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100

Import... Export... Copy Paste

Subarray 1, String 2

Shade Loss (%): 0=no shade, 100=fully shaded

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.159063	0	0	100	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0.206244	0	0.142197	0	0	0	0.143627	0	100	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	99.7699	0	0	0	0	0	0	0.124336	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	0	0.247471	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	100	0.0672141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
Jul	100	100	100	100	100	100	100	0.0696952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.9607	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	96.3561	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0966385	81.4748	100	100	100	100	100	100	
Sep	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.128676	0	100	100	100	100	100	100	
Oct	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0.130371	0.140842	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0.159626	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100

Import... Export... Copy Paste

Subarray 1, String 3

Shade Loss (%): 0=no shade, 100=fully shaded

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30739	0.159117	0	0	100	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0.094986	0	0	0	0.286138	0	100	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	99.8342	0	0	0	0	0	0	0.32873	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0.343341	0	0	0.0634102	99.8899	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0.150548	0	0	0.0789752	0	100	100	100	100	100	100	
Jul	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	43.5613	0	0.101211	0	0.13078	0	0.147725	0	0	0	0	16.0564	100	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0.141753	0	0.107073	0	0	0.128414	0	100	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	100	0	0	0.03708	0	0	0.140855	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0.159544	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100

4. Solinnstrålingdata for lokasjon

Latitude (decimal degrees): -19.460		Hh: Irradiation on horizontal plane (kWh/m ²)				
Longitude (decimal degrees):						
29.000		Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (kWh/m ²)				
Radiation database: PVGIS-CMSAF		H(71): Irradiation on plane at angle: 71deg. (kWh/m ²)				
Optimal slope angle (deg.): 24		DNI: Direct normal irradiation (kWh/m ²)				
		D/G: Ratio of diffuse to global irradiation (-)				
Year	Month	Hh	Hopt	H(71)	DNI	D/G
2007	Jan	198	177	86.5	163	0.41
2007	Feb	184	174	98.3	160	0.36
2007	Mar	196	203	141	198	0.31
2007	Apr	191	211	86.6	209	0.26
2007	Mai	190	224	86.6	226	0.21
2007	Jun	135	178	185	185	0.25
2007	Jul	152	211	86.6	222	0.41
2007	Aug	143	215	86.6	231	0.41
2007	Sep	135	220	86.6	240	0.41
2007	Okt	126	224	98.4	249	0.36
2007	Nov	117	229	141	259	0.31
2007	Des	109	234	86.6	268	0.26
2008	Jan	166	151	82.2	105	0.53
2008	Feb	205	193	107	196	0.34
2008	Mar	244	235	82.3	287	0.15
2008	Apr	283	277	107	378	0.4
2008	Mai	322	319	82.4	469	0.23
2008	Jun	361	361	107	560	0.42
2008	Jul	400	403	82.5	651	0.61
2008	Aug	439	445	107	742	0.80
2008	Sep	478	487	82.6	833	0.99
2008	Okt	517	529	107	924	0.118

2008	Nov	556	571	82.7	1015	0.137
2008	Des	595	613	107	1106	0.156
2009	Jan	209	187	89.7	173	0.38
2009	Feb	192	182	102	177	0.33
2009	Mar	175	177	89.8	181	0.28
2009	Apr	158	172	102	185	0.23
2009	Mai	141	167	89.9	189	0.18
2009	Jun	124	162	102	193	0.13
2009	Jul	107	157	89.10	197	0.8
2009	Aug	90	152	102	201	0.3
2009	Sep	73	147	89.11	205	0.2
2009	Okt	56	142	102	209	0.7
2009	Nov	39	137	89.12	213	0.12
2009	Des	22	132	102	217	0.17
2010	Jan	199	177	84.8	167	0.39
2010	Feb	161	152	89.7	119	0.47
2010	Mar	123	127	84.9	71	0.55
2010	Apr	85	102	89.8	23	0.63
2010	Mai	47	77	84.10	-25	0.71
2010	Jun	9	52	89.9	-73	0.79
2010	Jul	-29	27	84.11	-121	0.87
2010	Aug	-67	2	89.10	-169	0.95
2010	Sep	-105	-23	84.12	-217	0.103
2010	Okt	-143	-48	89.11	-265	0.111
2010	Nov	-181	-73	84.13	-313	0.119
2010	Des	-219	-98	89.12	-361	0.127
2011	Jan	186	168	86.0	136	0.44
2011	Feb	195	183	100	181	0.33
2011	Mar	204	198	86.1	226	0.22
2011	Apr	213	213	100	271	0.11
2011	Mai	222	228	86.2	316	0.0
2011	Jun	231	243	100	361	0.11
2011	Jul	240	258	86.3	406	0.22
2011	Aug	249	273	100	451	0.33

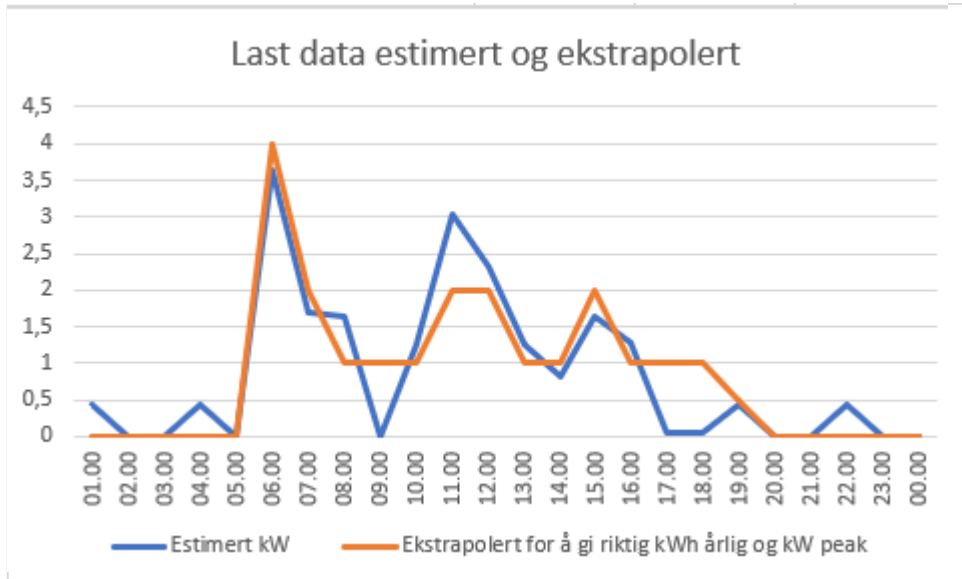
2011	Sep	258	288	86.4	496	0.44
2011	Okt	267	303	100	541	0.55
2011	Nov	276	318	86.5	586	0.66
2011	Des	285	333	100	631	0.77
2012	Jan	231	203	86.9	230	0.28
2012	Feb	193	183	103	180	0.33
2012	Mar	155	163	86.10	130	0.38
2012	Apr	117	143	103	80	0.43
2012	Mai	79	123	86.11	30	0.48
2012	Jun	41	103	103	-20	0.53
2012	Jul	3	83	86.12	-70	0.58
2012	Aug	-35	63	103	-120	0.63
2012	Sep	-73	43	86.13	-170	0.68
2012	Okt	-111	23	103	-220	0.73
2012	Nov	-149	3	86.14	-270	0.78
2012	Des	-187	-17	103	-320	0.83
2013	Jan	191	171	84.6	159	0.40
2013	Feb	184	175	99.6	165	0.35
2013	Mar	177	179	84.7	171	0.30
2013	Apr	170	183	99.7	177	0.25
2013	Mai	163	187	84.8	183	0.20
2013	Jun	156	191	99.8	189	0.15
2013	Jul	149	195	84.9	195	0.10
2013	Aug	142	199	99.9	201	0.5
2013	Sep	135	203	84.10	207	0.0
2013	Okt	128	207	99.10	213	0.5
2013	Nov	121	211	84.11	219	0.10
2013	Des	114	215	99.11	225	0.15
2014	Jan	192	173	86.6	147	0.42
2014	Feb	181	172	99.5	153	0.38
2014	Mar	170	171	86.7	159	0.34
2014	Apr	159	170	99.6	165	0.30
2014	Mai	148	169	86.8	171	0.26
2014	Jun	137	168	99.7	177	0.22

2014	Jul	126	167	86.9	183	0.18
2014	Aug	115	166	99.8	189	0.14
2014	Sep	104	165	86.10	195	0.10
2014	Okt	93	164	99.9	201	0.6
2014	Nov	82	163	86.11	207	0.2
2014	Des	71	162	99.10	213	0.2
2015	Jan	221	195	87.7	207	0.32
2015	Feb	201	191	104	197	0.28
2015	Mar	181	187	87.8	187	0.24
2015	Apr	161	183	104	177	0.20
2015	Mai	141	179	87.9	167	0.16
2015	Jun	121	175	104	157	0.12
2015	Jul	101	171	87.10	147	0.8
2015	Aug	81	167	104	137	0.4
2015	Sep	61	163	87.11	127	0.0
2015	Okt	41	159	104	117	0.4
2015	Nov	21	155	87.12	107	0.8
2015	Des	1	151	104	97	0.12
2016	Jan	207	184	86.4	180	0.35
2016	Feb	188	177	96.8	178	0.31
2016	Mar	169	170	86.5	176	0.27
2016	Apr	150	163	96.9	174	0.23
2016	Mai	131	156	86.6	172	0.19
2016	Jun	112	149	96.10	170	0.15
2016	Jul	93	142	86.7	168	0.11
2016	Aug	74	135	96.11	166	0.7
2016	Sep	55	128	86.8	164	0.3
2016	Okt	36	121	96.12	162	0.1
2016	Nov	17	114	86.9	160	0.5
2016	Des	-2	107	96.13	158	0.9

PVGIS (c) European Communities, 2001-2016

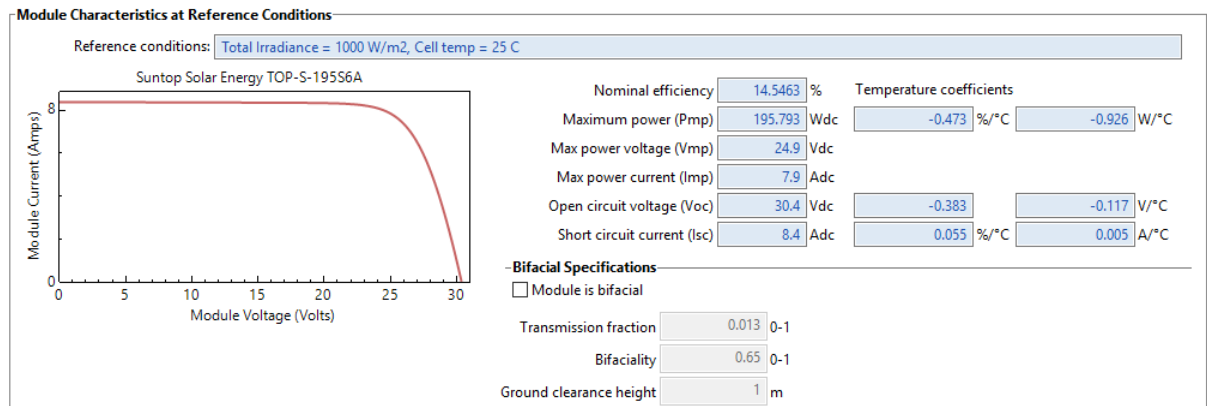
5. Last data

Tid på døgnet	Estimert kW	Ekstrapolert for å gi riktig kWh årlig og kW peak
01:00	0,442	0
02:00	0,007	0
03:00	0,007	0
04:00	0,442	0
05:00	0,007	0
06:00	3,647	4
07:00	1,682	2
08:00	1,647	1
09:00	0,007	1
10:00	1,262	1
11:00	3,027	2
12:00	2,327	2
13:00	1,262	1
14:00	0,827	1
15:00	1,627	2
16:00	1,282	1
17:00	0,047	1
18:00	0,047	1
19:00	0,442	0
20:00	0,007	0
21:00	0,007	0
22:00	0,442	1
23:00	0,007	0
00:00	0,007	0

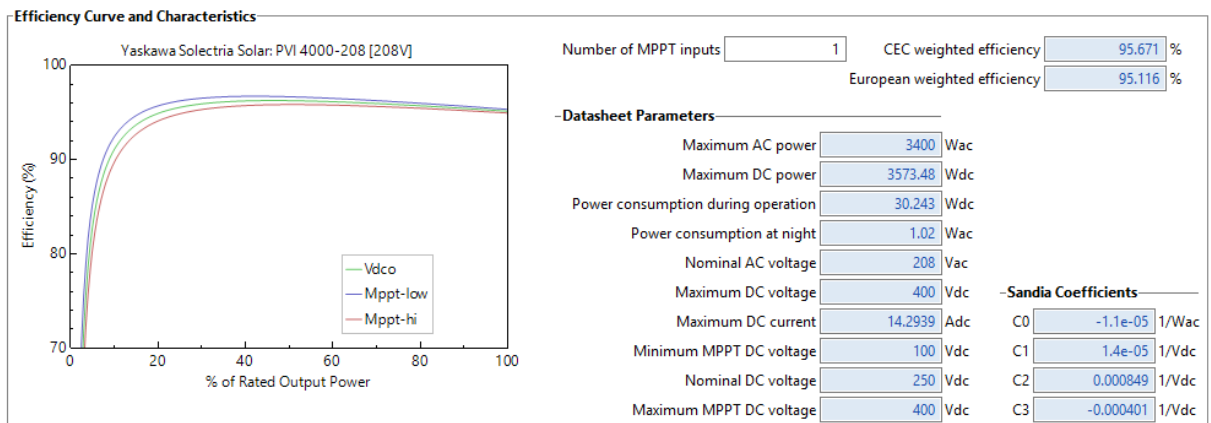


D

1. Modul ved karakteristisk referansepunkt



2. Inverter effektkurve og karakteristikk



3. Batteri verdier

-Computed Properties-

Nominal bank capacity	81.6 kWh (DC)	Maximum discharge power	3.4 kW (DC)
Nominal bank voltage	48 V (DC)	Maximum charge power	3.4 kW (DC)
Total number of cells	96	Time at maximum power	24 h
Cells in series	24	Maximum discharge current	70.8333 A
Strings in parallel	4	Maximum charge current	70.8333 A
		Max C-rate of discharge	0.0416667 per/hour
		Max C-rate of charge	0.0416667 per/hour

The computed properties are the battery bank properties SAM uses for simulations. The nominal bank voltage is the product of the cell nominal voltage and number of cells in series. The nominal voltage is the product of the cell capacity, bank voltage, and number of strings in parallel. The C-rate is a measure of how much of the battery capacity can be charged or discharged per hour. The max power is computed from the max C-rate of discharge. See help for details.

