



Solcellesystem i internasjonale leirer

KRIGSSKOLEN

HOVEDOPPGAVE FOR BACHELORGRAD I
INGENIØRFAG MED FORDYPNING I
MILITÆR ANLEGGSTEKNIKK

Erik Unhjem
Guro Hegstad Stien

Gyldenløve 14-17

[27.03.2017]

Hovedveileder: Peter Brandsæter og Anders Haavik-Nilsen

Veileder: Sissel Forseth

Norwegian Military Academy

P O Box 42

NO-0517 OSLO, NORWAY

REPORT DOCUMENTATION PAGE

TITTEL: <i>SOLCELLESYSTEM I INTERNASJONALE LEIRER</i>	
UTFØRT VED: <i>KRIGSSKOLEN</i>	RAPPORTNR:
OPPDRAGSGIVER: <i>FORSVARSBYGG</i>	
PROSJEKTDeltakere: <i>ERIK UNHJEM</i> <i>GURO HEGSTAD STIEN</i>	PROSJEKTPERIODE: <i>FRA: 03.01.2017</i> <i>TIL: 27.03.2017</i>
VEILEDERE: INTERN VEILEDER: <i>ANDERS HAAVIK-NILSEN OG PETER BRANDSÆTER (KRIGSSKOLEN)</i> EKSTERN VEILEDER: <i>SISSEL FORSETH (FFI)</i>	ANTALL SIDER: <i>HOVEDDOKUMENT:80</i> <i>VEDLEGG:33</i> <i>TOTALT:113</i>
EKSTRAKT: <i>Studien er, etter ønske fra Forsvarsbygg, en undersøkelse om hvordan et solcelleanlegg kan se ut for Forsvaret med de økonomiske og operative forutsetningene det krever.</i> <i>I studien blir ulik teknologi vurdert opp mot økonomi og det taktiske. Sammen med dimensjoneringen og beskrivelsen av et generisk anlegg, utarbeides et pris- og størrelsesestimat.</i> <i>Det konkluderes med at en hybrid løsning med aggregater, solceller og batterier, ikke er aktuell å benytte slik som systemet dimensjoneres i denne oppgaven.</i>	
GRADERING: <i>UGRADERT</i>	
OMSLAGSBILDE: <i>VÅPENSKJOLD KRIGSSKOLEN</i>	
GODKJENT: <i>LINDERUD:</i> _____	
<i>DATO</i>	<i>VEILEDER</i>

FORORD

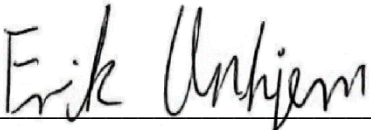
Denne bacheloroppgaven er vår hovedoppgave ved Krigsskolens ingeniørlinje. Dette er en treåring bachelor innen ingeniørfag med fordypning i Militær Anleggsteknikk (MilAnlegg). Studien er en del av fordypningen på Krigsskolen som utgjør 25 studiepoeng i 6. semester.


Denne oppgaven tar for seg bruken av solceller som energiforsyning ved leiretableringer i internasjonale operasjoner (INTOPS). Temaet ble først presentert for oss under forelesningene hos Forsvarsbygg i 4. semester og på nytt igjen i foredrag om aktuelle bachelortema holdt av både Forsvarsbygg og Maskin- og Konstruksjonskompaniet (M&K) i 5. semester. Det er et spennende tema med stor utvikling som gjør det aktuelt både nå og i framtiden. Dette kan bidra i utviklingen av nye løsninger for energiproduksjon i Forsvaret.

Vi ønsker å rette en stor takk til alle som har støttet oss underveis i skrivingen. Oppgaven hadde ikke latt seg fullføre uten så god støtte, velvilje og positivitet fra familie og venner. Takk til alle som har tatt seg tid til å hjelpe oss i arbeidet. Vi ønsker å rette en stor takk til alle intervjuobjekter for deres samarbeidsvilje og erfaringsdeling. Vi ønsker spesielt å takke Sissel Forseth ved Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) for god veiledning og støtte. Hun har vært en god ressurs for oss opp mot det faglige innholdet i oppgaven. Tusen takk til våre hovedveiledere Anders Haavik-Nilsen og Peter Brandsæter for god veiledning og støtte underveis til å skrive en så omfattende oppgave.

Takk til vår oppdragsgiver, Forsvarsbygg ved Tor Knutsen, for en interessant og utfordrende oppgave. Takk for god hjelp i innhenting av dokumentasjon og data, samt egne betraktninger. Dette har vært til stor hjelp for oppgavens utforming og innhold.

Oslo, 27. mars 2017


Erik Unhjem


Guro Hegstad Stien

SAMMENDRAG

I Forsvarets internasjonale leirer benyttes aggregater til strømforsyning. Aggregatene bruker drivstoff som er kostbart og innebærer en risiko for menneskeliv og drift av leiren. Et lavere drivstofforbruk reduserer drivstofftransporten, drivstoffreservene må etterforsynes sjeldnere. Forsvarsbygg så et behov for å undersøke hvorvidt solceller som energiforsyning var mulig. På bakgrunn av dette er problemstillingen for studien:

Hvordan kan et solcellesystem gjøre dagens energiforsyning av internasjonale leirer mer økonomisk og taktisk lønnsomt, og hvordan vil et slikt system kunne se ut?

Empirien i studien er hentet fra intervjuer og rapporter. Intervjuobjektene hadde ulike bakgrunn og derfor et ulikt syn på hvordan solceller kan benyttes. Dette dannet et bredt grunnlag for hvordan systemet burde se ut og hvilke fallgruver det potensielt ville gi. Teknologien innenfor solcelleindustrien ble vurdert gjennom et økonomisk og taktisk perspektiv for å legge til grunn hvilken teknologi systemet bør bestå av. Videre ble det utviklet en fremgangsmåte for beregning av størrelsen og kostnaden til et generisk system. Fremgangsmåten er utviklet for å enkelt planlegge og gi et overslag på kostnaden tilknyttet implementering av solceller. På bakgrunn av teknologivurderingene ble fremgangsmåten benyttet til å beregne et generisk, hybrid energiforsyningssystem. Systemet består av aggregater, solceller og batterier, og for å forsyne ett av Forsvarets basesett for 200 personer.

Systemet som presenteres i studien vurderes til å ikke være aktuelt for Forsvaret slik det står i dag. Arealbehovet er for stort og solcellenes virkningsgrad er for lavt, samt at batterikostnadene er høye. Fremgangsmåten og teknologivurderingene anses likevel å være aktuelle for videre undersøkelser på området. Utvikling av teknologien går mot økt effektivitet og billigere investeringer. Derfor vil det i framtiden være aktuelt med en ny vurdering når teknologien er ytterligere forbedret og rimeligere.

Anbefalingen videre er å iverksette tiltak for å redusere energiforbruket i leirene. Det bør foretas nøyaktige målinger av strømforbruket i en leir slik at man kan gjøre beregninger basert på korrekte data. Når dette er gjort kan man se på implementering av solceller i energiforsyningen. For Forsvaret vil det i første omgang være mest aktuelt med et spredt system, hvor de enkelte funksjonene i leiren har egne solcelleanlegg.

ABSTRACT

The Norwegian Military international camps use generators for energy production. Fuel is expensive and considered a risk for personnel and the operation of camps. A reduction of fuel consumption reduces fuel transportation and the resupply of fuel reserves. The Norwegian Defense Estates Agency has seen the need for examining the possibilities of solar energy for energy supply in international camps. This has given the following thesis:

How can a solar system make today's energy supply of international camps more economical and tactical resistant, and how can such a system look like?

The empirical data is collected through interviews and reports. The interviews were conducted with people with diverse backgrounds to give a broad knowledge on how to use solar power. This laid the foundation for what the system should look like and its potential pitfalls. The technology within the solar industry was considered through an economical and operative perspective to best choose the technology the system should consist of. Further, an easy method for calculating the size and cost for a generic system was developed. The method is intended used at a planning state to give an estimate of the cost of implementing a system. Based on the previous chosen technology; a generic hybrid system consisting of solar panels, battery and generators, is calculated with dimensions to supply a camp for 200 people.

The generic system which is presented in this paper is considered not an option for the military as it is today. The area required is too large, the solar cell efficiency is too low and the battery costs are high. The developed method and the chosen technology is still considered to be a good solution for future research on the subject. The technology is moving towards greater efficiency and less expensive investments. Because of this a reconsideration should be done in the future once the technology has been further improved and is more affordable.

The recommendation is to first reduce the energy consumption in the camps and collect accurate data on the load profile so correct calculations can be done. After doing this, solar power could be added to the system. Initially, a swarm technology is considered the best option for the Military, where each function in the camp has solar that works individually.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	IV
SAMMENDRAG	V
ABSTRACT	VI
INNHALDSFORTEGNELSE	VII
TABELLISTE	IX
FIGURLISTE	IX
FORKORTELSER	X
SYMBOL- OG BEGREPSAVKLARING	XI
1. INNLEDNING	1
1.1. BAKGRUNN.....	1
1.2. PROBLEMSTILLING.....	3
1.3. AVGRENSNINGER OG FORUTSETNINGER.....	4
1.4. DISPOSISJON FOR STUDIEN.....	6
2. METODE	7
2.1. EMPIRISK GRUNNLAG.....	7
2.1.1. Dokumentstudier.....	7
2.1.2. Intervju og informanter.....	8
2.2. ANALYSE.....	9
2.3. METODEKRITIKK.....	9
2.4. KILDEKRITIKK.....	10
3. BESKRIVELSE AV DAGENS SITUASJON	12
3.1. FORSVARETS ETABLERINGSKONSEPT.....	12
3.2. STRØMFORBRUK.....	13
3.3. ØKONOMI.....	15
3.4. FRAKT OG LAGRING AV DRIVSTOFF.....	15
4. SOLCELLER OG TEKNOLOGI	16
4.1. SOLENERGI.....	16
4.2. SOLCELLER.....	16
4.2.1. Ulike typer solceller.....	18
4.2.2. Solsporing.....	19
4.2.3. Solcellepaneler.....	19
4.2.4. Solcellepriser.....	20
4.3. BATTERIER.....	20
4.3.1. Ulike typer batteri.....	21
4.3.2. Batterikapasitet.....	23
4.3.3. Batterisikkerhet.....	23
4.3.4. Batteripriser.....	24
4.4. VEKSELRETTERE.....	24
4.4.1. Ulike vekselrettere.....	24
4.4.2. Vekselretterpriser.....	26
4.5. STYRING AV SYSTEMET.....	26
4.6. ØKONOMI.....	27
4.6.1. Livssykluskostnader.....	27
4.6.2. Systemkostnader.....	28
5. SYSTEMET	30

5.1.	KRAVSPESIFIKASJONER	30
5.2.	REALISTISK DEKNINGSGRAD FOR SOLCELLER	31
5.3.	SOLCELLER	33
5.4.	VEKSELRETTERE	34
5.5.	BATTERIER	35
5.5.1.	Batterikapasitet	35
5.5.2.	Valg av type batteri	37
5.6.	TILPASNING AV FLERE ENERGISYSTEMER	39
5.7.	ØKONOMI	39
5.8.	DELKONKLUSJON SYSTEMET	40
6.	OPERATIVITET	41
6.1.	FRAKT OG LAGRING AV SYSTEMET	41
6.2.	DRIFT OG VEDLIKEHOLD AV SYSTEMET	41
6.3.	FORSYNINGSSIKKERHET	42
6.3.1.	Beredskap og sikring	42
6.3.2.	Forsyningskonvoi	42
6.3.3.	Sårbarhet	42
6.4.	DELKONKLUSJON OPERATIVITET	44
7.	DIMENSJONERING	45
7.1.	BEREGNINGSFORMLER	45
7.1.1.	Beregning med dekningsgraden til solcelleanlegget som begrensende faktor	45
7.1.2.	Beregning med areal som begrensende faktor	47
7.1.3.	Beregning med økonomi som begrensende faktor	47
7.1.4.	Beregning av vekselretter	48
7.1.5.	Beregning av batteripakke	49
7.1.6.	Beregning av drivstofforbruk	49
7.2.	BEREGNING AV GENERISK SYSTEM	51
7.2.1.	Solcellepaneler	51
7.2.2.	Vekselrettere	52
7.2.3.	Batterier	53
7.2.4.	Drivstoff	56
7.3.	TOTALKOSTNAD	58
8.	DRØFTING AV LØSNING	59
9.	KONKLUSJON	63
10.	VEIEN VIDERE	64
	REFERANSER	65
	VEDLEGGSLISTE	69

TABELLISTE

TABELL 1: OPPSUMMERING AV BLYBATTERIER OG LI-ION BATTERIER.	22
TABELL 2: OVERSIKT OVER BEST EGNET BATTERITYPE TIL ULIKE KRITERIER	38
TABELL 3: TENKT EKSEMPEL PÅ PRODUKSJON AV SOLSTRØM OG TOTALT FORBRUK	54
TABELL 4: TOTALKOSTNADER OG VEKT AV SYSTEMET (UTEN AGGREGATER).....	58

FIGURLISTE

FIGUR 1: GJENNOMSNIITTLIG ÅRLIG SOLINNSTRÅLING. HENTET FRA THE GLOBAL ATLAS FOR RENEWABLE ENERGY. COPYRIGHT 2017 IRENA. GJENGITT MED TILLATELSE.	5
FIGUR 2: OVERSIKT OVER UTVIKLINGEN INNEN SOLCELLER OG EFFEKTIVITET. HENTET FRA NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, GOLDEN, CO. COPYRIGHT 2017 NREL. GJENGITT MED TILLATELSE.	17
FIGUR 3: KRYSTALLINSKE SOLCELLEPANELER. FOTO: ERIK UNHJEM. HENTET FRA PRIVATE BILDER. GJENGITT MED TILLATELSE.	19
FIGUR 4: FORSKJELLEN PÅ EN STRENGVEKSELRETTER (T.H) OG MIKROVEKSELRETTERE (T.V.) VED SKYGGE PÅ DELER AV ETT PANEL. HENTET FRA «COMARING INVERTERS» AV ENPHASE.COM. COPYRIGHT 2017 ENPHASE. GJENGITT MED TILLATELSE	25
FIGUR 5: ANDEL INVESTERINGSKOSTNADER FOR ET SOLCELLEANLEGG I % FOR ET TYPISK 200kWp SOLCELLEANLEGG. COPYRIGHT 2017 MULTICONSULT. GJENGITT MED TILLATELSE.	28
FIGUR 6: UTVIKLING AV KOSTNAD BASERT PÅ INVESTERING OG TID. PROGRAM: GEOGEBRA.	32
FIGUR 7: KASTING AV SKYGGE VED VINKLING AV PANELENE. A ER LENGDEN AV PANELENE, B ER MINSTE AVSTAND MELLOM PANELENE FOR Å UNNGÅ SKYGGE PÅ PANELENE.	34
FIGUR 8: PRINSIPIELL FRAMSTILLING AV PRODUKSJON AV SOLSTRØM OG STRØMFORBRUK.	36
FIGUR 9: TENKT EKSEMPEL PRODUKSJON AV SOLSTRØM OG TOTALT STRØMFORBRUK.	55
FIGUR 10: REGRESJON AV TALL FRA TABELL 3 OG BEREGNING AV OVERSKUDDSTRØM VED INTEGRASJON. PROGRAM: GEOGEBRA. .	55
FIGUR 11: GRAF OVER KOSTNADSFORLØPET TIL AGGREGATER OG HYBRIDSYSTEM. X-AKSEN VISER ANTALL DAGER OG Y-AKSEN VISER UTGIFTER I KR.	61

FORKORTELSER

AC	Vekselstrøm (alternating current)
DC	Likestrøm (direct current)
EDA	European Defence Agency
FFI	Forsvarets Forskningsinstitutt
FLO	Forsvarets logistikkorganisasjon
FMA	Forsvarsmateriell
FOH	Forsvarets operative hovedkvarter
INTOPS	Internasjonale operasjoner
MeS	Masar-e Sharif
MilAnlegg	Militær anleggsteknikk
M&K	Maskin- og konstruksjonskompaniet. Ingeniørkompani 5.
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
PI	Prosjektidé
PV	Fotovoltaiske solceller (Photovoltaics)
ROI	Return On Investment
SHAPE	Supreme Headquarters Allied Powers Europe
Li-ion	Litium-ion
V	Volt

SYMBOL- OG BEGREPSAVKLARING

Dekningsgrad	Hvor mye av energibehovet som dekkes.
F34	Drivstoff som nyttes i Forsvaret
FOH	Meninger knyttet til FOH er fra respondenten Bjørn Kråkstad.
FMA	Meninger knyttet til FMA er fra respondentene Kristoffer Gjertsen og Knut Karlsen.
Operativitet	Sier noe om hvordan systemet skal fungere best mulig og enklest mulig, og omtaler funksjonaliteten til systemet. Kan også brukes om leirer.
Operativ evne	En avdeling/leirs motstandsdyktighet mot ytre trusler.
Optimal vinkel	Optimalisert helningsvinkelen til solcellepanelene for størst mulig utbytte av solinnstrålingen.
PI	Første steg i et materiellinvesteringsprosjekt for Forsvaret
Taktisk lønnsomt	Sier noe om fordeler for Forsvarets stridsevne og levedyktighet og kan spille inn på Forsvarets operativitet. Hvorvidt noe er taktisk lønnsomt defineres i studien til å omhandle menneskelig og skader opp mot et trusselbilde.
NATO	I studien er NATO fellesbetegnelsen for respondentene: <ul style="list-style-type: none">• Susanne Michaelis: Environment and Smart Energy, Energy Security Section, Emerging Security Challenges Division (ESCD), NATO Headquarters• David Burbridge: Environmental Management, SHAPE JENG Division.
NTNU	Meninger knyttet til NTNU er fra respondenten Anne Grete Hestnes, professor emeritus innen energi og miljø ved NTNU.
kWp	Kilowatt peak. Se Wp.
kWh	Kilowattimer. Et mål på mengde strøm.
Solstrøm	Strøm produsert av solceller
Virkningsgrad	Forholdet mellom solinnstråling (effekt inn) og produsert strøm (effekt ut)
Wp	Solcellenes maksimale ytelse under standard testforhold: Innstråling 1000W/m ² og temperatur 25°C.

1. INNLEDNING

1.1. BAKGRUNN

Forsvaret har de siste tiårene hatt mange bidrag INTOPS, blant annet i Afghanistan, Kosovo, Irak og Mali. Disse oppdragene har omfattet etablering av leirer for styrkebidraget i de ulike lokasjonene. Med sikkerhetssituasjonene i Midøsten og Afrika, med krig- og krisetilstander flere steder, går det mot økende globale sikkerhetsutfordringer (Brende, 2015). Etterretningstjenesten sikkerhetsvurdering sier følgende: «Flere land i Midtøsten, Nord- og Øst-Afrika preges av en vedvarende systemkollaps. Stadig flere områder kontrolleres ikke lenger av myndighetene, og det høye konfliktnivået i regionen kan dermed øke ytterligere i 2016» (Etterretningstjenesten, 2016, s. 26). Det er grunn til å tro at konflikter og trusler også i fremtiden vil prege bildet av den globale sikkerheten. Avhengig av hvordan konflikter, trusselbilde og politikken nasjonalt og internasjonalt utvikler seg, vil Forsvaret mest sannsynlig være en aktør internasjonalt også i årene som kommer.

Krig og krigshandlinger medfører ofte store ødeleggelser på eksisterende infrastruktur i et land. I de landene hvor fredsoperasjoner har vært aktuelt, har det tradisjonelt sett ikke eksistert den samme gode og stabile infrastrukturen som hjemme i Norge. Ødeleggelser fra krig, og infrastruktur som i utgangspunktet er dårlig, gjør at sårbare systemer som ledningsnett for vann, avløp og strøm ofte har for liten stabilitet og kapasitet til at Forsvaret kan benytte seg av dette. Som en følge av dette må Forsvaret ved deployeringer ta med seg og installere alle nødvendige deler av infrastrukturen innad i egen leir for å kunne drifte leiren. Styrkebidrag forlegges i leirer som har til hensikt å huse styrkene, gi nødvendig sikkerhet og nødvendige fasiliteter for å kunne løse oppdraget. Utforming av og funksjonen til leiren må dimensjoneres og planlegges ut fra taktisk behov, klima, hvor stort styrkebidraget er og hvor lenge utlandsmisjonen er planlagt å vare. Felles for alle leirene med de systemene og den nødvendige infrastrukturen, er at de alle trenger elektrisk energi til drift (Forsvarsbygg, 2015). Systemer som samband og data, vannrens, vannforsyning og sanitæranlegg med tilhørende avløpsnett er essensiell infrastruktur som er kritisk å holde i drift for at leiren skal fungere over tid. Disse funksjonene krever et stabilt og godt strømmnett slik at driften fungerer slik den skal.

Ser man på hvor Forsvaret har operert de siste årene, har det i hovedsak vært i områder med potensiale for å utnytte solenergi til strømproduksjon. De siste årene har det vært en stor

utvikling innen solcelleteknologien. Solceller har blitt mer effektiv og prisen har gått drastisk ned; mellom 2009 og 2016 har det vært en prisnedgang på over 80% (SolarServer, 2016). Prisnedgangen gjør at solceller utvikler seg mot å være konkurransedyktige mot vannkraft, selv her i Norge. Det ligger et stort potensiale i å utnytte energi fra solen til produksjon av elektrisk strøm, rent økonomisk og miljømessig (Olsen, 2017). Menneskeskapt klimaendring er dokumentert gjennom FNs klimapanelers klimarapport (Karlsen & Uglenes, 2013). Miljøbevisstheten og fokuset rundt utslipp av klimagasser har økt på verdensbasis som følge av klimaendringene. NATO har derfor stilt flere og strengere krav til forvaltning av miljøet ved leiretableringer i internasjonale operasjoner, som har ført til at flere har måttet øke sitt miljøfokus (Stoltenberg, 2016).

1.2. PROBLEMSTILLING

Aggregater er kraftforsyningskilden som har vært benyttet til å produsere strøm i internasjonale leirer. Den omgjør energi lagret i fossilt brennstoff til elektrisk energi ved hjelp av en motor som driver en generator. Forsvaret bruker diesel til å drive motorene på aggregatene som produserer strøm. Dieselen forbrukes i forbrenningsprosessen og må kontinuerlig etterfylles for at aggregatene skal produsere strøm. Forsvaret har i dag et stort forbruk av drivstoff til strømforsyningen til internasjonale leirer. I Camp Meymaneh var det i 2011 åtte aggregater, hver på 400kW. Leiren hadde totalt et forbruk på 30 000kWh per døgn og for å dekke dette behovet ble det forbrukt 10 000L drivstoff i døgnet (Forsvarsbygg, 2015). Med et bidrag til strømproduksjonen fra fornybare strømkilder som solceller, kan drivstofforbruket reduseres samtidig som strømproduksjonen opprettholdes.

Solen er en stabil ressurs og kan ikke brukes opp på samme måte som fossilt brennstoff. I dagens energiforsyningssystem for internasjonale leirer nyttes ikke solceller til strømproduksjon. Dagens strømforsyning skjer kun ved bruk av aggregater. Det er en relativt enkel metode som fungerer så lenge aggregatene har tilgang på drivstoff. Det er fordeler og ulemper ved bruk av aggregater og solceller. For å se hvorvidt dagens løsning er den mest optimale løsningen for strømforsyning i internasjonale leirer, må fordeler og ulemper ved begge kraftforsyningsmetodene vurderes. Det økonomiske står sentralt, men på grunn av Forsvarets spesielle oppdrag og de sikkerhetsmessige forholdene i et konfliktområde må også det taktiske vurderes. På bakgrunn av de overnevnte forholdene skal studien ta for seg følgende problemstilling:

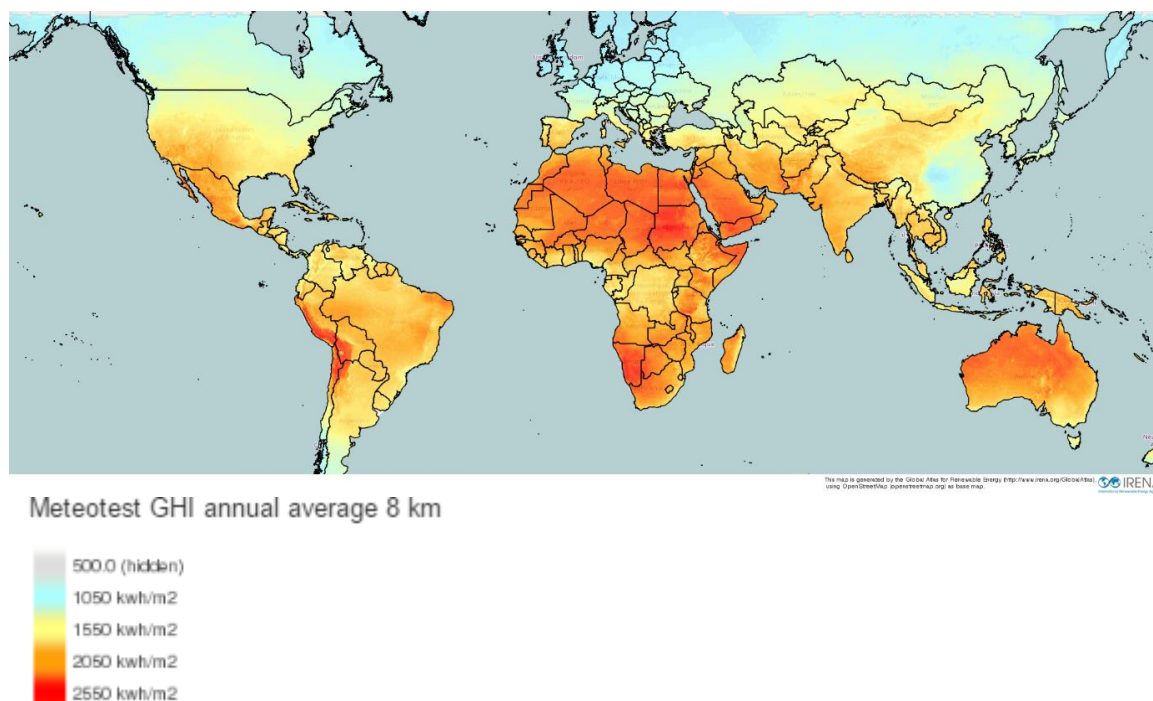
Hvordan kan et solcellesystem gjøre dagens energiforsyning av internasjonale leirer mer økonomisk og taktisk lønnsomt, og hvordan vil et slikt system kunne se ut?

1.3. AVGRENSNINGER OG FORUTSETNINGER

På grunn av studiens omfang har det ikke vært mulig å ta hensyn til alle faktorer eller forhold som kan ha en innvirkning på hvordan solcellesystemet kan se ut. Det er derfor satt følgende begrensninger:

- Rye-Florentz (2009) konkluderer med at solenergi er den beste fornybare energikilden for en militærleir i områder med klima som i Kabul, Afghanistan. For strømproduksjon er solceller det beste alternativet, men med et backup system eller i rammen av et hybrid system (Rye-Florentz, 2009). På bakgrunn av dette begrenses studien til å se på et hybrid system bestående av solceller, batterier og diesellaggregater.
- Rye-Florentz (2009) konkluderer med at batterier er den beste lagringsteknologien for militære leirer. Etersom dette er en velprøvd og anerkjent lagringsform avgrenses studien til å kun se på energilagring på batterier. Det er kun oppladbare batterier som er aktuelt å se på i studien og alt som omtales av batterier er sekundære/oppladbare batterier.
- Kun solceller, batterier og vekselrettere av solcellesystemet vil bli vurdert. Annen teknologi som inngår i systemet vil ikke bli drøftet. Det vil ikke bli drøftet hvordan fysikken, kjemien og teknologien bak komponentene i solcelleanlegget teknisk fungerer i systemet.
- For å begrense antall faktorer som spiller inn på systemets omfang tas det utgangspunkt i at leiren ikke har døgndrift, men kun normal drift på dagtid, med kun de nødvendige funksjonene på kvelden og natta.
- Studien tar ikke for seg hvordan strømmen skal fordeles rundt i leiren etter at den er produsert.
- Det miljømessige aspektet ved solceller vil ikke bli omtalt i studien.
- Beregningene knyttet til livsløpskostnader tar ikke hensyn til inflasjon. Studien avgrenses til et system som er i kontinuerlig drift for enklere å beregne forskjellene mellom et aggregatsystem og et hybridsystem. Studien tar ikke hensyn til at dieselpriisen øker.
- Studien tar ikke hensyn til klimakvoter, som betaling for CO₂-utslipp.
- Studien tar ikke høyde for utfordringene knyttet til oppstart av et nytt system. Dette kan være innenfor oppsett og bruk av systemet, opplæring og andre oppstartsproblemer.
- Studien tar ikke utgangspunkt i et bestemt sted i verden eller hvor langt, hvor hurtig og hvordan systemet skal fraktes. Dette betyr at fraktkostnadene vil være vanskelige å si noe om, og studien avgrenses til ikke å se på kostnadene knyttet til frakt av systemet.

- Solinnstrålingen i et gitt område er med på å definere hvor stor effekt man får ut av solcellesystemet. Jo høyere solinnstrålingen er desto mer strøm produserer solcellene som minsker arealbehovet og kostnadene til solcellepanelene.



FIGUR 1: GJENNOMSnittlig ÅRLIG SOLINNSTRÅLING. HENTET FRA THE GLOBAL ATLAS FOR RENEWABLE ENERGY. COPYRIGHT 2017 IRENA. GJENGITT MED TILLATELSE.

For å komme frem til en generisk løsning og når det vil være aktuelt å benytte solceller, må det ligge til grunn en viss solinnstråling. Ved å sette denne faktoren relativt lav, kan man komme frem til et system som vil fungere i store deler av verden. Av figur 1 ser man at en årlig solinnstråling på 1550kWh/m² eller mer er gjeldene for store deler av verden. For studien settes derfor årlig solinnstrålingen til 1500kWh/m². Det betyr *ikke* at systemet ikke fungerer i områder med lavere solinnstråling, det vil kun ha en dårligere effekt som må tas høyde for ved beregninger. En fallgrube ved å sette solinnstrålingen for lav er at arealbehovet gjør systemet uhensiktsmessig stort, men valgt solinnstråling anses som tilstrekkelig.

- Forutsetter at aggregatene klarer å forsyne energibehovet i perioder med lite sol. Det vil si at leiren på dager med overskyet vær i stor grad vil driftes av aggregater.

1.4. DISPOSISJON FOR STUDIEN

Denne bacheloroppgaven er delt inn i ti kapitler. Kapitlene tar for seg teori, empiri, drøftinger og beregninger som leder i retningen av en konklusjon. Enkelte kapitler avsluttes med en delkonklusjon om viktige elementer som bør vurderes ved en investering i solceller.

Kapittel 2, Metode: Beskriver metoden benyttet for innhenting av data, og inneholder metodekritikk og kildekritikk.

Kapittel 3, Beskrivelse av dagens situasjon: Tar for seg nåværende leiretableringskonsept og strømforsyningssystem. Presenterer tall på strømforbruk og tall knyttet til drivstofforbruket.

Kapittel 4, Solceller og teknologi: Teori om ulike teknologi innenfor solceller, vekselrettere og batterier, empiri fra dokumentetsøk, presentasjon av estimater basert på dagens priser og prisutvikling.

Kapittel 5, Hvordan bør systemet se ut?: Presentasjon av hvilke krav som må ligge til grunn for oppbygning og dimensjonering av systemet. Drøfting av hvilke komponenter systemet skal bestå av.

Kapittel 6, Operativitet: Drøfter drift og vedlikehold av systemet, samt forsyningssikkerhet opp mot kravene om beredskap og taktiske fordeler.

Kapittel 7, Dimensjonering av generisk løsning: Presentasjon av en generell fremgangsmåte for beregning av solcellesystemet; størrelse og kostnad. Dimensjonering av et generisk system som et eksempel til hvordan systemet kan se ut.

Kapittel 8, Drøfting av generisk løsning: Resultatet fra kapittel 7, den generiske løsningen, drøftes hvorvidt er aktuell for Forsvaret.

Kapittel 9, Konklusjon: Inneholder en besvarelse av problemstillingen.

Kapittel 10, Veien videre: Inneholder anbefalinger for veien videre i arbeide mot et hybrid system.

2. METODE

For å svare på problemstillingen i studien har kvalitativ metode blitt benyttet. Denne metoden sier noe om kvaliteten eller egenskapene til et fenomen (Johannessen, Tufte, & Christoffersen, 2010). Jacobsen (2005, s. 131) sier at «den kvalitative metoden er best egnet der vi vet lite om det temaet vi har bestemt oss for å undersøke – problemstillingen er *uklar*». Gruppen hadde lite forkunnskaper om temaet og forventet å måtte endre problemstillingen underveis. Problemstillingen ble formulert på en slik måte at empiri, sammen med teori, var avgjørende for en god besvarelse. Derfor var en kvalitativ metode mest egnet ettersom den brukes til å få avklart uavklarte tema (Jacobsen, 2005). Metoden muliggjør endring av problemstillingen, undersøkelsen og analysen underveis i prosessen (Jacobsen, 2005). Sistnevnte gir fleksibilitet og stort spillerom for studien. Metoden ble valgt på grunn av dets fleksibilitet til endring underveis i prosessen og behovet for å innhente informasjon og kunnskap fra eksperter og fagpersoner.

2.1. EMPIRISK GRUNNLAG

Empiri baserer seg på sannsynlige erfaringer og er en erfaringsmessig datainnhenting. Empiri har sitt grunnlag i erfaring og representasjoner om virkeligheten (Johannessen et al., 2010). Empirien i studien er hentet fra flere kilder og en hermeneutisk metode for analysen ble benyttet. Denne metoden bygger på at data blir analysert enkeltvis, enkeltdelene blir sett i lys av helheten, deretter helheten i lys av delene (Jacobsen, 2005, s. 186). Det empiriske grunnlaget for studien er derfor basert på ulike kilder, både intervjuer og dokumentstudier. Empirien er sett på hver for seg og i sammenheng, dette for å gi et mest mulig nyansert og utfyllende bilde.

2.1.1. DOKUMENTSTUDIER

Denne studien kunne vært gjennomført som en teoretisk studie, men da hadde erfaringer og eksperters meninger manglet, noe gruppen mener har vært en nøkkelfaktor for studiens verdi. Det er mange rapporter om tema og det har blitt benyttet flere dokumenter. Johannessen et al. (2010) skriver at systematisering og organisering er en forutsetning for å forstå datamaterialet. Ved å ta utgangspunkt i eksisterende dokumenter og rapporter ble dataene organisert etter tema, for å systematisere og begrense mengden data, for så å analysere og tolke dataene. Her vil gruppens egne fortolkninger og perspektiver virke inn. Det har blitt benyttet masteroppgaver og rapporter fra tidligere prosjekter. I hovedsak har disse, sammen med tall og data fra tidligere

leiretableringer, fagartikler og anerkjente fagspesifikke internettsider, utgjort det teoretiske grunnlaget til studien. Dette har vært med på å sette nødvendige begrensninger for studien og gjøre den godt nok spisset. Innholdet i mange av dokumentene har vært med på å forme intervjuguiden og således vinklingen på studien.

2.1.2. INTERVJU OG INFORMANTER

Intervju som datainnsamling ble benyttet for at studien skulle ta i betraktning erfaringer og kunnskap hos fagpersonell. Dette var for å gi studien mer relevans for beslutningstakere i Forsvaret som kan være med å avgjøre fremtidens energiforsyning av militære leirer. Ved å benytte intervjuer ble gruppen presentert kunnskap fra respondenter med ulik bakgrunn og perspektiv. Respondentenes kunnskap og erfaringer har ført til at argumentasjonen og vektingen av de ulike løsningene i studien har fått mer tyngde. Ettersom studien var et studentprosjekt hvor tiden og økonomien var begrenset, valgte gruppen å basere seg på et lite utvalg informanter. Det ble derfor viktig for oppgavens bredde at den baserte seg på intervjuobjekter med en variert bakgrunn. Utvelgelsen av informantene var strategisk. Intervjuobjektene ble utvalgt basert på deres kunnskap rundt temaet, og om de var tilgjengelig i perioden avsatt til intervjuer. Dette ble gjort for å legge et best mulig grunnlag for å kunne svare på problemstillingen. Det var ønskelig å få frem ulike perspektiver på bruk av solceller og det var naturlig å søke intervjuobjekter i ulike fagmiljøer og instanser: Forsvarsbygg, Forsvarsmateriell (FMA), ulike sivile aktører ved sivile prosjekter, universiteter og firmaer. Det var også ønskelig med et perspektiv fra høyere hold slik som Forsvarets operative hovedkvarter (FOH) og NATO.

En åpen samtalerelasjon med intervjuobjektet er en måte å benytte intervju som en aktiv prosess for å innhente kunnskap (Kvale & Brinkmann, 2009). Med få intervjuobjekter valgte gruppen å benytte seg av åpne individuelle intervju slik at man enkelt fikk vite hva de ulike respondentene mente om temaet. For å sikre at viktige temaer man ønsker å belyse kommer med i intervjuet anbefaler Jacobsen (2005, s. 145) å utarbeide en intervjuguide. Derfor ble det lagd en intervjuguide, med aktuelle spørsmål, som ble distribuert til intervjuobjektene i forkant av intervjuene (se vedlegg 1). Intervjuguiden var ganske omfattende og mange av spørsmålene ble formulert som åpne spørsmål for å skape en samtale med rom for drøfting. Gruppens kunnskapsnivå var relativt lav til å begynne med, og ved å få intervjuobjektene til å snakke fritt om temaet fikk man innhentet mye kunnskap. Noen av spørsmålene var mer spisset og direkte rettet mot problemstillingen. Empirien hentet inn gjennom intervjuene ble sammenfattet i

vedlegg 2. Sammendraget er ikke presentert i hoveddokumentet ettersom den innhentede informasjonen hadde et stort omfang. Derfor blir det referert direkte til vedlegget i hoveddokumentet.

2.2. ANALYSE

Etter en omfattende datainnsamling ble empirien sammenfattet. Ved å gjøre dette kunne man se på detaljer, enigheter og avvik. Dette knyttet opp i et helhetsbilde ga gruppen et godt grunnlag å basere slutningene på. Dette kalles for hermeneutisk metode i den samfunnsvitenskapelige forskningen (Jacobsen, 2005). Intervjunotatene ble renskrevet kort tid etter intervjuene. Notatene ble gjennomgått og kontrollert med tanke på innhold og nødvendighet opp mot studien. Eventuelle refleksjoner rundt intervjuet ble notert slik at endringer og justeringer opp mot fremgangsmåten og gjennomføringen av intervjuene kunne gjøres. Slik forbedret gruppen intervjuguiden etter hvert intervju til å bli mer effektiv og rett på sak. Referatene fra intervjuene ble sammenlignet for å se på enighetene og avvikene. På denne måten kan man se hvor ekspertene er enige og uenige med hverandre, teorien og praksisen. Innholdsanalyse er en teknikk som finner sammenhenger ved å dele inn i kategorier og tema (Jacobsen, 2005). Dette var aktuelt for studien siden problemstillingen berører ulike kategorier og tema. Intervjuobjektene hadde ulike forutsetninger for å kunne si noe om temaene.

2.3. METODEKRITIKK

Innhentede data fra dokumentstudier og intervjuer kan være så komplekse at forfatteren mister oversikt, og detaljer og nyanser kan dermed bli oversett. Den kvalitative metoden er krevende med tanke på mengden informasjon som hentes inn (Jacobsen, 2005, s. 185). Gruppen har opplevd å finne så mye informasjon rundt enkelte temaer, at det ikke har vært mulig å håndtere omfanget av informasjon. Her måtte gruppen prioritere, avgrense og gjøre valg som kan ha gått på bekostning av utvalg, bredde og antall respondenter benyttet. Dette er en av grunnene til at variasjonen i respondentene ble mer begrenset enn først planlagt. Ettersom intervjuobjektene har ulik bakgrunn har gruppen vektlagt enkeltes utsagn mer enn andres. Dette er fordi enkelte har et bedre utgangspunkt for å kunne uttale seg om mulighet, gunstighet og aktualitet for Forsvaret, slik som FOH og FMA. Gruppen valgte å fokusere på informasjonen fra disse aktørene for å begrense mengden informasjon. Ved å benytte en kvalitativ metode for å besvare problemstillingen må man forholde seg til meninger og synspunkter som kommer frem i

intervjuene og eventuelt i rapportene. Studien kan ha blitt påvirket av både forfatteres fortolkninger og intervjuobjekters synspunkter, og vil derfor ikke være 100% objektiv. Subjektive holdninger kan ha kommet frem gjennom intervjuprosessen hvor intervjuobjektet snakker imot eller i favør problemstillingen basert på egne meninger og ikke basert på hvilke fakta som ligger til grunn. Respondentenes erfaringer var ønsket i studien og det vurderes at personlig oppfatning og forestilling ikke vil påvirke kredibiliteten til studien i nevneverdig grad.

2.4. KILDEKRITIKK

Utvelgelsen av intervjuobjekter kan også være en faktor for kildekritikk. Det har vært forsøkt å hente inn intervjuobjekter fra et bredt spekter: FOH med en beslutningstakers perspektiv, FMA med et brukerperspektiv, NTNU med et faglig perspektiv og NATO med et faglig- og påvirkningsperspektiv. Det var ønskelig å hente inn flere intervjuobjekter, men på grunn av begrenset med tid mangler studien enkelte perspektiver, da hovedsakelig et leverandørperspektiv. Likevel har korrespondanse med ulike leverandører vært gjennomført for å undersøke aktuelle priser på anlegget. Lydopptak ble ikke benyttet under intervjuene som kan føre til at informasjon har gått tapt. Engelsk som intervjuspråk var utfordrende og notatene fra disse intervjuene er mer mangelfull, men gruppen mener at hovedbudskapene kommer frem. Gruppens oppfatning er at notatene fra de resterende intervjuene har vært tilstrekkelige og det har derfor ikke blitt gjennomført en transkripsjon av intervjuene. Dette er et valg tatt på bakgrunn av tidsbegrensningen.

Teorien innen temaet er generell. Studien legger derfor mer vekt på empirien, og drøftingen vil i stor grad basere seg på dokumentasjon og intervjuer. Dokumentene som er benyttet for å gi grunnleggende kunnskap innen fagområdet anses å være korrekte og av seriøse aktører. Mange av rapportene er fra ulike prøveprosjekter, mens andre rapporter sier noe om utviklingen frem til i dag og veien videre. I disse rapportene kan subjektive meninger ha kommet frem, og agendaen kan være å overbevise leser om at en satsing på fornybare energikilder er veien å gå. Gruppen har vært bevisst dette i datainnsamlingen. Kildene som er brukt om solcelleteknologi er forsøkt innhentet fra så oppdaterte kilder som mulig. Ettersom teknologien stadig er i utvikling kan tre år gamle rapporter være upresise, spesielt med tanke på økonomi. Nettsider fra leverandører kan ha en bakenforliggende agenda om å selge sitt produkt. Gruppen har

forsøkt å unngå å bruke spesifikke produkter, men enkelte steder har det vært behov for å hente inn et datagrunnlag for beregninger.

Mengden rapporter og åpne kilder som eksisterer innenfor solenergien er enorm og gruppen har ved flere anledninger vært nødt til å sette en stopp i datainnsamlingen, og legge til grunn det som ble innhentet frem til det punktet. Dette er et resultat av tid som begrensende faktor. Det finnes mange rapporter som kun er tilgjengelig for en betydelig pengesum. Det kan ha ført til at gode og mer korrekte kilder har blitt utelatt, som kan føre til unøyaktigheter i besvarelsen. Gruppen har kun hatt anledning til å benytte åpne kilder. Dette betyr at fremskritt innen teknologi og estimerte priser presentert, kan være utdatert. Teknologien som omtales er i hovedsak basert på den som er mest utbredt.

Mange av tallene benyttet i beregningene av systemet er svært unøyaktig. Tallene og beregningene gir et bilde på hvordan beregningene kan utføres, samtidig som det gir leseren en følelse av størrelse og pris. Størrelse og pris er veldig avhengig av hvilke forutsetninger som legges til grunn. Med en begrenset kunnskap og innsikt i solcellebransjen kan forutsetningene som er satt av gruppen være basert på feil grunnlag. Solcellebransjen holder kortene tett til brystet, og det har vært vanskelig å finne gode kilder som gir realistiske tall på hva et system vil koste. Ved etablering av et system på den størrelsen presentert i studien, vil anbudsrunder være nødvendig. Dette gjør at det blir økt konkurranse, som resulterer i en pakkepris. Det har ikke vært tid til å hente inn et estimat på en slik pakkepris. Derfor er prisen presentert til slutt i studien mest sannsynlig for høy, ettersom den er summen av de enkelte komponentene. Dieselprisen lagt til grunn i studien er fra 2012. Dette er en gammel pris levert av en sivil aktør, til leir i Afghanistan. Gruppen har ikke lyktes i å innhente en oppdatert pris. Hvis Forsvaret frakter drivstoff til leiren selv, vil prisen stige på grunn av transport og sikkerhetstiltak. Inntjeningstid og besparelse beregnes ut ifra dieselprisen i 2012, uten prisøkning. Dette betyr at den utregnede besparelsen i virkeligheten vil være større. Gruppen anser derfor beregnet innsparing til å være på konservativ side med tanke på lønnsomheten til solceller.

3. BESKRIVELSE AV DAGENS SITUASJON

For å kunne si noe om energiforsyningen til leirer, må man kjenne til Forsvarets etableringskonsept. Derfor vil dette bli presentert først slik at man kan lese resten av studien i lys av dagens strømforbruk. Tallene som presenteres i dette kapitlet er i stor grad de eneste tallene som eksisterer, og flere steder har egne utregninger blitt gjort. Strømforbruket presenteres på en måte som gjør at det kan benyttes som en forutsetning for dimensjonering av et generisk solcelleanlegg.

3.1. FORSVARETS ETABLERINGSKONSEPT

Forsvarets internasjonale operasjoner strekker seg over varierende tidsrom og med en varierende styrkesammensetning. For å tilpasse leirene etter varighet og styrkesammensetning, har Forsvaret et etableringskonsept som er delt inn i tre faser. Fase 1 er for hurtige og kortvarige etableringer hvor det stort sett blir benyttet basemateriell. Kraftbehovet til fase 1-leirer dekkes av aggregater drevet av diesel eller F34 (Forsvarsbygg, 2015). Fasen varer kun i noen måneder og innsparingspotensialet er lavt. Solceller vil derfor ikke være hensiktsmessig for fase 1 og fase 1 er derfor ikke av interesse for denne studien. Ved etableringer opp mot to år, etableres en fase 2-leir. For etablering av fase 2-leirer har Forsvaret satt sammen basesett. Et basesett er et komplett sett som inneholder nesten alt man trenger til en leir for en styrke på 200 mann. Basesettene baserer seg på telt og konteinerløsninger til forlegning, kontorer og andre driftsnødvendige komponenter. For å lage større leirer kan man enkelt sette sammen flere basesett til ønsket størrelse (K. Karlsen, intervju, 8. februar 2017). Skal etableringen vare lengre enn to år ønsker man å etablere en fase 3-leir. Her skal det søkes å nytte faste konstruksjoner i kombinasjon med konteinere og letthaller (Forsvarsbygg, 2015). Det vil si at permanente bygg skal oppføres. Disse har økt isolasjonsevne og komfort sammenliknet med teltene. Her benyttes også dieselaggregater til kraftforsyningen.

Ved fase 2 og 3 er det økt organisering og kvalitet på infrastrukturen. Det er også etableringer som er ment å vare over et lengre tidsrom, slik at det totale forbruket av drivstoff blir større enn ved fase 1. Solceller som bidrag til energiforsyning vil først være aktuelt å se på ved en fase 2 eller 3-etablering på grunn av økt kvalitet på infrastrukturen, et høyere forbruk og en lengre varighet. En fase 2 og 3-etablering varer lenge nok til at et hybrid kraftforsyningssystem kan utgjøre en vesentlig forskjell i forbruk av diesel. For denne studien legges et basesett til grunn for teknologiske valg, beregninger og kostnader.

3.2. STRØMFORBRUK

Alle internasjonale leirer driftes av store dieselaggregater. I ett basesett er det fire aggregater, hver på 400kW som sammen kan produsere totalt 1600kW (FLO, 2007). På grunn av klimatiske sesongvariasjoner og ulik bruk og belastning av systemet vil forbruket variere i løpet av dagen og året. Desto varmere eller kaldere det er i forhold til ønsket innetemperatur, brukes det mer strøm til oppvarming eller nedkjøling. Forbruket varierer også gjennom døgnet på grunn av døgnrutinene til folk. Av intervjuene kom det frem at det er en topp i strømforbruket om morgenen, ettermiddagen og når det er som varmest mitt på dagen (se vedlegg 2, pkt. 3). Aggregatene styres slik at de automatisk kobles inn og ut for å tilpasse kraftbehovet. Av de fire aggregatene i et basesett, går ett kontinuerlig, ett står i reserve eller gjøres service på, mens de to siste kobles inn etter behov. Det er nødvendig at ett aggregat går kontinuerlig for å forsyne strøm gjennom hele døgnet (se vedlegg 2, pkt. 3). Flere av respondentene var enige om at det enkleste og mest effektive for å redusere drivstofforbruket, er å redusere strømforbruket. De kommenterte også at dette er det første som må skje (se vedlegg 2, pkt. 3). Store varmetap og et høyt forbruk gjør at strømproduksjonen er så høy som den er i dag (Kråkstad, 2012).

Ved å ta utgangspunkt i hvor mange kWh et basesett vil kreve i løpet av en dag kan man si noe om produksjonskapasiteten (kWh) til solcelleanlegget og effekten det har på drivstofforbruket. Mengden strøm produsert av aggregatene har blitt estimert ut fra aggregatenes dieselforbruk. For utregning av strømforbruket ganges drivstofforbruket opp med energitettheten til drivstoffet og med virkningsgraden til motor og generator. Følgende likning har blitt brukt i utregningene av strømforbruket (Kråkstad, 2012):

$$\begin{aligned} \text{Forbruk i kW} = & \\ & \text{Drivstofforbruk} \times 10 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} \times \text{Virkningsgrad motor} \\ & \times \text{Virkningsgrad generator} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Ved å benytte denne likningen er det flere mulige faktorer som kan gi et unøyaktig svar. Dette er fordi det ikke er en strømmåler som måler strømforbruket, og svaret vil derfor kun være et estimat. Virkningsgraden til aggregatene er hentet fra teknisk håndbok til aggregatene og er 35% for motoren og 94% for generatoren (FLO, 2007). Virkningsgradene er basert på rent drivstoff, normale temperaturer og gode driftsforhold. Tap på strømmettet og den reelle virkningsgraden til aggregatene er potensielle kilder til feilmålinger. Dette kan bety at strømforbruket ikke har vært like stort som dieselforbruket skulle tilsi.

For å kunne gi et estimat på hvor stort forbruket til ett basesett er, har det blitt tatt utgangspunkt i dieselforbruket til leiren i Masar-e-Sharif (MeS). Tallene er hentet fra 2011 hvor det var totalt ti aggregater i leiren og ca. 550-600 personer i leiren. Leiren var bygd opp av tre basesett med en god del tekniske tillegg som også brukte strøm. Av de ti aggregatene i leiren produserte sju den nødvendige strømmen, mens tre var konstant i reserve (se vedlegg 2, pkt. 5). Leiren forbrukte 2 262 159L drivstoff på strømproduksjon på ett år. Regnes dette om med likningen for omgjøring av diesel til strøm får man følgende forbruk (Kråkstad, 2012):

$$2\,262\,159\text{ L} \times 10\text{ kWh/L} \times 0.35 \times 0.94 = 7\,443\,000\text{ kWh per år} \quad (3.2)$$

Daglig gjennomsnitt:

$$\frac{7\,443\,000\text{ kWh}}{365\text{ dager}} = 20\,400\text{ kWh/dag} \quad (3.3)$$

For å estimere det gjennomsnittlige dagsforbruket til et basesett sammenliknes ett basesettet med leiren i MeS med befolkning og antall aggregater.

Antall kjørende aggregater i MeS var sju. Sammenliknet med ett basesett som bruker tre aggregater kan forbruket skaleres med forholdstallet 3:7.

$$20\,400\text{ kWh/dag} \times \frac{3}{7} = 8749\text{ kWh/dag} \quad (3.4)$$

Ut fra antall benyttede basesett og personer i leiren, får man følgende skalering:

$$\frac{20\,400\text{ kWh/dag}}{3} = 6800\text{ kWh/dag} \quad (3.5)$$

Begge estimatene gir resultater som ligger relativt nære hverandre. I tillegg til basesettene var det en del tilleggsfunksjoner. Derfor kan man anta at ett basesett har et lavere forbruk enn beregnet i likning 3.5. Det er uvisst hvor stort forbruket øker på grunn av tilleggsfunksjonene. Det ekstra forbruket kan ses på som en sikkerhetsmargin, som gir et konservativt mål på hvor mye et basesett forbruker. Estimatet beregnet i likning 3.4 antas å være mindre korrekt enn estimatet i likning 3.5, fordi antall aggregater styres av den maksimale påkrevde effekten i kW. Forholdet mellom antall mennesker og forbruk antas å ha en større korrelasjon enn antall aggregater og forbruk. Derfor tas det i denne studien utgangspunkt i et forbruk på 6800kWh per dag, for ett basesett.

3.3. ØKONOMI

For et basesett som kun benytter aggregater er det diesel, samt vedlikeholder som utgjør utgiftene. Grunnlaget for størrelsen på disse utgiftspostene er laget ved å se hvor store utgiftene har vært ved tidligere leirer. Forbruket av diesel og vedlikeholdskostnader er hentet inn fra FMA og skalert i forhold til et basesett. Dieselprisen i MeS lå i 2012 på 10,40 kr/L. Vedlikeholdskostnadene er basert på at det ble brukt 250 000 kr per år til vedlikehold av åtte aggregater (se vedlegg 2, pkt. 5).

3.4. FRAKT OG LAGRING AV DRIVSTOFF

Frakt av drivstoff i farlige områder vil alltid innebære en risiko for menneskeliv, og en reduksjon av drivstofforbruket vil gi en stor operativ fordel (Stoltenberg, 2016, s. 42). Fra NATO er det et krav om beredskap i leiren. I følge FMA betyr ikke dette at man må lagre drivstoff nok til å drifte aggregatene hele beredskapstiden. Kravene er fordelt mellom brigaden, bataljonen og FLO/FMA; som har den største reserven (Se vedlegg 2, pkt. 5).

4. SOLCELLER OG TEKNOLOGI

Dette kapitlet tar for seg teori og empiri innen solcelleteknologien, samt livssyklus og inntjeningstid. Hovedkomponentene til et solcelleanlegg og aktuell teknologi blir presentert sammen med et kostnadsperspektiv for i dag og fremtiden.

4.1. SOLENERGI

Solenergi er energien som finnes i sollyset og er en tilnærmet utømmelig kraftkilde. Jordkloden mottar årlig en solenergi som er ca. 8000 ganger høyere enn den solenergien menneskene i verden forbruker (Catch Solar Energy AS, 2017). I solas kjerne skjer fusjonsreaksjoner, hvor hydrogenkjerner fusjonerer med hverandre og går over til heliumkjerner. Dette er en prosess som frigjør store mengder energi (Guddingsmo, 2017). Denne energien stråler ut som elektromagnetisk stråling og kan omdannes til elektrisitet for eksempel ved bruk av solceller (Guddingsmo, 2010). Solkonstanten er på 1353W/m^2 og er strålingsenergien fra sola som treffer vinkelrett på en flate utenfor atmosfæren. Rundt 30% blir reflektert tilbake til rommet og den gjennomsnittlige effekten av solstrålingen på jordoverflaten i løpet av et døgn er 240W/m^2 . Den er litt høyere ved ekvator og litt lavere ved polene (NMBU, 2013). Solen er en fornybar energiresurs. Den er forutsigbar, gratis og gir nok energi til å dekke alle energibehov (Holm, 2013).

4.2. SOLCELLER

Fotovoltaiske solceller (PV) er elektroniske enheter som konverterer sollys direkte over til elektrisk strøm. I en solcelle blir solenergi omdannet til elektrisk energi. Den elektriske energien fra en solcelle må benyttes med en gang eller lagres i oppladbare batterier (Guddingsmo, Fløttre, & NKI Forlaget, 2013). Innenfor fotovoltaisk solcelleteknologi eksisterer det flere typer, slik som tynnfilmceller, konsentrert PV og krystallinske solceller.

Figur 2 viser at forskning innen solenergi har økt de siste årene og gir et bilde av mulighetene innen solceller og effektivitet. Virkningsgraden varierer veldig, fra 4% til oppunder 50%. The Fraunhofer Institue har utviklet en solcelle som holder rekorden med en effektivitet på 44,7%. Virkningsgraden sier i hvor stor grad solcellene klarer å omgjøre energien i sola til elektrisk energi. Det er forholdet mellom solinnstråling, som er soleffekt inn, og produsert strøm, som er elektrisk effekt ut (Fornybar.no, 2016).

4.2.1. ULIKE TYPER SOLCELLER

KRYSTALLINSKE SOLCELLER

Den største utviklingen på solceller i dag er på silisiumbaserte solceller. Solceller laget av silisium er den mest utbredte av solcelleteknologiene (Kirkengen, 2017, s. 27). Krystallinske solceller er bygget opp av silisiumkrystaller. Den typiske solcellepaneleffektiviteten ligger på 12-20% (Norsk solenergiforening, 2017). Det er kun krystallinske solceller som klarer å kombinere ressurstilgangen, produksjonsprosessen, verdikjeden, levetiden, fleksibiliteten, effektiviteten og kostnaden til en helhet. Dette gjør silisiumbaserte solceller aktuelle å benytte i dag (Kirkengen, 2017, s. 27). I følge Rye-Florentz (2009) er krystallinske solcellepaneler det beste alternativet på grunn av dens høye effektivitet og varighet, selv om panelene ikke er spesielt robuste hvis de blir hardt behandlet eller utsatt for sabotasje.

TYNNFILMCELLER

Tynnfilmceller er moduler bygd opp av tynne lag av solceller og benytter materialer som kan absorbere lys i et meget tynt lag og blir ofte deponert på bøyelige substrater. De er billige å produsere og materialforbruket er lavere enn i krystallinske solceller, men effektiviteten er dårligere, kun 8-12%, (Norsk solenergiforening, 2017). Tynnfilmteknologi trenger kun 1-5% av råstoffene som kreves i krystallinske celler. I tillegg kan flatene bøyes. Under mindre ideelle forhold kan tynnfilmceller overgå krystallinske på produksjon av elektrisitet ettersom de krystallinske cellene krever mer direkte innstråling (Fornybar.no, 2016). Tynnfilmceller kan være aktuelt for bruk i Forsvaret, men da for bakkestyrker og ikke i leiretableringer (Rye-Florentz, 2009, s. 46).

KONSENTRERT PV

Konsentrert PV bruker linser eller speil for å konsentrere sollyset til å treffe en meget effektiv solcelle, kalt tandemcelle. Tandemceller er bygd opp av mange lag med ulike materialer som fanger opp en større andel av fotonene. Dette krever færre solceller som igjen gir et lavere arealbehov og solcelleeffektiviteten økes til 40%. Konsentrert PV kan kun utnytte direkte sollys

og krever områder med lite skyer og lav luftfuktighet, slik som i ørkenstrøk. I tillegg er det en mer omfattende installasjon som vil kreve kjøling av solcellen og solsporing av solen (Norsk solenergiforening, 2017).

4.2.2. SOLSPORING

Solsporing, bedre kjent som *tracking*, betyr at systemet følger sola og solcellepanelene har mest mulig optimal vinkel gjennom hele dagen. Da treffes solcellene av mest sol og man får størst mulig effekt. Ved å følge solens bevegelse over himmelen kan man øke effektiviteten opptil 45% (LINAK, 2017).

4.2.3. SOLCELLEPANELER

Solceller gir en spenning på 0,3-0,6 volt (V), som betyr at man må seriekoble cellene til et solcellepanel for å få stor nok spenning (Fornybar.no, 2016). Et panel kan bestå av 50-70 serie- og parallellkoblede krystallinske silisiumceller. Innkapslingen med bakplate og glassplate skal beskytte solcellene for vær og vind. Solcellepanelene i dag fås med en garanti på 25 år, som vil si at utnyttelsesgraden skal være den samme i 25 år uten at det påløper større kostnader enn enkelte driftskostnader (Fornybar.no, 2016). I følge Holm (2013) rettes ofte panelene direkte mot sør.



FIGUR 3: KRYSTALLINSKE SOLCELLEPANELER. FOTO: ERIK UNHJEM. HENTET FRA PRIVATE BILDER. GJENGITT MED TILLATELSE.

Solcelleanlegg er modulbasert, som gjør det enkelt å skalere det opp og ned etter behov. Det er lite teknisk komplekst på grunn av få bevegelige deler. De fleste systemer med modulmontering har et skinne- eller rammesystem for innfesting av solcellepanelene (Holm, 2013). Figur 3 viser solcelleanlegget til NMBU som består av krystallinske solcellepaneler. Her er monteringen snekret på egenhånd. Solcellepanelene kommer som legoklosser og kan stables på hverandre som gjør frakt og oppbevaring i containere enkelt.

4.2.4. SOLCELLEPRISER

Solcellesystemer prises gjerne per installert effekt, NOK/kWp. Dette er et kostnadstall for innkjøp og gir et sammenligningsgrunnlag mellom forskjellige typer solceller. I bygningsbransjen opereres det normalt med kvadratmeterpris. Skal man operere med det, vil virkningsgraden på solcellepanelene spille inn ved omregning til m²-pris. Har modulen høy virkningsgrad får man en høy NOK/m², men den vil også produsere flere kWh. Skal man sammenligne kostnaden med andre energikilder benytter man NOK/kWh (Holm, 2013). Utbyggingskostnader i dag er ned mot 80 øre/kWh og man ser for seg en reduksjon til 40 øre/kWh innen fem år i Norge (Kirkengen, 2017). Prisen på krystallinske silisiumceller fra Kina har sunket med 80% siden 2008 (Fornybar.no, 2016).

4.3. BATTERIER

I dette kapitlet vil to batterityper, litium-ion (Li-ion) batterier og blybatterier, bli presentert og funksjonene til batteriene beskrives.

En batteripakke lagrer energi, for eksempel produsert av generatorene eller solcellene. Batterier har en viktig funksjon som lagring av strøm eller kritisk strømforsyning. Kombinert med solceller og generatorer kan det drifte en leir uten tilkobling til lokalt strømnnett (BAE Systems, 2016, s. 33). BAE System og European Defence Agency (EDA) gjennomførte et forsøk med solceller i Camp Koulikoro, Mali, i 2016. Forsøket var av liten skala med kun 16kWp installert solcelleeffekt. Batteripakken hadde en kapasiteten på 36,5kWh med et 50-90% spenningsvindu. Det ble benyttet 12V, 190Ah blybatterier. Volumet av batteripakken i Mali var på 18m³ og veide 5000kg (BAE Systems, 2016, s. 53). Dette forsøket viste at driftstidene på aggregatene ble redusert med 70% ved å ha tilkoblet en liten batteripakke. Forsøket viste også at en større batteripakke ville forlenge levetiden til batteriene, men ikke minke drivstofforbruket ytterligere (BAE Systems, 2016).

Hasvold (2010) sier at levetiden til et batteri er definert som tiden det tar før batteriet har 80% av nominell kapasitet. Sykeltall er antall opp- og utladinger et batteri har, før kapasiteten er under 80% av den nominelle. Levetid og sykeltall avhenger i stor grad av bruken og lagringsforholdene til batteriet (Hasvold, 2010, s. 16). Den største utviklingen innenfor batterier har de siste årene vært i levetid, og batterier for store systemer kan ha en levetid på ti år (Valmot, 2013). En stor batteripakke utlades prosentvis mindre enn en liten batteripakke og vil ha lengre levetid i møte med samme energiforbruk. En stor batteripakke reduserer antall start og stopp av aggregatene som igjen reduserer vedlikeholdskostnadene (BAE Systems, 2016, ss. 33-34). En svakhet ved batterier er at de er vare for temperaturendringer. Ved høye eller lave temperaturer reduseres batterikapasiteten. Batterier vil fungere best ved stabile temperaturer rundt 20°C (Gunvaldsen & Rosvold, 2017).

4.3.1. ULIKE TYPER BATTERI

BLYBATTERI

Blybatterier er ifølge Gunvaldsen & Rosvold (2017) det eldste og mest brukte batteriet. Det brukes hovedsakelig til motorstart av kjøretøy og andre fremkomstmidler. Blybatterier har en celledensitet rundt 2,0V, en energitetthet på 25-45Wh/kg og densitet på 60-90Wh/L. Et blybatteri har et sykeltall mellom 500-1500 (Gunvaldsen & Rosvold, 2017). Ved jevnlig bruk må batteripakken byttes ut etter cirka to år (PowerTech Systems, 2015a). Blybatterier som utlades mer enn 30-50% av kapasiteten får redusert levetid. Levetiden vil også bli forkortet ved ufullstendige oppladninger (PowerTech Systems, 2015a). Virkningsgraden til blybatterier ligger rundt 85%, men ved -20°C kan virkningsgraden blir redusert ned til 30% (PowerTech System, 2015b). Blybatterier er billig, men har høy vekt (Hasvold, 2010).

LITIUM-ION BATTERI

Litium-ion batterier er en samlebetegnelse for batterier som inneholder litium, men kan ha ulike kjemiske oppbygninger. Granitt, nikkel, mangan og kobolt er ofte brukte materialer (RECHARGE a/s, 2013). Gunvaldsen & Rosvold (2017) skriver at Li-ion batterier blir mye brukt i moderne elektronikk som mobiltelefoner og elektriske biler. Batteriene har en høy celledensitet på 3,6-3,7V. Gunstig spenningsvindu for Li-ion batterier er å bruke det ned til 40% av kapasitet og lade det opp igjen til 80% (Gunvaldsen & Rosvold, 2017). PowerTech System (2015b) skriver derimot at over 90% av batterikapasiteten kan benyttes og at batteriet har en virkningsgrad oppunder 100%. Ved -20°C vil virkningsgraden synke til 80%. Li-ion batterier har et sykeltall på 2000-5000 og er tilnærmet vedlikeholdsfri (PowerTech System, 2015b). Det er i dag utviklet

Li-ion batterier med en densitet på 800-1000Wh/L og med en spesifikk energi på 325-400Wh/kg (Amprius, 2016).

Masseproduksjon av batterier vil føre til at prisene synker og med store elbil-produsenter, som Tesla, vil konkurransen i markedet føre til at batteriteknologien drives fremover (Nilsen, 2016b). Batteriprisen er forventet å falle med mer enn 30% per kWh ved optimalisering av batteriproduksjonen (Tesla Motors, 2014). Denne utviklingen fører til høyere energitetthet og ladekapasitet som gjør batterier til en enda bedre investering, i fremtiden (Nilsen, 2016b). Nå ligger batterikostnadene ned mot \$145/kWh. De estimerte kostnadene for batterier innen 2022 vil ligge på \$100/kWh (InsideEVS, 2016). Dersom batterier med ti års levetid til \$100/kWh blir tilgjengelig vil det føre til at kostnadene for lagring kan synke til under 30 øre/kWh (Kirkengen, 2017, s. 9). Med optimal utvikling vil det likevel ta tid før batteriprisen faller under \$100/kWh. Selv med 1000 ladesykluser i batteriets levetid vil det fremdeles koste nesten en krone per kWh. Batteriprisene er forventet å synke og ved en økt etterspørsel vil batterifabrikkene bli større og dermed kostnadene lavere (Kirkengen, 2017).

TABELL 1: OPPSUMMERING AV BLYBATTERIER OG LI-ION BATTERIER.

	Blybatteri	Li-ion batteri
Densitet (Wh/L)	60-90Wh/L	800-1000Wh/L
Spesifikk energi (Wh/kg)	25-45Wh/kg	325-400Wh/kg
Vekt	Tre ganger vekten til Li-ion batteri	En tredel av vekten til blybatteri
Jevnlig vedlikehold	Ja, hvis vannbasert.	Nei
Innkjøpspris (\$/kWh)	100-200 \$/kWh	600-700 \$/kWh
Livssykluser	500-1500	2000-8000
Optimalt spenningsvindu	50-100%	40-80%
Cellespenning	2,0V	3,7V

Tabell 1 er en systematisering av dataene presentert tidligere i dette kapitlet for enklere å kunne sammenligne de ulike batteritypene.

4.3.2. BATTERIKAPASITET

Batterikapasitet måles ofte i amperetimer (Ah). Amperetimer beregnes fra antall ampere som kan tas fra batteriet multiplisert med tiden batteriet kan levere denne strømmen. Mange batterier har lik spenning (volt), men dette sier ingen ting om totalt lagret energi i batteriet. Kilowattimer er en måleenhet som i batterisammenheng sier noe om totalt lagret energi i batteriet (PowerStream, 2017). Sammenhengen mellom spenning, amperetimer og wattimer er slik:

$$\text{Spenning} \times \text{Amperetimer} = \text{Wattimer} \quad (4.1)$$

BAE systems (2016, s. 34) skriver at de normalt dimensjonerer energilagringen til å ha en utladingssyklus på fire timer et par ganger om dagen. Dette er et kompromiss mellom størrelsen på batteripakken, med anskaffelseskostnad og logistiske utfordringer, og akseptabel levetid. Rye-Florentz (2009, s. 49) skriver at antall dagers forbruk batteriet bør ha kapasitet til å dekke, dimensjoneres etter antall dager uten sol, i den mest energikrevende måneden. Ettersom det er usannsynlig at alle dagene uten sol kommer etter hverandre, reduseres antallet noe ved beregning av behovet for lagring av strøm (Rye-Florentz, 2009).

Finske Fortum har Nordens største batteri. Dette Li-ion batteriet er en konteiner bestående av 6 600 Li-ion celler og har kapasitet til å lagre en megawattime med elektrisk energi og koster 1,6 millioner euro (Fortum, 2017). Convergent Energy + Power (2017) har flere batterikonteinerløsninger som de har produsert til ulike prosjekter både Li-ion og blybatterier. De oppgir ikke pris på leverte prosjekter.

4.3.3. BATTERISIKKERHET

Hasvold (2010) skriver at de aller fleste Li-ion batterier inneholder en brennbar væske og ved tilstrekkelig oppvarming avgis denne fra cellen som en brennbar gass. Tar gassen fyr vil brannen bidra til en energiavgivelse mye høyere enn batteriets elektriske energi. Det er normalt ingen avgasser fra Li-ion batteriene, men ved feil vil det kunne oppstå en eksplosjonsartet brann eller eksplosjon. Det er bestemte krav til batteribeholderens styrke og ventilering avhengig av type batteri og anvendelse. Batteribeholderen skal for eksempel ha en svekkelse som sørger for kontrollert ventilering (Hasvold, 2010). Det kan også forekomme feil i blybatterier som fører til utvikling av knallgass som kan føre til en gaseksplosjon (Skagerak Energi, 2014). Flere

sikkerhetstiltak er gjort i utviklingen av Li-ion batterier, for å unngå ukontrollerte kortslutninger og overoppheting, men ulykker kan fortsatt forekomme (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2012, s. 11).

4.3.4. BATTERIPRISER

I et beregningseksempel gjort av AllCell Technologies LLC (2012) hvor anskaffelseskostnad, levetid, installasjonskostnad og transportkostnader er inkludert, er Li-ion batterier 68% rimeligere, per kWh, enn blybatterier (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2012). PowerTech Systems (2015c) viser til et beregningseksempel som inkluderer levetid, anskaffelseskostnad, installasjonskostnad og transportkostnader. Her er Li-ion batteriet 95% rimeligere per kWh, per syklus, sammenlignet med blybatteriet. I begge eksemplene er anskaffelseskostnaden for Li-ion batteriene nesten fem ganger dyrere enn blybatteriene.

4.4. VEKSELRETTERE

4.4.1. ULIKE VEKSELRETTERE

En vekselretter kalles på engelsk en inverter. Det er et apparat som omformer likestrøm (DC) til vekselstrøm (AC). Solcellepanelene produserer likestrøm, som må omformes til DC før den sendes ut på nettet. Strømmen på det vanlige nettet for boliger i Norge er 230V, vekselstrøm med en frekvens på 50Hz. Det vil si at strømmen fra solcellepanelene må omformes fra en annen spenning og likestrøm til 230V vekselstrøm med 50Hz som kan sendes ut på et nett til forbrukeren (Sandstad, 2009). Det finnes flere forskjellige måter man kan koble panelene opp mot en vekselretter. Metoden som brukes avhenger av de lokale forholdene og hvordan systemet er bygd opp (Cenergy Power, 2014). Metodene kan deles inn i følgende hovedkategorier: Strengvekselretter, mikrovekselretter og sentralvekselretter.

STRENGVEKSELRETTETTER

Cenergy Power (2014) skriver at en strengvekselretter fungerer ved at DC-strømmen fra panelene samles i en vekselretter som omformer DC til AC. Dette gjør at antallet vekselrettere reduseres ettersom flere paneler kobles opp mot en vekselretter. Dersom det blir endringer eller dårligere driftstilstand på én enkelt modul vil dette påvirke hele anlegget som igjen vil yte dårligere. Dette kan for eksempel skje dersom det kommer skygge på en modul, slik som vist på figur 4. Skyggen resulterer i at effekten på resten av strengen reduseres. På grunn av at hver streng har en dedikert vekselretter, er det lett å sette sammen moduler med paneler og en

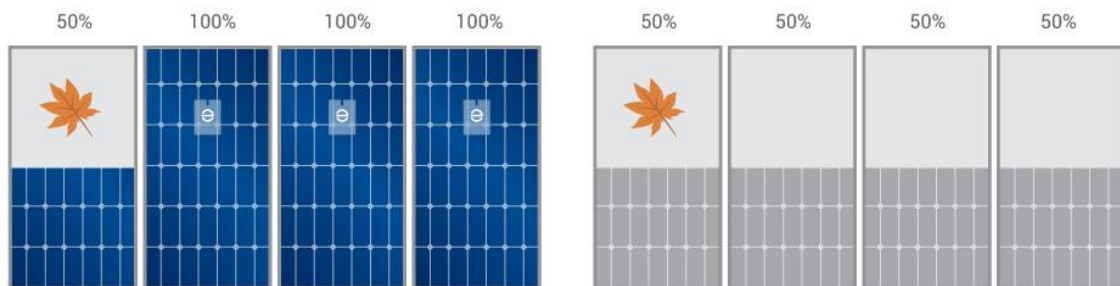
inverter. Dette gjør at en feil på vekselretteren ikke påvirke hele systemet, men bare redusere kapasiteten noe (Cenergy Power, 2014).

MIKROVEKSELRETTER

Siemens (2012) skriver at mikrovekselrettere er små vekselrettere som gjerne sitter på baksiden eller undersiden av panelene. En mikrovekselretter sørger for at DC-strømmen som produseres i panelet gjøres om til AC lokalt før det sendes ut på nettet. Fordelen med mikrovekselrettere er at de kun er tilknyttet ett enkelt panel. Det gir enkelhet ved at flere paneler lett kan kobles opp etter hvert som systemet skal utvides eller endres. Sammenlikner man mikrovekselrettere og strengvekselrettere vil mikrovekselrettere ha litt større tap i omformingsprosessen fra DC til AC. Paneler koblet sammen med mikrovekselrettere er derimot mindre følsomme dersom ett av panelene skygges for, slik som vist i figur 4. Kun det enkeltpanelet som skygges for påvirkes ved bruk av mikrovekselrettere, de resterende panelene produserer uavhengig av de andre (Siemens, 2012).

SENTRALVEKSELRETTER

Cenergy Power (2014) skriver at sentralvekselrettere er beregnet for større systemer enn mikrovekselrettere og strengvekselrettere. Sentralvekselrettere er på samme måte som en strengvekselretter koblet til strenger med solcellepaneler. Forskjellen er at sentralvekselrettere kan motta strøm fra flere hundre strenger med paneler. Denne type vekselrettere er tiltenkt store takanlegg eller solparker. En stor vekselretter er større og mer kostbar enn strengvekselrettere. Den er mer gunstig med tanke på de store lastene mange solcellepaneler vil gi. Sentralvekselretteren er best når det er konstant produksjon over alle strengene. (Cenergy Power, 2014).



FIGUR 4: FORSKJELLEN PÅ EN STRENGVEKSELRETTER (T.H) OG MIKROVEKSELRETTERE (T.V.) VED SKYGGE PÅ DELER AV ETT PANEL. HENTET FRA «COMARING INVERTERS» AV ENPHASE.COM. COPYRIGHT 2017 ENPHASE. GJENGITT MED TILLATELSE

4.4.2. VEKSELRETTETTERPRISER

Vekselretteres pris er avhengig av størrelse og type. For de forskjellige typene vekselrettere ligger prisene på:

- Strengvekselrettere 2,25 kr/Wp.
- Mikrovekselretter 5,4 kr/Wp
- Sentralvekselretter 2,0 kr/Wp

Priser hentet fra solcellespesialisten 7. mars 2017 (Solcellespesialisten, 2014).

4.5. STYRING AV SYSTEMET

For at et strømnnett skal fungere optimalt hele tiden, må det leveres nok strøm på nettet til at alle forbrukerne får den strømmen de trenger. Det er svingninger i strømforbruket gjennom dagen, derfor må systemet klare å produsere nok strøm som understøtter forbruket gjennom svingningene. I et vanlig system basert på aggregater, trenger systemet kun regulere effekten på aggregatene, og antallet aggregater som produserer strøm. Aggregater kobles inn og ut etter hvert som strømforbruket varierer. Solceller gir systemet enda et variasjonsmoment som må reguleres. Solstrålingen treffer ikke panelene med konstant intensitet i løpet av en dag. Det er naturlige variasjoner i strømproduksjonen. Dette er en følge av solens innstrålingsvinkel, skygge fra objekter og skyer. Dette må også reguleres sammen med forbruket, slik at det ikke underproduseres strøm. For å regulere dette, trengs det et smart energisystem. Det er et system som automatisk regulerer produksjonen av strøm. Det sørger for at strømmen går dit det er behov for den. Den kan ikke styre produksjonen av strøm fra solcellene, men kan øke eller minke aggregatenes produksjon etter hvert som det er behov for det. Dersom det overproduseres strøm fra solcellepanelene eller aggregatene, kan smartsystemet sende denne strømmen til en eventuell batteribank hvor den kan lagres for senere bruk (SMA, udatert).

4.6. ØKONOMI

4.6.1. LIVSSYKLUSKOSTNADER

Livssyklus kostnader, *Life Cycle Cost* (LCC), er alle kostnadene som genereres gjennom livsløpet til den enkelte anskaffelsen, det være seg investering, forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling

(Standard Norge, 2013). Ved å foreta LCC-beregninger i planprosessen kan man vurdere tekniske løsninger og valg, og konsekvensene det får for de årlige kostnadene under drift.

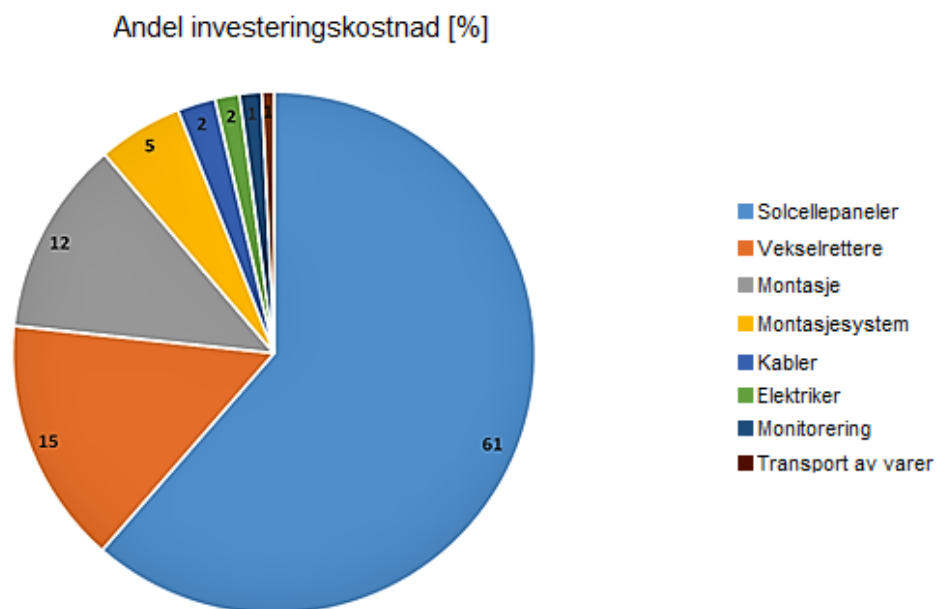
Avkastning på investeringen, eller *Return On Investment* (ROI), er en måte å evaluere effektiviteten til en investering sammenlignet med andre investeringer. ROI beregner avkastningen basert på investeringskostnadene. Gevinstene fra investeringen deles på investeringskostnadene og gir en prosentvis avkastning.

$$ROI = \frac{\text{Gevinst fra investering} - \text{Investeringskostnad}}{\text{Investeringskostnad}} \quad (4.2)$$

Inntjeningstiden er tilbakebetalingstiden på investeringsobjektets anskaffelsespris (Finansleksikon, 2016). For et solcelleanlegg vil det være når investeringskostnadene er innspart på grunn av reduserte driftskostnader. Fra det tidspunktet vil systemet produsere strøm billigere enn det opprinnelige systemet.

4.6.2. SYSTEMKOSTNADER

De stor utgiftene til et hybrid system ligger i hovedkomponentene som solcellepaneler og batterier.



FIGUR 5: ANDEL INVESTERINGSKOSTNADER FOR ET SOLCELLEANLEGG I % FOR ET TYPISK 200kWp SOLCELLEANLEGG. COPYRIGHT 2017 MULTICONSULT. GJENGITT MED TILLATELSE.

Figur 5 viser en prosentvis fordeling av investeringskostnadene til et solcellesystem. Det er tydelig at solcellepanelene er den største utgiften. Vekselrettere utgjør også en relativt stor andel. Vekselrettere er kostbart, men nødvendig for at systemet skal fungere. For Forsvaret vil montasje av systemet gjøres av egne og denne utgiften vil for Forsvaret i all hovedsak være lønn til egne ansatte som inkluderer utgiftene til elektriker. Selv om montasjesystem, kabler og monitorering ikke blir sett på i studien blir de likevel tatt hensyn til i overslagsberegningene av totalprisen til systemet (se tabell 4).

Prisen på solenergi har falt raskt og kommer til å fortsette å falle. I tillegg til solceller, gjelder dette også vekselrettere, bæresystemer, installasjon og andre kostnader som følger med når man bygger solkraftverk (Norsk klimastiftelse, 2015). Framtidsutsiktene for systemkostnaden er estimert til å ligge ned mot en dollar per installert watt i år 2020. Det er realistisk å tenke at solceller om fem til ti år vil være den billigste formen for strømproduksjon, for store deler av verden (Norsk klimastiftelse, 2015).

Det er svært lave driftsutgifter knyttet til et slik anlegg (Holm, 2013). Under frakt av systemet kan det forekomme skader. Skadene som skjer kan i mange tilfeller repareres, men reservebatterier og reservepaneler bør medbringes (BAE Systems, 2016).

Utrekninger gjort av Forsvarsbygg (se vedlegg 3) på et testprosjekt med solcellepaneler og dieselgeneratorer i Kabul, viste at solcelleanlegget hadde en inntjeningstid på seks måneder og to uker. Testprosjektet hadde to dieselaggregater hvor én kjørte kontinuerlig på minimum 50%. Estimert størrelse på solcelleanlegget var 200m².

5. SYSTEMET

Kravspesifikasjonene presentert i kapittel 5.1, ligger til grunn når et system skal vurderes. Teorien presentert i kapittel fire drøftes opp mot kravene, og en vurdering tas på hvilke komponenter systemet bør bestå av. På grunn av studiens omfang ses kun på tre typer solceller og to typer batterier, men disse er valgt på bakgrunn av kommersiell tilgjengelighet og teknologisk utvikling. Vekselrettere bestemmes i stor grad ut fra størrelsen til systemet, siden de utgjør en stor del av investeringskostnadene, se figur 5, tas de med i drøftingen.

5.1. KRAVSPESIFIKASJONER

For å kunne utforme og vite hvordan systemet skal se ut, må kravene og de nødvendige spesifikasjonene som er nødvendig være kjent. Ved å identifisere hva systemet må oppnå og hvilke forhold det skal tolerere, kan man skreddersy et system for Forsvaret. Løsningen må være drivstoffreduserende ettersom dette er hovedargumentet for å undersøke andre former for energiproduksjon (se vedlegg 2, pkt. 2).

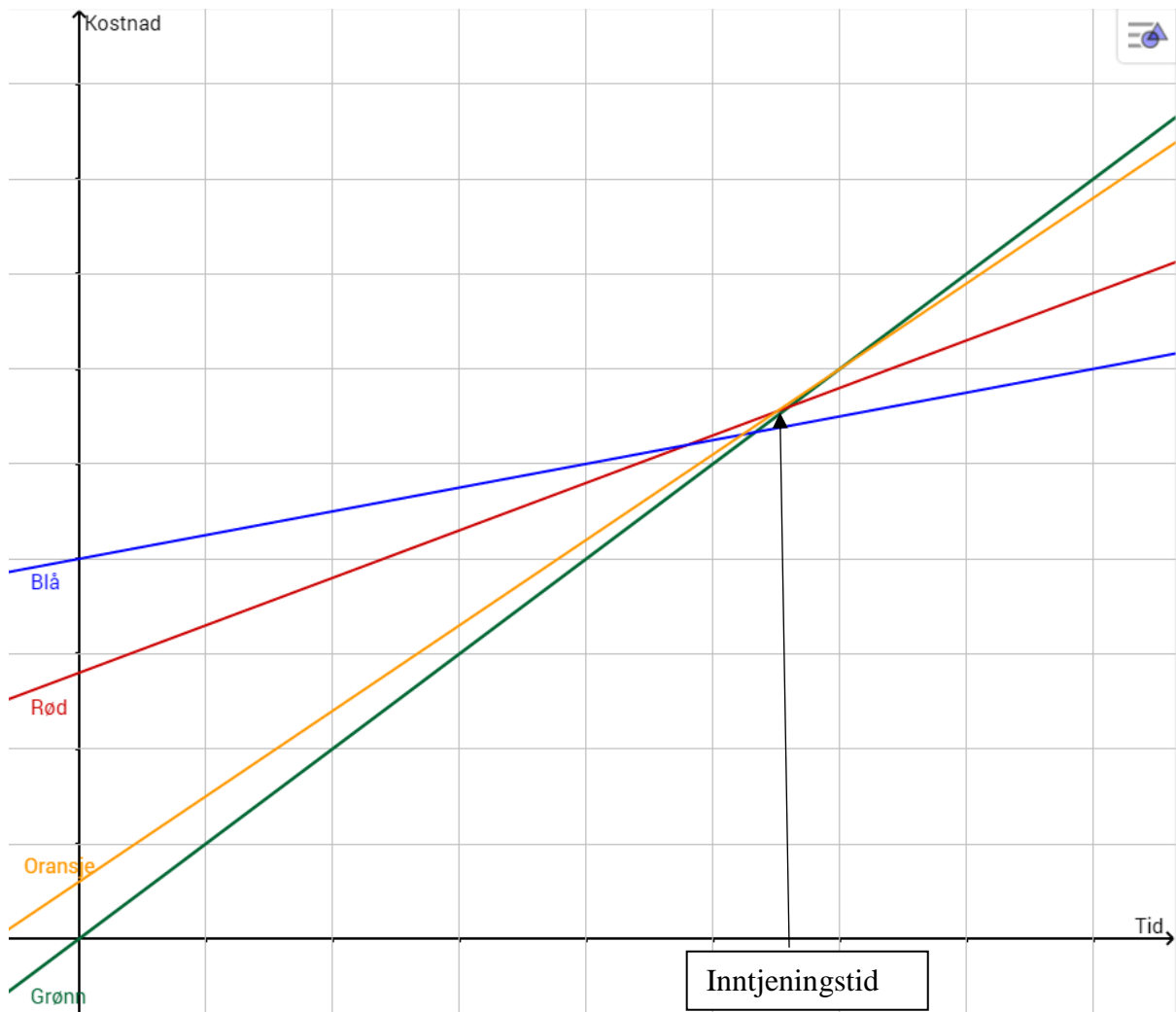
Beregningene gjort i kapittel 3.2. estimerer forbruket til et basesett til å være 6800kWh per dag. Det er urealistisk at 100% av kraftforbruket skal dekkes av solcelleprodusert strøm. Dette er fordi det gir et sårbart system som kun baserer seg på solen som energikilde. I tillegg kan ikke solcellene produsere strøm på natten. Dette betyr at solcellene ikke fungerer til energiforsyning hele døgnet og andre strømkilder må komplementeres. På bakgrunn av intervjuene er det kun aktuelt at solceller er et tillegg til dagens system og fungerer som en sekundær energikilde (se vedlegg 2, pkt. 3). Kostnadene til et solcelleanlegg må være lavere enn ved aggregater og ha en realistisk inntjeningstid (se vedlegg 2, pkt. 6).

Aggregatene fungerer som primærkilde selv om solcellene i perioder av dagen kan dekke hele leirens behov. I løpet av dagen kan det være noen tidsrom hvor strømproduksjonen er høyere enn forbruket. For å utnytte systemet best mulig er ekspertene enige om at systemet må ha en form for energilagring for å ta unna de største energitoppene i løpet av dagen og for å lagre overskuddsstrømmen (se vedlegg 2, pkt. 3). Batterier vil redusere behovet for aggregater, kveld- og nattestid, alt etter kapasiteten på batteripakken. Kapasiteten på batteriene bør som et minimum kunne lagre overskuddet solcellene produserer i løpet av dagen. På grunn av sikkerhet må batteripakken bygges inn og sikres på samme måte som ammunisjon og eksplosiver (se vedlegg 2, pkt 5).

Systemet bør ha en form for styring slik at strømmen fra aggregatene og batteriene reguleres etter behov (se vedlegg 2, pkt. 3.2.). Strømmen på fordelingsnettet i leiren er vekselstrøm. Siden strømmen fra solcellen eller energilageret er likestrøm, er det behov for en omformer som kan omforme strømmen fra likestrøm til vekselstrøm. Systemet må ha en regulator som kan regulere hvordan de forskjellige strømkildene jobber sammen og som kan regulere kraftproduksjonen til aggregatene ut fra behov.

5.2. REALISTISK DEKNINGSGRAD FOR SOLCELLER

Ved å benytte solceller i energiforsyningen må man bestemme hvor stor andel av strømforbruket som skal dekkes av solceller. Som nevnt i kravspesifikasjonene til systemet er det urealistisk at solcelleanlegget skal dekke hele forbruket, det samme mener flere av respondentene (se vedlegg 2, pkt. 3). Et stort system vil ha høyere innkjøpskostnad enn et lite system, men vil gi en større innsparingen av drivstoff og derfor en redusert kostnad over tid, illustrert i figur 6. Utgifter til dagens system med aggregater, er vist med den grønne graden, og har kun utgifter til drivstoff, drift og vedlikehold. Systemer med stor investeringskostnad, vist ved blå og rød graf, er rimeligere over tid på grunn av de reduserte drivstoffkostnadene. En investering i et mindre solcelleanlegg, vist ved den oransje grafen, vil ikke gi like stor reduksjon i utgifter til drivstoff og drift av aggregatene som et stort system. Her ser man hvordan en liten investering har et vesentlig lavere utslag i det lange løp, sammenlignet med en større investering. Figur 6 er bare prinsipiell og det er tilfeldig at alle grafene krysser hverandre i samme punkt.



FIGUR 6: UTVIKLING AV KOSTNAD BASERT PÅ INVESTERING OG TID. PROGRAM: GEOGEBRA.

Respondenter fra NATO kommenterte at man må beregne hvor stor dekningsgrad som er mulig ut fra forutsetninger som areal og økonomi. Det er ikke en nedre grense på dekningsgraden til solcelleanlegget, men for at det skal ha en reell besparelse bør det være så stort at det gir en betydelig besparelse innen rimelig tid. Av figur 6 ser man at størrelsen på inntjeningen er avhengig av hvor mye man investerer, og at det er bedre å velge et stort system når man først skal investere i solenergi. Det er ikke mulig å si noe om minimum dekningsgrad. Små systemer vil tjene seg inn, men det tar lengre tid før det gir en vesentlig innsparing. Derfor vurderes et stort system til å være en bedre investering ettersom det gir en større innsparing over tid. Areal og økonomi spiller en vesentlig rolle, og aktuell dekningsgrad for solcellesystemet vurderes til å ligge mellom 0 og 50%. Den faktiske dekningsgraden til solcelleanlegget må beregnes ved hver etablering ettersom solinnstrålingen og tilgjengelig areal vil variere. For det generiske systemet i studien settes dekningsgraden til 30%. Denne dekningsgraden er valgt for å gi et estimat på hva som kreves av materiell, økonomi og areal. Det vil ikke gjøres beregninger for

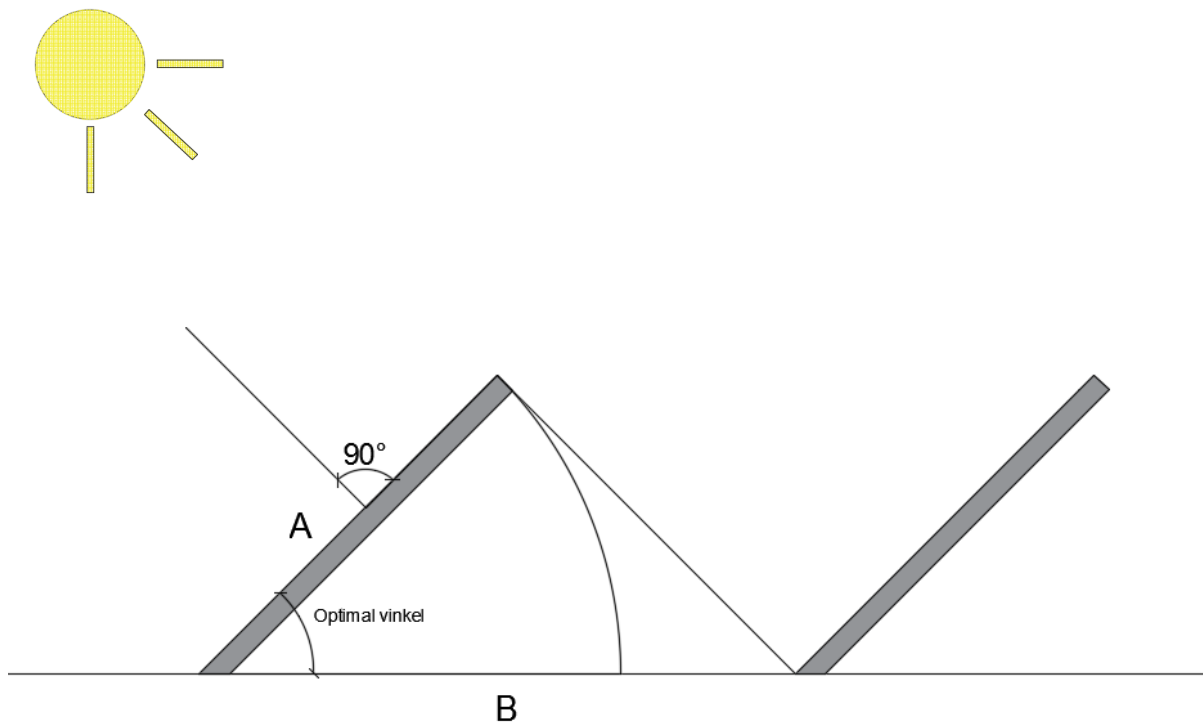
andre dekningsgrader. Resultatene kan enkelt skaleres opp og ned ved å multiplisere med forholdstallet mellom dekningsgradene. Slik kan man se hvilke resultater andre dekningsgrader gir for samme solinnstråling.

5.3. SOLCELLER

Når det kommer til solceller er det type teknologi, type system og pris som må vurderes. I følge Kirkengen (2017) er det silisiumbaserte solceller som er mest utberedt. FOH har kommentert at Forsvaret ønsker i større grad å benytte seg av hyllevarer i fremtiden (se vedlegg 2, pkt. 3.1). Krystallinske solceller er ikke best på effekt, men den er bedre enn tynnfilmceller (Norsk solenergiforening, 2017). Konsentrert PV har helt klart høyest effekt, opp mot 40% og er en teknologi som fungerer godt i de områdene Forsvaret har operert de siste årene. Verken konsentrert PV eller tynnfilmceller anses som aktuelle å benytte i militære leirer per i dag. Dette er fordi konsentrert PV har et avansert oppsettingssystem som krever solsporing og tynnfilmceller har en lavere virkningsgrad enn krystallinske solceller. Rye-Florentz (2009) skriver at krystallinske solceller er mest aktuelt å benytte i leiretableringer. Krystallinske solcellepaneler vurderes derfor til å være den beste løsningen for et hybrid system for Forsvaret. Da får man et panel som er utberedt, billig og med en virkningsgrad opp mot 20%.

Panelene vil kaste skygge når de plasseres med optimal vinkel og behovet for bakkeareal vil være større enn det totale arealet med solceller. Derfor må panelene plasseres med mellomrom, som vist i figur 7, der lengden på panelet, A, vil kaste en skygge med lengde B. Jo nærmere ekvator anlegget plasseres desto mindre er den optimale vinkelen, og behovet for bakkeareal vil gå mot arealbehovet for solceller.

Skal man sette opp et statisk system bør solcellepanelene plasseres direkte mot sør med optimal vinkel. Et statisk system vil ikke ha noen bevegelige deler, dette er en medvirkende faktor til at holdbarheten og levetiden til systemet forlenges; det blir mindre slitasje som igjen minsker behovet for vedlikehold og utskifting av komponenter. Flere respondentene kommenterte at et statisk system vil være den mest optimale løsningen for Forsvaret i dag (se vedlegg 2, pkt. 3.1). Ettersom systemet skal kunne settes opp og plukkes ned flere ganger velges et statisk system uten solsporing, plassert med optimal vinkel. På denne måten følger man også enkelhetsprinsippet som ofte er ønskelig i forsvarssammenheng.



FIGUR 7: KASTING AV SKYGGE VED VINKLING AV PANELENE. A ER LENGDEN AV PANELENE, B ER MINSTE AVSTAND MELLOM PANELENE FOR Å UNNGÅ SKYGGE PÅ PANELENE.

En mulighet for Forsvaret er å montere solcellepaneler på fast infrastruktur; slik som store plashaller med fast rammesystem, eksisterende bygninger og containere. Gjøres dette vil man ikke oppnå optimal vinkel på alle panelene. Det vil bli et større behov for kabling ved et spredt system, siden avstandene mellom komponentene øker. En ulempe ved dette vil være vedlikehold, enkelhet i oppsett og innfesting av anlegget. Bakkemonteres solcellepanelene vil arealbehovet til leiren øke. For denne studien velges et bakkemontert system ettersom fast infrastruktur ikke er en selvfølge for en fase 2 leir. Det eksisterer heller ikke et system for innfesting på telt og plashaller. Samtidig blir alle solcellepanelene plassert med optimal vinkel som gjør beregningene av arealbehovet enklere.

5.4. VEKSELRETTERE

Å omforme strømmen produsert fra et solcellepanel er helt nødvendig. Den produserte strømmen må gjøres om til en spenning og en frekvens som passer opp mot resten av systemet i leiren. Etter samtaler med FOH, kom det fram at det anbefales et modulbasert systemet (se vedlegg 2, pkt. 5). Dette for å kunne justere størrelsen på strømproduksjonen ved å legge til eller trekke fra moduler ut fra behov. For Forsvaret vil det derfor være mest gunstig å benytte

strengvekselrettere, som settes sammen med paneler til moduler. Kraftproduksjonen kan da justeres ut fra antall moduler som settes opp. Antall moduler tilpasses leiren på samme måte som man i dag gjør med aggregater.

Sammenlikner man vekslerettere, beskrevet i teorien under kapittel 4.4, vil sentralvekselretteren gi en lavere kostnad per watt ettersom det ikke er behov for en veksleretter per streng. Få vekslerettere gjør at installasjonen og mengden komponenter som trengs, reduseres. En stor systemveksleretter er vanskeligere å gjøre modulbasert i den skalaen som er fornuftig for Forsvaret. Omfanget av en veksleretter av denne typen er så stort at det er vanskelig å regulere produksjonen. Systemvekslerretteren er billigere per installert effekt og gir totalt færre komponenter og dermed raskere installasjon enn mikrovekslerettere og strengvekslerettere. Likevel anses et modulbasert system å være så viktig at det overstyrer pris og antall komponenter. På bakgrunn av dette anses strengvekslerettere som det beste valget. Valg av modell og spesifikasjoner for vekslerretteren må tilpasses av eksperter med fagkompetanse, og er avhengig av hvordan systemet designes i detalj.

5.5. BATTERIER

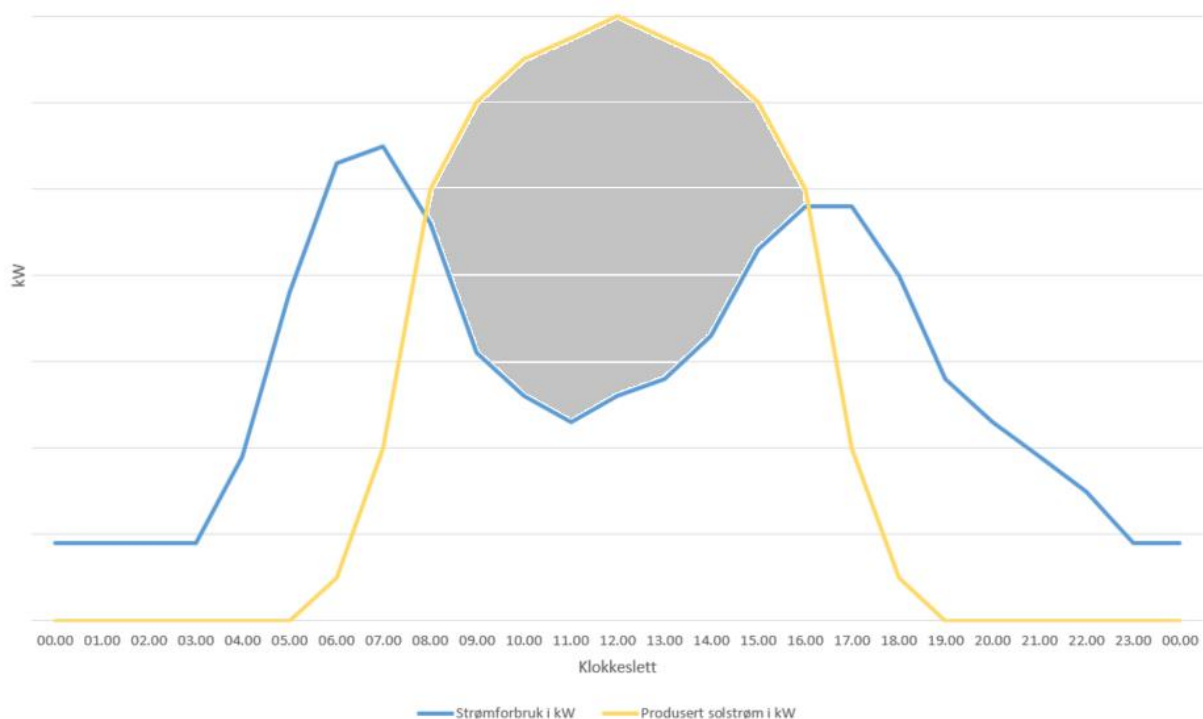
5.5.1. BATTERIKAPASITET

Fra kravspesifikasjonene til systemet (se kapittel 5.1.) må batterikapasiteten være stor nok til å dekke overskuddsstrømmen produsert i løpet av en dag. Størrelsen på batteripakken må være et kompromiss mellom batteriets optimale spenningsvindu, innkjøpskostnader, levetid og fraktkostnader. Fortum og Convergent Energy + Power har konteinerløsninger som vurderes til å kunne være aktuelle for Forsvaret, spesielt med tanke på frakt, enkelhet og kapasitet. BAE System mener batteripakken bør dimensjoneres med en utladingssyklus på fire timer, men kommenterer at dette må vurderes opp imot hensiktsmessig størrelse og levetid. Rye-Florentz mener batterikapasiteten bør være stor nok til å levere strøm de dagene det ikke er sol. For å drifte et basesett i tre dager må batterikapasiteten være på 20 400kWh. Konteinerløsningen fra Fortum, presentert i kapittel 4.3.2., kan lagre 1000kWh. For å dekke behovet for tre dager er det behov for 21 konteinere. Dette vil gi for høye anskaffelseskostnader og kreve et for stort areal til at det anses som realistisk for et basesett.

Skal batteriene ha en utladningssyklus på fire timer vil dette tilsvare 1133kWh for et basesett:

$$\frac{6800kWh}{24 timer} \times 4 timer = 1133kWh \quad (5.1)$$

Ettersom beregningene i likning 5.1 tilsvareer gjennomsnittlig energiforbruk, må batterikapasiteten være enda større for å dekke fire timer av energibehovet på dagtid. Fortum sin konteiner har ikke tilstrekkelig kapasitet til å forsyne fire timer. Overskuddsstrømmen for det generiske systemet beregnes i kapittel 7.2.3, og estimeres til å være rundt 300kWh. En batteripakke med fire timer utladningssyklus vurderes derfor til å være for kostbar for det generiske systemet. Batterikapasiteten for det generiske systemet settes derfor til å kun dekke overskuddsstrømmen. Figur 8 viser hvordan strømforbruket kan se ut i løpet av en dag. Det grå feltet mellom kurven for produsert strøm og kurven for forbrukt strøm, representerer den minste kapasiteten batteripakken bør ha for å dekke overskuddsstrømmen.



FIGUR 8: PRINSIPELL FRAMSTILLING AV PRODUKSJON AV SOLSTRØM OG STRØMFORBRUK.

Dimensjoneringen av batterikapasiteten bør ta utgangspunkt i de dagene med mest solinnstråling. Det ligger ikke tall til grunn som kan gi et godt estimat på hvordan lastprofilen til et basesett er. Derfor er det vanskelig å beregne hvor mye overskuddsstrøm systemet produserer og hvor mye forbruket er over fire timer. På bakgrunn av dette er det vanskelig å gi eksakte tall på hvor stor lagringskapasitet batteripakken bør ha. Beregningene av batteripakken i denne studien vil basere seg på dagsforbruket og antagelser på når forbrukstoppene er, i løpet av en dag. Ettersom lastprofilen ikke er kjent, vil beregningene for batteripakken i kapittel 7.2.3, være unøyaktige.

5.5.2. VALG AV TYPE BATTERI

Når man skal velge batteritype er det mange faktorer som må overveies: Innkjøpskostnad, livstid, vekt, volum, temperaturtoleranse, vedlikehold og produkttilgjengelighet. PowerTech Systems (2015c) gjør en sammenligning mellom et blybatteri og et Li-ion batteri. I denne sammenligningen er Li-ion batteriet 77% mindre og 194% lettere. Det leverer kontinuerlig kraft og energi uavhengig av utladegrad, og har seks til ti ganger høyere sykeltall enn blybatteriet. Av denne sammenligningen er det klare fordeler ved å velge Li-ion batterier. Valmot (2013) hevder at Li-ion batterier er den foretrukne teknologien på grunn av høy celledensitet kombinert med høy ladekapasitet i amperetimer per vektenhet. Hasvold (2010) skriver at blybatterier er billige, men tunge, og at et Li-ion-batteri mest sannsynlig vil være den beste løsningen ettersom det er lettere og tar mindre plass. Hvis man kun baserer seg på hva man får igjen ut fra vekt og volum, vil Li-ion batterier være det beste alternativet. Likevel er det ulemper knyttet til Li-ion batterier. En av dem er risikoen ved feil. Selv om sikkerheten rundt oppbevaring og varsling ved feil har blitt bedre, kan skadeomfanget bli stort dersom det skulle oppstå en brann eller eksplosjon. Dette gjelder også for enkelte blybatterier.

Ettersom batterier fungerer best ved en stabil temperatur, ønsker man å benytte en konteiner med egen aircondition for oppbevaring av batteriene. Denne konteineren må overholde kravene til den typen batteri som benyttes. Det vil være et krav til beskyttelse av begge batteritypene og det er derfor ikke et utslagsgivende kriterium når det kommer til valg av batteritype.

Beregningseksempler gjort av AllCell Technologies og PowerTech Systems sammenligner livsløpskostnadene knyttet til Li-ion batterier og blybatterier. Li-ion batteriene har en betydelig

lavere livsløpskostnad enn blybatterier selv om anskaffelseskostnaden for Li-ion batterier er opptil fem ganger høyere. Ved beregning av livsløpskostnader for batterier er det flere faktorer man må ta hensyn til, som vist i tabell 1. Dette gjør at beregningene vil variere fra system til system, men på et generelt grunnlag kan man konkludere med at livsløpskostnadene for Li-ion batterier vil være lavere enn med blybatterier.

TABELL 2: OVERSIKT OVER BEST EGNET BATTERITYPE TIL ULIKE KRITERIER

Kriterier:	Beste egnet batteritype:
Levetidskostnad	Li-ion batteri
Anskaffelseskostnad	Blybatteri
Fraktkostnad (basert på vekt)	Li-ion batteri
Volum	Li-ion batteri
Tilgjengelighet	Blybatteri (enn så lenge)

Siden det er klare fordeler og ulemper med begge batteritypene, er det vanskelig å velge hvilken batteritypene som er best egnet for Forsvaret. Uansett hvilket batteri man velger må det gjøres tilpasninger. Av tabell 2 ser man en enkel matrise for hvilken batteritype som er best egnet til ulike kriterier. Li-ion batterier er best på energitetthet, og er derfor det batteriet som gir minst volum, krever minst lagringsplass og har rimeligste fraktkostnader. Blybatterier har en billig innkjøpskostnad og er så kommersielt anvendt at tilgjengeligheten er høy. Man kan anta at tilgjengeligheten på blybatterier er større i flere av områdene Forsvaret opererer. Li-ion batterier utvikles og benyttes mer for hvert år som går, og tilgjengeligheten til Li-ion batterier vil øke. Store batterilagringsprosjekter blir gjennomført oftere og prisene er forventet å synke ytterligere i årene som kommer. Et hybrid system med solceller skal ha en levetid på 25 år. Dette betyr at levetidskostnadene er viktigere å se på enn anskaffelseskostnadene. På bakgrunn av dette anses Li-ion batterier som det beste alternativet for energilagring til et hybrid system for Forsvaret.

5.6. TILPASNING AV FLERE ENERGISYSTEMER

På grunn av svingningene i strømforbruket i løpet av en dag må systemet ha en styringssentral som kan regulere kraftproduksjonen. Når solcellene produserer mindre strøm må anlegget kompensere ved å hente reservestrøm fra batterier eller øke effekten til aggregatene. En styringssentral leser automatisk av forbruket i leiren og sammenlikner dette opp mot produksjonen av strøm. Styringssentralen må registrere når det produseres mer strøm enn det forbrukes og lagre overskuddsstrømmen i batteriene, eventuelt senke produksjonen i aggregatene. For at systemet skal regulere seg selv må styringsenheten kunne skru av og på aggregatene og sende overskuddsstrøm til batteriene når det er mulig. Derfor må den måle forbruket og kommuniserer med de ulike kraftkildene.

5.7. ØKONOMI

Økonomien knyttet til et hybrid solcellesystem er annerledes enn ved dagens dieselgeneratorsystem. En investering i solkraft gir en stor anskaffelseskostnad, men gir en redusert drivstoff- og vedlikeholdskostnad noe både prosjektet i Mali av BAE Systems og Forsvarsbygg sine beregninger fra Kabul viser. Både FMA og FOH er av den oppfatning at det ikke vil lønne seg å investere i solceller fordi batterier er kostbart og energiforbruket i leirer er for stort (se vedlegg 2). Ettersom et solcelleanlegg er beregnet å vare minimum 20-25 år betyr det at man med sikkerhet, vet hvilken utgift man har på strøm fra solcellene i denne perioden. Dette er fordi alle utgiftene kommer i investeringen.

Forsvarsbygg sitt prosjekt i Kabul hadde en inntjeningstid på seks måneder og to uker. Dette var et lite prosjekt og inntjeningstiden er ikke sammenlignbar med det generiske systemet i denne studien. Likevel viser dette prosjektet at det vil være mulig å gjøre innkjøp av solceller stykkevis for hver etableringsperiode. Slik kan man for hver deployering øke størrelsen på solcelleanlegget, tjene inn anskaffelseskostnadene i løpet av gjeldende operasjon og redusere drivstofforbruket gradvis. Dette er ikke ideelt fordi det tar lengre tid før man får en betydelig reduksjon av drivstoff. Innsparingene kunne vært større ved å anskaffe ønsket systemstørrelse fra dag en.

Holm (2013) viser til at kostnadene for solceller har blitt redusert med 97% siden 1980. Prisen på solceller fra kina har sunket med 80% og det er forventet en ytterligere reduksjon. I Norge er det stort sett større bedrifter som investerer i solceller, ofte for å få et positivt omdømme

ettersom det ikke er spesielt lønnsomt i Norge, enda (Nilsen, 2016a). Likevel er det viktig å huske at en slik investering for Forsvaret ikke erstatter strøm fra strømmettet, men strøm fra dieselaggregater. Dette gir et annet bilde og legger til grunn andre tall enn mange av rapportene for det sivile Norge gjør. Kirkengen (2017, s. 7) hevder det er politisk krevende og økonomisk risikabelt å ikke følge med i utviklingen som kommer til å endre hele vårt energisystem. Ved å benytte aggregater må man forholde seg til fremtidige drivstoffpriser, noe som gjør at det er vanskelig å forutsi den reelle kostnaden aggregater medfører. Batteriprisene er høye, men med utviklingen som er i dag kommer den til å synke.

5.8. DELKONKLUSJON SYSTEMET

Krystallinske solcellepaneler anses å være den beste typen solceller for Forsvarets etableringskonsept. Dekningsgraden til solcelleanlegget bør være så høy som mulig, men realistisk dekningsgrad anses å være inntil 50%. Dekningsgraden valgt for det generiske systemet er 30%. Krystallinske solcellepaneler har i dag en virkningsgrad mellom 15 og 20%. Virkningsgraden til solcellene bør være så høy som mulig for et minst mulig arealbehov, men dette vil også være et kompromiss opp mot økonomi.

For et modulbasert system er strengvekselretter det mest aktuelle å benytte. Dette gir et fleksibelt system som kan tilpasses og endres ved behov. Store strengvekselrettere er gunstig for solcelleanlegg, som det generiske systemet i denne studien.

Av blybatterier og Li-ion batterier anses Li-ion batterier som den beste batteritypen for energilagringen til et basesett. Li-ion batterier har høyere energi per volum som gjør at total vekt og det totale plassbehovet blir lavere. Det vil være behov for en konteiner med aircondition for batteriene. Det er forventet at Li-ion batterier utvikles, får økt batterisikkerhet og lavere priser i årene som kommer.

Styringssystemet regulerer de strømproduserende kildene og sørger for at de tilpasser seg til strømforbruket i leiren. Overskuddsstrøm lagres i batterier og underproduksjon reguleres ved økt effekt fra aggregater. Solceller har i land, med klimatiske forhold som lagt til grunn i denne studien, en inntjeningsstid som gjør en investering aktuelt for Forsvaret. Prisene på solceller og batterier er forventet å synke og gjør solenergi enda mer aktuelt i fremtiden.

6. OPERATIVITET

Dette kapitlet tar for seg den operative driften av systemet, dets sårbarhet og behov for sikring. Logistikken omfatter i hovedsak frakt av systemet, samt etterforsyning og frakt av diesel. Kapitlet omhandler også drift og vedlikehold.

6.1. FRAKT OG LAGRING AV SYSTEMET

Etablering av et hybrid strømforsyningssystem medfører frakt av flere konteinere. Solcellesystemet og batteripakken kommer i tillegg til aggregatene og gir en økning i antall konteinere. Selv om man får en økt kostnad når det gjelder frakt av systemet, vil kostnader knyttet til frakt av drivstoff bli redusert. NTNU hevder at solceller er mindre krevende med tanke på drift, vedlikehold og logistikk, sammenlignet med en dieseldrevet strømforsyning (se vedlegg 2, pkt. 5). Solcellepaneler kan stables og fraktes i 20ft. konteinere. Med en lav virkningsgrad på solcellepanelene vil det være behov for flere paneler, og volumet som solcellepanelene utgjør vil øke. Dette fører til økte kostnader i forbindelse med frakt. Vekt og volum er to avgjørende faktorer for hvor kostbart det er å frakte systemet. Forskjellen på effektiviteten til solceller påvirker hovedsakelig volum, mens forskjellene på batteritype påvirker hovedsakelig vekt.

6.2. DRIFT OG VEDLIKEHOLD AV SYSTEMET

Behov for verktøy eller fagpersoner for å sette opp systemet er ikke stort. Vedlikehold av solcelleanlegg er generelt lite krevende. Fysiske gjenstander som skygger for panelene må fjernes. Et problem som kan oppstå i klimatiske tørre områder er sand og støv på solcellepanelene. Maghami, et al. (2016) anbefaler ukentlig rengjøring i tørkesesonger og daglig rengjøring ved intensiv støvakkumulering. Solcellepanelene behøver ikke flyttes etter de er satt opp i riktig vinkel, men skulle de forskyves ut av stilling må de rettes opp igjen. Strømledninger, kanaler og andre føringer må inspiseres regelmessig for å hindre unødvendig slitasje (se vedlegg 3). Drift av et solcelleanlegg har i utgangspunktet ikke behov bemanning. Likevel vil det være en fordel at noen i leir har kompetanse på hvordan solcelleanlegget fungerer, dersom det oppstår feil på systemet. Det er kjent at nye systemer ofte har oppstartsproblemer, men solcelleanlegget krever i utgangspunktet ikke mye oppfølging. Det antas at den største slitasjen på solcelleanlegget skjer under frakt, etablering og rivning ettersom systemet ikke inneholder bevegelige deler og er statisk under bruk.

6.3. FORSYNINGSSIKKERHET

6.3.1. BEREDSKAP OG SIKRING

Under punkt 4 i vedlegg 2 kommer det frem at flere av respondentene mener at solceller vil være en fordelaktig løsning for beredskapen til leiren. Sol og solceller vil gi en mulighet for regelmessig kraftforsyning av leiren. Solen vil treffe solcellepanelene hver dag. Selv om det er med ulik intensitet ut fra været, vil det bidra til kraftproduksjon hver dag. Dårlig vær og overskyet himmel kan i perioder sørge for lavere produksjon. Selv om dette kan skje, er det begrenset hvor mange dager på rad det kan være dårlig vær. Det kan anses at solenergien er en stabil og sikker energikilde som ikke kan påvirkes av fiendtlige styrker. Sammenliknet med drivstoff vil solceller vil ha en større forsyningssikkerhet, ettersom det er en større risiko for at forsyningskjeden blir brutt enn at solen ikke skinner over en lengere periode (se vedlegg 2, pkt. 5).

6.3.2. FORSYNINGSKONVOI

Drivstoff kan kjøpes av lokale og andre samarbeidsnasjoner i etableringsområdet. Å kjøpe drivstoff fra lokale forhandlere kan bidra positivt til lokalsamfunnet. Dersom lokalsamfunnet ikke kan eller vil levere drivstoff som følge av konflikten, må det fraktes av egne styrker. Forsyningskonvoien er et høyt prioritert mål. 3000 amerikanske soldater ble drept eller såret i Irak og Afghanistan under transport av drivstoff i perioden fra 2003 til 2007. Gjennomsnittlig var det et dødsfall for hver 24. forsyningskonvoi som ble kjørt i Afghanistan (NATO, 2017).

Ved å redusere drivstofforbruket vil behovet for etterforsyning synke. Hyppigheten til konvoiene reduseres, noe som gjør at logistikelementene ikke eksponeres i like stor grad. Dette reduserer behovet for sikring og fristiller sikringsstyrkene til mer relevant oppdragsløsning for misjonen.

6.3.3. SÅRBARHET

Forsvaret etablerer internasjonale leirer i krigssituasjoner. En slik situasjon medfører en risiko for angrep på både personell og leirer. Et angrep på leiren vil kunne medføre skade på systemer og infrastrukturen, som er nødvendig for å drifte leiren. Et kraftforsyningssystem må plasseres slik at egne styrker har kontroll på det og andre parter ikke kan påvirke det. Solceller vil være sårbar mot våpenvirkninger. En perimetersikring beskytter mot flatbanevåpen, men ikke mot

krumbanevåpen. Et overbygg over solcellepaneler vil skygge for solen og hindre strømproduksjon. Derfor er sikring mot krumbanevåpen umulig. Et stort areal med solcellepaneler vil utgjøre et stort fysisk mål som er enklere å treffe. Et nedslag på solcellepanelene vil kunne ta ut flere av panelene. Ved å koble rundt ødelagte paneler vil panelene som ikke er truffet fortsette å produsere strøm så lenge kablene er intakte. Effekten vil være noe redusert med færre paneler, men systemet vil fortsatt produsere strøm. Paneler som er ødelagt, kan enkelt byttes ut med reserver på lager eller ved etterforsyninger av nye. Et treff på solcellepanelene vil ikke ha sekundære ringvirkninger som eksplosjoner og brann, men det antas at splinter kan oppstå.

Et bakkemonter solcelleanlegg øker arealbehovet til leiren. Det anses som mer taktisk lønnsomt å plassere solcellepanelene på infrastruktur. Det reduserer det totale arealbehovet til leiren, samt at man får en større spredning på anlegget som er en fordel med tanke på angrep. Ettersom utstyret må sikres mot tyveri, sabotasje og andre ødeleggelse, bør det ligge innenfor indre perimeter. Det medfører et økt område som må sikres som fører til en økt kostnad knyttet til vakt og sikring av leiren.

For Forsvaret er beskytning av batteripakken en trussel. Respondenter fra NATO mener blybatterier fint kan benyttes som gjort i prosjektet gjennomført av BAE Systems i Mali (se vedlegg 2, pkt. 3.2). Av kravspesifikasjonene i kapittel 5.1. er kravet til beskyttelse av batteripakken på lik linje som ammunisjon og eksplosiver. Hensikten med beskyttelsen er å forhindre skade ved beskytning, samt redusere skadene rundt ved brann eller eksplosjon. Den vil også beskytte mot krumbane.

Strøm produsert av solcelleanlegget ledes i kabler. Strømmen føres via enkelte punkter som er eneste vei ut til forbruksnett. Punktene der strømmen er konsentrert, er viktig å beskytte ettersom hele systemet vil bli slått ut dersom de blir ødelagt. Styringssystem og hovedkabler er eksempler på kritiske punkter som må sikres. Sikring kan være i form av shelter eller nedgravning, og vil redusere faren for at hele solcellesystemet blir tatt ut.

6.4. DELKONKLUSJON OPERATIVITET

Ved å redusere drivstofforbruket vil behovet for etterforsyninger reduseres. En reduksjon i antall forsyningskonvoier utsetter færre menneskeliv for fare. Personell som i utgangspunktet ville blitt benyttet til å sikre drivstofftransporten, vil i større grad kunne fristilles til oppdrag som tjener misjonen mer hensiktsmessig. Drift og vedlikehold av et solcelleanlegg er enkelt og krever lite ressurser. Den største slitasjen antas å komme under frakt, montering og demontering.

En stor batteripakke i leir kan potensielt være en trussel, dersom det skulle skje en feil i batteriet eller det utsettes for våpenvirksomhet. Brann eller eksplosjon kan forekomme. For Forsvaret vil batterier utgjøre enda et sikkerhetsmoment som bør sikres på samme måte som eksplosiver. En forbedret batterisikkerhet vil øke gunstigheten for bruk av batterier ytterligere.

Solcellepanelene kan bakkemonteres i en park eller plasseres på tak. På grunn av trusselen vil det være mer taktisk gunstig å plassere solcellene spredt på tak. Slik vil skadeomfanget ved et krumbanenedslag reduseres. Ved å plassere solcellepanelene på tak vil ikke arealbehovet til leiren øke, hvilket som er taktisk sett mest gunstig. På grunn av manglende muligheter for innfesting vil et bakkemontert system være den eneste løsningen per i dag. Det store arealet gjør at leirens perimetersikring må utvides slik at solcelleparken beskyttes. Dette medfører en ekstra kostnad i sikringstiltak og et ekstra stort område å ha kontroll over. For å sikre kraftforsyningssystemet mot ødeleggelse bør de mest kritiske punktene av systemet sikres mot våpenvirksomheter.

7. DIMENSJONERING

Når man skal benytte solceller i en leir vil mange parametere for beregning av systemet ligge til grunn. Etableringsområdet bestemmer solinnstrålingen og optimal vinkel for solcellepanelene. Solinnstrålingen vil si noe om hvor mange kW som kan produseres per kvadratmeter. I tillegg vil solcellepanelene ha en gitt utnyttelsesgrad som spiller inn på hvor stor effekt man får ut av hver solcelle. Størrelsen på leiren vil si noe om forventet forbruk, som igjen er styrende for hvor stort areal med solceller man trenger for å tilfredsstille en viss prosentandel av kraftbehovet. En for høy dekningsgrad gir en u hensiktsmessig størrelse på arealbehovet til solcellene og den tilhørende batteripakken. Derfor vil tildelt areal sammen med de økonomiske rammene være de begrensende faktorene som avgjør hvor stor dekningsgraden skal være. Parameterne som setter begrensninger for hvordan systemet kan se ut er:

1. Årlig solinnstråling
2. Dekningsgraden til solcelleanlegget
3. Areal
4. Økonomi

7.1. BEREGNINGSFORMLER

I dette kapitlet presenteres flere fremgangsmåter for enkelt å beregne utbytte, størrelse og kostnad for solcelleanlegget. I hovedsak er det samme formler som er brukt, kun uttrykt ulikt ut fra begrensningen som er satt. Hensikten med beregningsformlene er å kunne gjøre et raskt overslag og se hvorvidt man har mulighet til å gjøre en investering i et solcelleanlegg med energilagring.

7.1.1. BEREGNING MED DEKNINGSGRADEN TIL SOLCELLEANLEGGET SOM BEGRENSENDE FAKTOR

Ønsket dekningsgrad er satt for solcelleanlegget som en dimensjonerende faktor. Beregner ut fra dekningsgraden til solcelleanlegget, hvor mye solstrøm som skal produseres:

$$\frac{\text{Totalt strømforbruk} \times \text{Dekningsgrad solceller}}{100\%} = \text{Prousert solstrøm} \quad (7.1)$$

Hvis man kjenner solinnstrålingen kan man regne ut arealbehovet for solceller direkte:

$$\frac{\textit{Produsert solstrøm}}{\textit{Solinnstråling} \times \textit{Virkningsgrad solceller}} = \textit{Areal solceller} \quad (7.2)$$

Beregning av antall solcellepaneler:

$$\frac{\textit{Areal solceller}}{\textit{Areal solcellepanel}} = \textit{Antall solcellepaneler} \quad (7.3)$$

Man må ta høyde for at panelene vil kaste skygge i optimal vinkel, vist i figur 7. Beregning av bakkeareal ut fra optimal vinkel:

$$\frac{\textit{Areal solceller}}{\cos(\textit{optimal vinkel})} = \textit{Bakkeareal} \quad (7.4)$$

Prisen regner man ut slik:

$$\textit{Antall solcellepaneler} \times \textit{Panelpris} = \textit{Totalkostnad solcellepaneler} \quad (7.5)$$

Hvis man allerede har et anlegg på en viss størrelse kan man beregne den minste solinnstrålingen som må til for at solcelleanlegget skal dekke det tiltenkte strømforbruket:

$$\frac{\textit{Produsert solstrøm}}{\textit{Areal solceller} \times \textit{Virkningsgrad solceller}} = \textit{Min. solinnstråling} \quad (7.6)$$

7.1.2. BEREGNING MED AREAL SOM BEGRENSENDE FAKTOR

I flere leirer har tildelt areal vært en begrensning. Da kan det være nødvendig å se på hvor stor prosent av forbruket det er mulig å dekke med solcelleanlegget.

$$\text{Bakkeareal} \times \cos(\text{optimal vinkel}) = \text{Areal solceller} \quad (7.7)$$

$$\text{Areal solceller} \times \text{Solinnstråling} = \text{Produsert solstrøm} \quad (7.8)$$

$$\frac{\text{Produsert solstrøm}}{\text{Totalt strømforbruk}} \times 100\% = \text{Dekningsgrad solceller} \quad (7.9)$$

Som drøftet i kapittel 5.2. vil det ikke lønne seg å benytte solceller i tillegg til aggregater, dersom dekningsgraden er for lav. Antall solcellepaneler og totalkostnad beregnes som vist i likning 7.3 og 7.5.

7.1.3. BEREGNING MED ØKONOMI SOM BEGRENSENDE FAKTOR

Enhver operasjon i utlandet vil bli tildelt et budsjett. Hvis solcelleanlegget skal kjøpes inn på dette budsjettet vil økonomi ofte være den begrensende faktoren.

Man kan beregne antall solcellepaneler ut fra den økonomiske begrensningen:

$$\frac{\text{Midler til solcellepaneler}}{\text{Pris per solcellepanel}} = \text{Antall solcellepanel} \quad (7.10)$$

Når man kjenner antallet paneler kan man beregne hvor stort areal man får dekt med solceller og hvor mye solstrøm det klarer å produsere:

$$\text{Areal solcellepanel} \times \text{Antall solcellepaneler} = \text{Areal solceller} \quad (7.11)$$

$$\text{Areal solceller} \times \text{Solinnstråling} = \text{Produsert solstrøm} \quad (7.12)$$

Dette vil igjen dekke opp en viss prosent av det totale forbruket til leiren:

$$\frac{\text{Produsert solstrøm}}{\text{Totalt strømforbruk}} \times 100\% = \text{Dekningsgrad solceller} \quad (7.13)$$

7.1.4. BEREGNING AV VEKSELRETTER

Beregner først hvor mange paneler en vekselretter dekker opp:

$$\frac{W_p \text{ per vekselretter}}{W_p \text{ per solcellepanel}} = \text{Antall paneler per vekselretter} \quad (7.14)$$

Videre kan man beregne hvor mange vekselrettere det er behov for:

$$\frac{\text{Antall solcellepaneler}}{\text{Antall paneler per vekselretter}} = \text{Antall vekselrettere} \quad (7.15)$$

Deretter kan man beregne utgiftene til vekselrettere:

$$\begin{aligned} \text{Antall vekselrettere} \times \text{pris per vekselretter} \\ = \text{Totalkostnad vekselrettere} \end{aligned} \quad (7.16)$$

7.1.5. BEREGNING AV BATTERIPAKKE

Når det er kjent hvor stort behovet for lagring i kWh er, kan man regne ut brukskapasiteten til batteripakken.

$$\frac{\text{Energi (Wh)}}{\text{Batteripenning (V)}} = \text{Brukskapasitet (Ah)} \quad (7.17)$$

Videre må man kjenne det optimale bruksområdet til batteriene. Kapasiteten til batteripakken må økes slik at det kan holde ønsket kapasitet og samtidig lades og utlades optimalt.

$$\frac{\text{Brukskapasitet (Ah)}}{\text{Bruksprosent}^*} = \text{Kapasitet batteripakke (Ah)} \quad (7.18)$$

*Gitt ut fra optimalt bruksområde til batteriet

Når man kjenner kapasitetsbehovet til batteripakken kan man beregne antall batterier og hvor mye batteripakken koster:

$$\frac{\text{Kapasitet batteripakke (Ah)}}{\text{Batterikapasitet (Ah)}} = \text{Antall batterier} \quad (7.19)$$

$$\text{Antall batterier} \times \text{Batteripris} = \text{Totalkostnad batteripakk} \quad (7.20)$$

7.1.6. BEREGNING AV DRIVSTOFFFORBRUK

Løser likning 3.1 med hensyn på forbruk i kWh og finner drivstofforbruket.

Deretter må kostnadene knyttet til drift og vedlikehold beregnes. Likningen under baserer seg på drift- og vedlikeholdskostnadene til de åtte aggregatene i MeS.

$$250\,000 \text{ kr/år} \times \frac{\text{antall aggregater}}{8 \text{ aggregater}} = \text{Vedlikeholdskostnad} \quad (7.21)$$

Drivstoff- og vedlikeholdskostnadene for diesellaggregatene ved 100% dekning av strømbehovet:

$$\begin{aligned} \text{Drivstoffforbruk} \times \frac{\text{Pris}}{L} \times X \text{ dager} + \frac{\text{Vedlikeholdskostnad}}{365 \text{ dager}} \\ = \text{Dagskostnad} \end{aligned} \quad (7.22)$$

Beregner så drivstoffkostnadene hvor X av forbruket dekkes av solceller og 1-X dekkes diesellaggregater:

1-X av dieselforbruket beregnes:

$$\text{Drivstoffforbruk} \times (1 - X) = \text{Redusert drivstoffforbruk} \quad (7.23)$$

Kostnadene for reservedeler og vedlikeholdskostnader:

$$\text{Vedlikeholdskostnad} \times (1 - X) = \text{Redusert vedlikeholdskostnad} \quad (7.24)$$

Ved å fylle inn de nye tallene i likning 7.23 finner man den reduserte dagskostnaden.

7.2. BEREGNING AV GENERISK SYSTEM

På bakgrunn av de teknologiske vurderingene gjort i kapittel 5 beregnes et generisk system basert på generelle tall som presenteres her. En feilkilde ved beregningene er pris, ettersom et system av stor skala vil få et pakke tilbud med en samlet pris. Det har ikke vært mulig å få noen estimater på et slikt pakke tilbud i løpet av tiden avsatt til studien. Arealbehov og et prisestimat for det generiske systemet vil bli presentert.

7.2.1. SOLCELLEPANELER

- Dekningsgrad til solcelleanlegget: 30%
- Strømforbruk et basesett: 6800kWh/dag
- Velger å benytte REC solcellepanel, REC260PE BLK2, som grunnlag for beregningene (REC, 2016).
 - Virkningsgrad solceller: 16%
 - Areal av et solcellepanel: 1,65m²
 - Prisområde: 1500 kr
 - Vekt 18kg

Regner ut totalt forbruk i løpet av et år:

$$(6800 \text{ kWh/dag} \times 365 \text{ dager}) = 2\,482\,000 \text{ kWh} \quad (7.25)$$

Ettersom dekningsgraden er den begrensende faktoren, beregnes solcelleanlegget med fremgangsmåten presentert i kapittel 7.1.1.

Beregner produsert solstrøm med linking 7.1:

$$\frac{2\,482\,000 \text{ kWh} \times 30\%}{100\%} = 744\,600 \text{ kWh} \quad (7.26)$$

Beregner arealbehov med likning 7.2:

$$\frac{744\,600 \text{ kWh}}{1500 \text{ kWh/m}^2 \times 0.16} = 3100 \text{ m}^2 \quad (7.27)$$

Beregning av antall solcellepaneler av likning 7.3:

$$\frac{3100m^2}{1.65m^2} = 1880 \quad (7.28)$$

For eksempel kan solcellepanelene måtte plasseres med 30° vinkel for å få optimal utnyttelse. Beregner bakkeareal med likning 7.4:

$$\frac{3100m^2}{\cos(30^\circ)} = 3600m^2 \quad (7.29)$$

Beregning av pris for solcelleanlegget etter likning 7.5:

$$1880 \times 1500 \text{ kr} = 2\,820\,000 \text{ kr} \quad (7.30)$$

Beregning av vekten til solcelleanlegget:

$$1880 \times 18 \text{ kg} = 34\,000 \text{ kg} \quad (7.31)$$

7.2.2. VEKSELRETTERE

Tar utgangspunkt i typen STP 25000TL-30, som er store strengvekselrettere beregnet for større systemer som dette (Solcellespesialisten, 2014). Tallene er per inverter.

- 43 200 kr
- 25 550Wp
- 61kg

Beregner som vist i likning 7.15 hvor mange paneler én vekselretter kan dekke opp.

$$\frac{25\,550Wp}{260Wp} = 98 \approx 100 \quad (7.32)$$

Beregner så antall vekselrettere ut fra likning 7.16:

$$\frac{1880}{100} = 19 \quad (7.33)$$

Totalkostnad for invertere blir, etter likning 7.17, som følger:

$$19 \times 43\,200 \text{ kr} = 820\,000 \text{ kr} \quad (7.34)$$

7.2.3. BATTERIER

- Daglig strømforbruk: 6800kWh
- Strømproduksjon, solceller (30%): 2040kWh

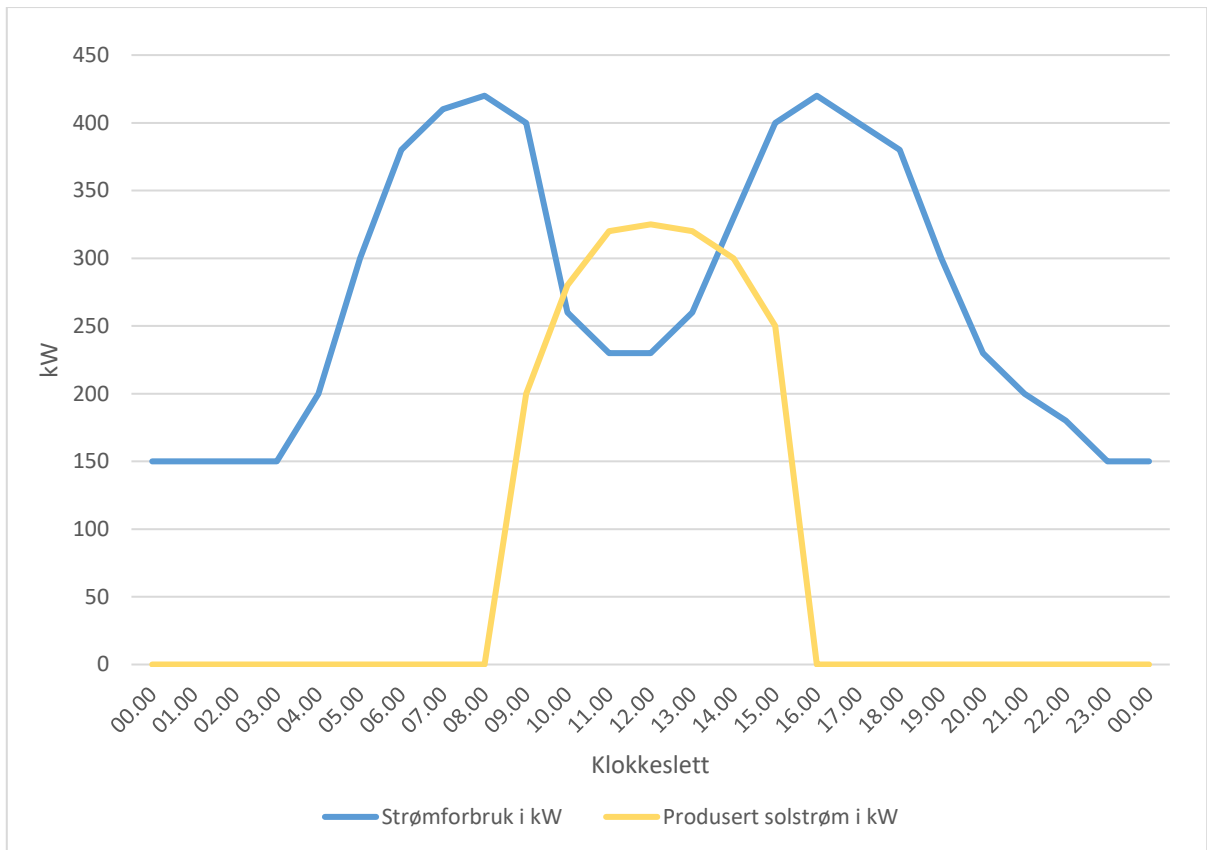
Basert på den tenkte lastkurve, vist i figur 8, er det forsøkt å gi en fordeling av dagsforbruket på 6800kWh. Deretter er det forsøkt å fremstille en kurve for strømproduksjonen til solcellepanelene når de skal produsere 30% av strømmen til leiren. Presiserer at tallene som presenteres er kun hypotetiske og generert for å kunne vise en fremgangsmåte for hvordan beregne kapasitetsbehovet til batteripakken.

Tallene presentert i tabell 3 og figur 9 er basert på den prinsipielle lastprofilen til strømforbruket og strømprofilen til solcelleanlegget vist i figur 8. Tallene i figur 9 er hypotetiske tall basert på informasjon om forbruket hentet fra FMA og NATO. Med en lastprofilen kan man estimere nødvendig batterikapasitet. Ettersom studien ikke tar utgangspunkt i en bestemt lokasjon er både klokkeslettene for sol opp og ned, samt kurven for produksjon av solstrøm, hypotetiske. Siden det ikke foreligger detaljerte målinger av strømforbruket til å gi en korrekt lastprofil, vil beregningene som baserer seg på figur 9 kun være beregningseksempler for å vise metoden for beregning av overskuddsstrøm.

TABELL 3: TENKT EKSEMPEL PÅ PRODUKSJON AV SOLSTRØM OG TOTALT FORBRUK

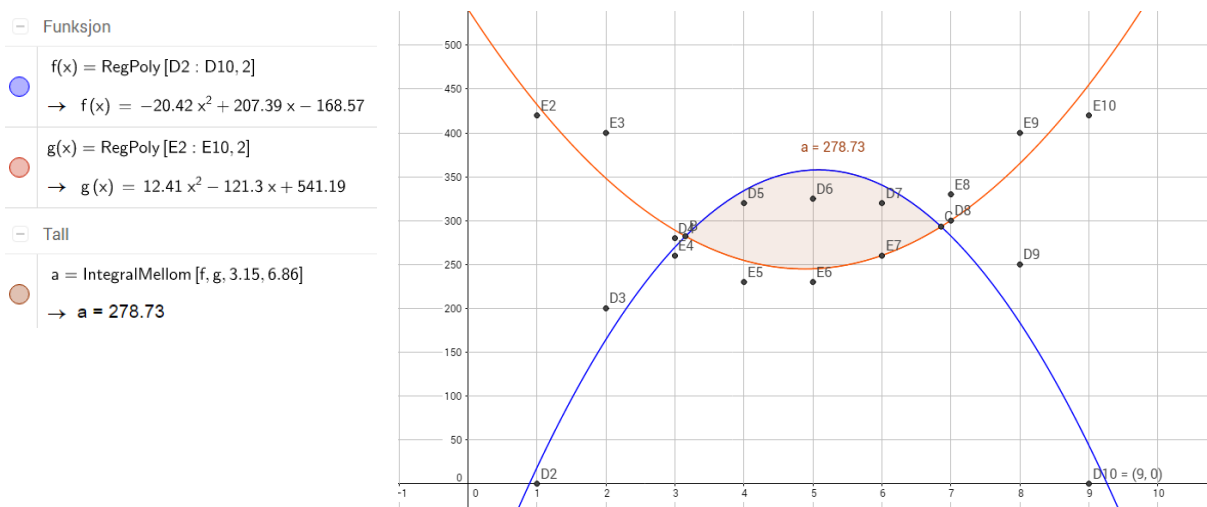
Dagsforbruk		
Klokkeslett	Totalt forbruk (kW)	Produsert solstrøm (kW)
00:00	150	0
01:00	150	0
02:00	150	0
03:00	150	0
04:00	200	0
05:00	300	0
06:00	380	0
07:00	410	0
08:00	420	0
09:00	400	200
10:00	260	280
11:00	230	320
12:00	230	325
13:00	260	320
14:00	330	300
15:00	400	250
16:00	420	0
17:00	400	0
18:00	380	0
19:00	300	0
20:00	230	0
21:00	200	0
22:00	180	0
23:00	150	0
00:00	150	0
Totalt:	6830 (kWh)	1995 (kWh)

Tallene fra tabell 3 gir en lastfordeling og strømproduksjon som vist i figur 9.



FIGUR 9: TENKT EKSEMPEL PRODUKSJON AV SOLSTRØM OG TOTALT STRØMFORBRUK.

Lastprofilen i figur 9 er tilnærmet dagsforbruket på 6800kWh og solkurven tilsvarer 30% av strømproduksjonen. Ved å gjennomføre en regresjonsanalyse av kurvene der produksjon er større enn forbruk (ca. kl. 09-14) kan man beregne mengden overskuddsstrøm på en dag. Dette ga følgende resultater:



FIGUR 10: REGRESJON AV TALL FRA TABELL 3 OG BEREGNING AV OVERSKUDDSTRØM VED INTEGRASJON.

PROGRAM: GEOGEBRA.

Av regresjonsanalysen vist i figur 10 settes dimensjonerende lagringskapasitet til 300kWh. Batteripakken må ha en kapasitet til å lagre overskuddsstrømmen i tillegg til optimal opp- og utladingsområde. Setter batteriets bruksområdet til å være mellom 40 og 80% oppladet etter tall vist i tabell 1. Dette betyr at den dimensjonerende kapasiteten må tilsvare 40% av batteriets totale kapasitet:

$$\frac{300kWh}{0.4} = 750 kWh \quad (7.35)$$

For dette eksemplet beregnes ikke pris basert på enkeltbatterier ved regning via amperetimer, slik som vist i kapittel 7.1.5. Det er fordi det ikke benyttes et spesifikt batteri i dette eksemplet. Derfor legges den generelle prisen som presentert i tabell 1 til grunn for kostnadsberegningene.

$$600 \$/kWh \times 750 kWh = 450\,000 \$ \quad (7.36)$$

Med dagens valutakurs er 1 USD = 8.47 NOK, hentet fra DNB, 6. mars 2017.

$$450\,000 \times 8.47 = 3\,811\,500 \text{ kr} \quad (7.37)$$

Av den spesifikke energien gitt i tabell 1 blir den totale vekten på batteripakken slik:

$$\frac{750\,000Wh}{400 Wh/kg} = 1875 \approx 1900kg \quad (7.38)$$

7.2.4. DRIVSTOFF

Dagsforbruket i kWh fra kapittel 3.2. er beregnet til 6800kWh. Beregner først kostnadene til dieselforbruket når 100% av forbruket dekkes av dieselaggregatene. For å kunne beregne dieselkostnadene må det ligge en dieselpris til grunn. Denne er basert på prisen fra MeS i Afghanistan og ligger på 10,40 kr/L. Prisen av 2012 er fra sivil aktør til leiren, dersom Forsvaret hadde vært nødt til å frakte drivstoffet selv, ville den reelle prisen vært vesentlig høyere. Dermed er prisen fra 2012 konservativ, og vil gi en lengere inntjeningstid enn en høyere pris.

Løser ligning 3.1 med hensyn på dagsforbruket og finner drivstofforbruket per dag:

$$\frac{6800kWh}{10 kWh/L \times 0.34 \times 0.95} = 2100 L/dag \quad (7.39)$$

Deretter må man legge til kostnadene for vedlikehold av aggregater, etter likning 7.21:

$$250\,000 \text{ kr/år} \times \frac{3}{8} = 93\,750 \text{ kr/år} \quad (7.40)$$

Drivstoff- og vedlikeholdskostnadene for diesellaggregatene ved 100% dekning av energibehovet, etter likning 7.22:

$$(2100 L \times 10.40 \text{ kr} / L)X + \left(\frac{93\,750 \text{ kr/år}}{365 \text{ dager}} \right) X = 22\,100 X \quad (7.41)$$

Beregner så drivstoffkostnadene hvor 30% av forbruket dekkes av solceller og 70% av diesellaggregater:

70% av dieselforbruket beregnes basert på likning 7.23:

$$2100 L/dag \times 0.7 = 1474 L/dag \quad (7.42)$$

Kostnadene for reservedeler og vedlikeholdskostnader beregnes ut fra likning 7.24:

$$93\,750 \text{ kr/år} \times 0.7 = 65\,625 \text{ kr/år} \quad (7.43)$$

Ved å sette inn i likning 7.22, fås likningen for løpende kostnader for dieselaggregatet ved 70% dekning av energibehovet:

$$(1474 L \times 10.40 \text{ kr/L})X + \left(\frac{65\,625 \text{ kr/år}}{365 \text{ dager}}\right)X = 15\,510 X \quad (7.44)$$

7.3. TOTALKOSTNAD

Totalkostnadene for dette systemet blir:

TABELL 4: TOTALKOSTNADER OG VEKT AV SYSTEMET (UTEN AGGREGATER)

Hva	Vekt (kg)	Pris (kr)
Solcellepaneler	34 000	2 820 000
Batteripakke	1900	3 811 500
Vekselrettere	6100	820 000
Totalkostnader	42 000	≈ 7 500 000
Totalkostnader etter oppjustering i henhold prosentfordeling av kostnader vist i figur 5	--	≈ 10 000 000

Selv om volum vil spille inn på frakten, ses dette bort fra. Det er viktig å understreke at totalkostnaden for anlegget sannsynligvis blir lavere, ettersom de ulike produsentene lever pakkepriser for store anlegg. En pakkepris har ikke vært mulig å innhente på grunn av tid. Likevel vil totalkostnaden presentert i tabell 4 gi et kostnadsbilde for en investering i et solcelleanlegg av stor skala.

8. DRØFTING AV LØSNING

I dette kapitlet blir det drøftet hvorvidt den generiske løsningen er praktisk og økonomisk gjennomførbar. Hvordan arealbehov, kostnader og inntjeningstid påvirker systemet, leiretableringen og lønnsomheten for Forsvaret, blir vurdert. Arealbehovet som ble beregnet i kapittel 7.2.1. og kostnadene til systemet blir drøftet.

Den største utfordringen med bruk av solceller til energiproduksjon er arealbehovet. Beregningene i kapittel 7.2 viser at det er nødvendig med et solcelleareal på 3100m^2 . Dette er med en dekningsgrad på 30%, og med solcellepaneler med 16% virkningsgrad. Det nødvendige bakkearealet ble beregnet til 3600m^2 når panelene ble plassert med en vinkel på 30° . Virkningsgraden til solcellepanelene er en faktor som påvirker arealet til anlegget. Solceller med en høyere virkningsgrad kunne blitt benyttet for å redusere arealbehovet, men dette ville også økt kostnaden til solcellepanelene. Virkningsgrad må vurderes opp mot pris, men solceller med høy virkningsgrad er å foretrekke siden leirens tildelte område ofte er begrenset. Den forhøyede kostnaden knyttet til en høyere virkningsgrad, vil mest sannsynlig fortsatt ha gitt en rimelig inntjeningstid. Dersom det utvikles paneler med solsporing, som er robuste nok til å bli satt opp og tatt ned gjentatte ganger, vil man øke utnyttelsen av solcellepanelene. På grunn av robusthet, bevegelige deler og vedlikehold vurderes solsporing til å være for komplekst for et solcelleanlegg tiltenkt Forsvaret i dag, men dette er noe som bør vurderes for å redusere arealbehovet ytterligere.

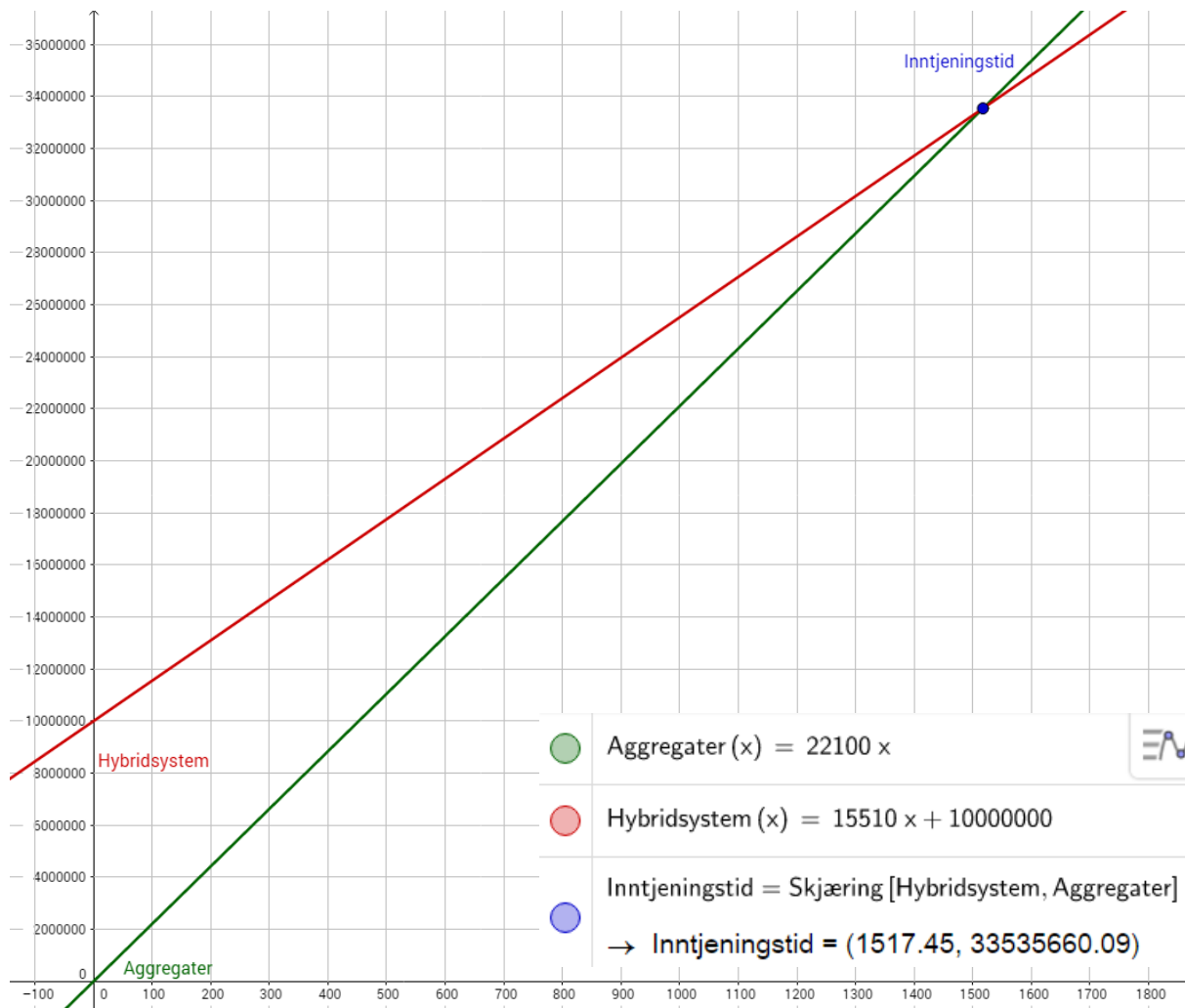
Dekningsgraden er en annen faktor som påvirker arealet til anlegget. Med en lavere dekningsgrad får man et mindre anlegg både i kostnad og areal, men vil begrense innsparingene. Det er vanskelig å trekke gode slutninger rundt dekningsgraden til systemet. Skal man ha en høy dekningsgrad vil man i tillegg til et stort arealbehov produsere mer overskuddsstrøm. En større mengde overskuddsstrøm vil resultere i et behov for større lagringskapasitet. Ettersom batterier enda er kostbart, vil en stor batteripakke ikke være aktuelt fordi inntjeningstiden er lengre enn batteriets levetid. En mulighet for å redusere kostnadene er å ha et anlegg uten energilagring. Da sendes den produserte solstrømmen direkte inn på strømmettet i leiren. Selv om man ikke får utnyttet systemet maksimalt, vil man likevel ha en vesentlig reduksjon av drivstofforbruk. Solceller vil være mer aktuelt dersom strømforbruket i leiren blir redusert.

Batteriprisene er forventet å synke og en større batteripakke kan bli aktuelt i fremtiden. I områder med høyere årlig solinnstråling enn 1500kWh/m^2 , vil man ha større utbytte av solcellene per m^2 . Utbytte og aktualiteten til systemet vil øke med økt solinnstråling. Alle faktorene må tas i betraktning når et solcelleanlegg skal dimensjoneres.

Tar man utgangspunkt i en leir på størrelse med MeS, med 550-600 personer, bestående av ca. tre basesett, blir det et stort areal som må dekket med solceller. 3600m^2 per basesett gir totalt $10\,800\text{m}^2$ for en leir på størrelse med MeS. Når størrelsen på solcelleanlegget blir så stort, vurderes systemet til ikke å være praktisk gjennomførbart som et bakkemontert system.

For at investeringen i et hybrid system skal tjene seg inn, er man avhengig av at det kommer til å bli brukt. For basemateriellet kan man ikke regne med at det blir brukt hele tiden, siden dette er avhengig av etableringene til Forsvaret. Derfor er det vanskelig å beregne en pris per produserte kWh. Livsløpskostnadene er ganske faste, men hvor mye et slik system kommer til å bli brukt, er vanskelig å si. For solceller er det vanlig å dele livsløpskostnadene på antall produserte kWh, for å se hva prisen for produsert strøm blir. For dette systemet kan det ikke beregnes kWh pris på bakgrunn av hvor mye det produserer i løpet av livsløpet. Det vil være stor usikkerhet knyttet til hvor stor prisen per kWh faktisk blir.

Kostnadsforløpet til et aggregatsystem er vist med den grønne grafen i figur 11. Kostnadsforløpet til et hybridsystem er vist med den røde grafen. Begge systemene vil ha løpende utgifter til drivstoff og vedlikehold, men hybridsystemet vil ha en slakere kurve. Ser av figurer 11 at inntjeningstiden vil være 1517 dager, som tilsvarer fire år og to måneder. Vedlikeholdskostnader for solcelleanlegget er ikke medregnet i hybridsystemet, men disse antas å være så lave at de ikke får noe stort utslag på grafen. Dieselskostnadene benyttet i dette regneeksemplet er gamle som betyr at inntjeningstiden vil være kortere med dagens dieselpriiser. Batteriene må byttes ut etter ca. ti år. Ved enkle beregninger kan man se hva systemet vil spare i løpet av levetiden til den første batteripakken.



FIGUR 11: GRAF OVER KOSTNADSFORLØPET TIL AGGREGATER OG HYBRIDSYSTEM. X-AKSEN VISER ANTALL DAGER OG Y-AKSEN VISER UTGIFTER I KR.

Beregn kostnaden for et hybridssystemet i ti år:

$$15\,510 \text{ kr/dag} \times 365 \text{ dager} \times 10 \text{ år} + 10\,000\,000 \text{ kr} \approx 67\,000\,000 \text{ kr} \quad (8.1)$$

Beregn kostnaden for et aggregatsystem i ti år:

$$22100 \text{ kr/dag} \times 365 \text{ dager} \times 10 \text{ år} \approx 81\,000\,000 \text{ kr} \quad (8.2)$$

Beregner differansen mellom kostnadene til et aggregatsystem og et hybrid system:

$$81\,000\,000\text{ kr} - 67\,000\,000\text{ kr} = 14\,000\,000\text{ kr} \quad (8.3)$$

Av beregningene over vil hybridssystemet ha spart minst 14 millioner kroner i løpet av ti år. Denne sammenligningen benytter dagens dieselpriiser, med en forutsetning om at dieselpriisene vil øke antas innsparingene å bli større i virkeligheten. Den innsparte summen er nok til å investere i en ny batteripakke på samme størrelse etter ti år.

Avkastningen til systemet i løpet av de første ti leveårene blir, etter likning 4.2, som følger:

$$\frac{14\,000\,000\text{ kr} - 10\,000\,000\text{ kr}}{10\,000\,000\text{ kr}} = 0.4 = 40\% \quad (8.4)$$

Inflasjon er ikke tatt hensyn til i beregningene. Avviket på grunn av inflasjon vil være av vesentlig størrelse etter ti år, derfor er beregningene begrenset til det.

Innsparelsen på 14 millioner kroner over ti år tilsvarer 1,4 millioner kroner per år. Ved raske søk i Forsvarets årsrapporter ser man at de siste ti årene har bevilgede midler til Norske styrker i utlandet ligget mellom 500 millioner og 1,5 milliard norske kroner (Forsvaret, 2016). Ved å se på bevilgede midler utgjør innsparte kroner på det meste 0,28%. En total investering på ti millioner kroner anses å være en liten kostnad for Forsvaret, basert på bevilgede midler til norske styrker i utlandet. Likevel sier FOH at det vil være vanskelig å gjennomføre en slik investering på ett misjonsbudsjett. Hvis det skal være mulig bør ikke investeringen overskride en million kroner (se vedlegg 2, pkt. 5).

Ved oppstarten av et lite utprøvd system er det vanskelig å forutse feil og utfordringer som kan oppstå. Uten flere testprosjekter anses det for vanskelig å innføre et nytt system med en størrelse som beskrevet i denne studien. Utfordringen er å få systemet stort nok til at det vil gi en økonomisk gevinst, men lite nok til at Forsvaret klarer å investere i det og rent praktisk være i stand til å benytte det med tanke på arealbehov.

9. KONKLUSJON

Følgende problemstilling besvares:

Hvordan kan et solcellesystem gjøre dagens energiforsyning av internasjonale leirer mer økonomisk og taktisk lønnsomt, og hvordan vil et slikt system kunne se ut?

I denne studien har det blitt presentert en løsning på et hybrid kraftforsyningssystem for et basesett. Denne løsningen er drøftet med hensyn på økonomisk og taktisk lønnsomhet. Det konkluderes med at et modulbasert solcellesystem er mest egnet for Forsvaret. Krystallinske solcellepaneler er mest hensiktsmessig å benytte, videre anses Li-ion batterier som et bedre alternativ enn blybatterier. Størrelsen på batteripakken bør være stor nok til å romme overskuddsstrømmen som produseres i løpet av en dag. Strengvekselrettere er å foretrekke for et modulbasert system.

En investering i solceller vil være økonomisk lønnsomt for Forsvaret. Det generiske systemet beregnet i denne studien, har en avkastning på 40% over en ti års periode, og en inntjeningsstid på fire år og to måneder. Faktorer som ville økt den økonomiske gevinsten er en videreutviklingen innen solcelleteknologien og lavere batteripriser. Solcellepanelene sin virkningsgrad er i dag så lav at arealbruken blir for stor, dersom systemet skal kunne dekke opp en betydelig del av energibehovet. Ved et redusert energiforbruk vil aktualiteten til solceller øke. Solceller er en tryggere energiforsyning enn aggregater og mer hensiktsmessig med tanke på drift og vedlikehold. Et solcellesystem vil være taktisk lønnsomt for Forsvaret. Det reduserer antall drivstoffkonvoier og dermed reduseres antall skader og dødsfall som følge av angrep på denne. Videre vil en forbedret batterisikkerhet være en fordel med tanke på sikkerhet i leir. En spredt plassering av solceller på eksisterende infrastruktur vil bringe med seg taktiske fordeler sammenlignet med en solcellepark.

Det konkluderes med at det generiske systemet presentert i denne studien, vil kreve for stort areal til at systemet vurderes som aktuelt for Forsvaret i dag. Potensialet for et hybrid solcellesystem er til stede, forutsatt at den teknologisk utviklingen gir et redusert arealbehov.

10. VEIEN VIDERE

Anbefalingen videre er å følge med på utviklingen i markedet. Når solceller blir aktuelt anbefales det å involvere private aktører tidlig, slik at systemer som er godt egnet for Forsvaret kan utvikles.

Når man skal se på en investering i solceller er det viktig å se på livsløpskostnadene. Anbefalingen videre er å se på hvordan man kan få gjennomslag for en slik investering. Det er, som i tidligere studier, kommet frem til at Forsvaret først må prioritere å redusere forbruket i leirene. Deretter kan man å se på en hybrid kraftforsyning. Forbruksmåling av strømmen bør implementeres i fremtiden slik at et bedre datagrunnlag kan innhentes og mer presise beregninger kan utføres. Beregningsformlene i studien er presentert slik at de enkelt kan benyttes når korrekt data foreligger.

Det bør undersøkes hvordan solceller kan implementeres som individuelle modulsystem for å dekke opp spesifikke energiforbrukere i leiren; slik som vedlikeholdshaller, forlegninger og kjøkken. Det bør også utvikles gode løsninger for innfesting av solceller på eksisterende infrastruktur og militært materiell. Siden det er kostbart å investere i batterier kan man til å begynne med implementere solceller uten energilagring. En prosjektidé (PI) bør utarbeides og prøveprosjekter gjennomføres. På denne måten kan oppstartsutfordringer også avdekkes tidlig. Denne bacheloroppgaven kan brukes som grunnlag i en PI.

REFERANSER

- Albright, G., Edie, J., & Al-Hallaj, S. (2012). *A Comparison of Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications*. AllCell Technologies LLC. Hentet fra <http://www.batterypoweronline.com/main/wp-content/uploads/2012/07/Lead-acid-white-paper.pdf>
- Amprius. (2016). *Amprius Demonstrates a Revolutionary New Tool for Roll-to-Roll Manufacturing of High-Energy Batteries*. Hentet 20. mars 2017 fra http://www.amprius.com/news/news_amprius_20160523.htm
- BAE Systems. (2016). *Smart Energy Camp Final Report* (2.1. utg.). Portsmouth: European Defence Agency.
- Brende, B. (2015). Presentasjon av stortingsmeldingen om global sikkerhet. Oslo: Regjeringen. Hentet 22. desember 2016 fra https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/lansering_sikkerhet/id2424060/
- Catch Solar Energy AS. (2017). *Fakta om solenergi*. Hentet 23. februar 2017 fra http://www.catchsolar.no/pages/solenergi_fakta.php
- Cenergy Power. (2014). *Cenergypower.com*. Hentet fra String vs. Central Inverters: Choosing the Right Inverter for your Solar System: <http://cenergypower.com/blog/string-vs-central-inverters-choosing-right-inverter/>
- Convergent Energy + Power. (2017). *Example projects*. Hentet 6. mars 2017 fra <http://www.convergentep.com/projects/>
- Etterretningstjenesten. (2016). *FOKUS 2016 - Etterretningstjenestens vurderinger av aktuelle sikkerhetsutfordringer*. Hentet 10. januar 2017 fra https://forsvaret.no/fakta_/ForsvaretDocuments/Fokus%202016.pdf
- Finansleksikon. (2016). *Inntjeningstid*. Hentet 25. mars 2017 fra <http://www.finansleksikon.no/Regnskap/I/Inntjeningstid.html>
- FLO. (2007). *Strömförsörjning - Elverkscontainer - 500kVA TH10-6115-25/324-TH12*. Oslo.
- Fornybar.no. (2016). *Solceller*. Hentet 23. februar 2017 fra <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/solceller>
- Forsvaret. (2016). *Forsvarets årsrapporter*. Hentet 26. mars 2017 fra <https://forsvaret.no/fakta/undersokelser-og-rapporter/tidligere-aarsrapporter>
- Forsvarsbygg. (2015). *Etablering i internasjonale operasjoner* (2. utg.). Oslo: Forsvarsbygg og Intops.
- Fortum. (2017). *Biggest battery in the Nordic countries commissioned in Järvenpää*. Hentet 6. mars 2017 fra <http://www.fortum.com/en/mediaroom/pages/biggest-battery-in-the-nordic-countries-commissioned-in-jarvenpaa.aspx>

- Guddingsmo, Å. (2010). *Solenergi*. Hentet 24.01.2017 fra NDLA:
<http://ndla.no/nb/node/53383?fag=7>
- Guddingsmo, Å. (2017). *Hvor får sola sin energi fra?* Hentet 24. januar 2017 fra NDLA:
<http://ndla.no/nb/node/7862?fag=7>
- Guddingsmo, Å., Fløttre, N. H., & NKI Forlaget. (2013). *Solceller*. Hentet 24. januar 2017 fra NDLA: <http://ndla.no/>
- Gunvaldsen, I., & Rosvold, K. (2017). *Batteri*. Store Norske Leksikon. Hentet 1. mars 2017 fra <https://snl.no/batteri>
- Hasvold, Ø. (2010). *Sikker anvendelse av litiumbatterier*. (FFI-rapport 2010/00215). Hentet fra <https://www.ffi.no/no/Rapporter/10-00215.pdf>
- Holm, Ø. (2013). *Energiproduksjon med solceller i Norge*. Multiconsult. Hentet 24. februar 2017 fra http://www.ringerike.kommune.no/PageFiles/34071/Bygningsintegrerte%20systemer%20med%20solenergi_Ringerike%20Kommune.pdf
- InsideEVS. (2016). GM: Chevrolet Bolt Arrives in 2016, \$145/kWh Cell Cost, Volt Margin Improves \$3,500. Hentet 6. februar 2017 fra <http://insideevs.com/gm-chevrolet-bolt-for-2016-145kwh-cell-cost-volt-margin-improves-3500/>
- Jacobsen, D. (2005). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* (2. utg.). Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Johannessen, A., Tufte, P., & Christoffersen, L. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* (4. utg.). Oslo: Abstrakt forlag.
- Karlsen, T., & Uglenes, V. (2013, 09 27). *FN.no*. Hentet 12. januar 2017 fra <http://www.fn.no/Aktuelt/Nyheter/FNs-klimapanel-95-prosent-sikkert-at-klimaendringene-er-menneskeskapte>
- Kirkengen, M. e. (2017). *Norske markedsmuligheter i de globale, fornybare verdikjedene*. Hentet fra <https://www.ife.no/no/publications/2017/energisystemer/norske-markedsmuligheter-i-de-globale-fornybare-verdikjedene>
- Kråkstad, B. (2012). *Analyse av energibruk og energieffektivisering av norske baser i Afghanistan*. Narvik: Høgskolen i Narvik.
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *Det kvalitative forskningsintervju* (2. utg.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
- LINAK. (2017). *Solsporing & vindkraftverk*. Hentet 23. februar 2017 fra <http://www.linak.no/techline/?id3=7321>
- Maghami, M., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M., Rezadad, M., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. I *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59 (2016) 1307-1316. Elsevier Ltd.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.044>
- NATO. (2017). *Smart Energy: Home*. Hentet 20. mars 2017 fra NATO Multimedia Library: <http://www.natolibguides.info/smartenergy/home>

- Nilsen, J. (2016a, 13. april). Så lang tid tar det før et solcellepanel tjener inn seg selv. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/>
- Nilsen, J. (2016b, 9. april). Tesla-suksessen avhenger av denne fabrikk. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no>
- NMBU. (2013). *Manual til laboratorieøvelse for elever - Solceller*. Ås. Hentet 5. mars 2017 fra <http://www.umb.no/statisk/energilaboratoriene/Solceller.pdf>
- Norsk klimastiftelse. (2015). *Hva betyr solenergirevolusjonen?* (Rapport nr. 05/2015). Hentet 1. februar 2017 fra http://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2015/06/NK5_2015_Solenergirevolusjonen.pdf
- Norsk solenergiforening. (2017). *Solceller*. Hentet 30. januar 2017 fra <http://solenergi.no/om-solenergi/teknologi/solceller/>
- Olsen, E. (2017). *Energifysikk solenergi*. Universitetet for miljø- og biovitenskap. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- PowerStream. (2017). *How to calculate battery run-time*. Hentet 5. mars 2017 fra <http://www.powerstream.com/battery-capacity-calculations.htm>
- PowerTech System. (2015b). *Lithium-Ion Battery Advantages*. Hentet 20. mars 2017 fra <https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-ion-battery-advantages/>
- PowerTech Systems. (2015a). *Lead Acid battery downsides*. Hentet 20. mars 2017 fra <https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lead-acid-battery-downsides/>
- PowerTech Systems. (2015c). *Lithium-Ion vs Lead-Acid battery*. Hentet 20. mars 2017 fra <https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-ion-vs-lead-acid-battery/>
- REC. (2016). *REC Peak Energy BLK2 Series*. Hentet 5. mars 2017 fra http://www.recgroup.com/sites/default/files/documents/ds_rec_peak_energy_blk2_rev_e.2_eng.pdf
- RECHARGE aisbl. (2013). *Safety of lithium-ion batteries*. Brüssel: RECHARGE. Hentet fra <http://www.rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2013/07/Li-ion-safety-July-9-2013-Recharge-.pdf>
- Rye-Florentz, C. (2009). *Renewables for Military Camps and Ground Troops*. Oslo: NTNU.
- Sandstad, J. (2009). *Store Norske Leksikon*. Hentet 03 mars 2017 fra <https://snl.no/vekselstr%C3%B8m>
- Siemens. (2012). *Building Technologies*. Hentet 7. mars 2017 fra Microinverter System: https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=BTLV_40630
- Skagerak Energi. (2014). *Batterier og batterirom*. Hentet 26. mars 2017 fra http://www.skagerakenergi.no/eway/losen/file/805543891/Batterier%20og%20batterirom_00054.doc
- SMA. (udatert). *sma.de*. Hentet 5. mars 2017 fra PV DIESEL HYBRID APPLICATIONS: <http://www.sma-uk.com/industrial-systems/pv-diesel-hybrid-applications.html>

SolarServer. (2016). *solarserver.com*. Hentet 18. januar 2017 fra PVX spot market price index solar PV modules: <http://www.solarserver.com/service/pvx-spot-market-price-index-solar-pv-modules.html>

Solcellespesialisten. (2014). *Solcellespesialisten*. Hentet 7. mars 2017 fra <http://www.solcellespesialisten.no/stp-25000tl-30.html>

Standard Norge. (2013). *NS 3454:2013 Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og klassifisering*. Oslo: Standard Norge.

Stoltenberg, J. (2016). *The Secretary General's Annual Report 2015*. Brussel: NATO Public Diplomacy Division. Hentet 2. mars 2017 fra http://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2016_01/20160128_SG_AnnualReport_2015_en.pdf

Tesla Motors. (2014). *Gigafactory*. Hentet 20. mars 2017 fra https://www.tesla.com/no_NO/blog/gigafactory

Valmot, O. R. (2013, 27. november). Slik fungerer batteriet som endret verden. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/>

VEDLEGGSLISTE

Vedlegg 1 – Intervjuguide og intervjuobjekter

Vedlegg 2 – Empiri fra intervjuene

Vedlegg 3 – Vurdering av energikilde Forsvarsbygg

Vedlegg 4 – Forprosjekt

**VEDLEGG 1 – INTERVJUOBJEKTER OG
INTERVJUGUIDE**

INTERVJUOBJEKTER

Etternavn:	Fornavn:	Avd./Firma:
Burbridge	David	SHAPE JENG Division
Gjertsen	Kristoffer	FMA
Hestnes	Anne Grethe	NTNU
Karlsen	Knut A. Guvåg	FMA
Kråkstad	Bjørn	FOH
Michaelis	Susanne	Emerging Security Challenges Division (ESCD)

INTERVJUGUIDE

1. Hvorfor bør Forsvaret investere i grønne løsninger (evt. fuel-reduserende)?
2. Hvordan bør et solcellestystem for Forsvaret se ut?
 - Hva skal til for at et slikt system skal bli bra? utfordringer?
 - Spredt på tak eller samlet park
 - utfordringer med tanke på partikler/støv i lufta i land med tørt klima?
3. Hvilke klimautfordring ser du som et problem? Hvilke klimatiske forhold må ligge til grunn?
4. Vi ser for oss krystallinske solcellepaneler er det beste å benytte. Hva tenker du?
5. Prisen på solcellepaneler har sunket betraktelig de siste årene, hva tenker du om denne utviklingen?
6. Teknologien går fremover, hva tenker du om en investering nå med tanke på fremtiden?
7. Det er noe som heter 30 days of supply som vil si at leiren skal kunne drifte seg selv i 30 dager uten å få tilførsel utenfra. Vil en løsning med solceller kunne oppnå dette? Er det realistisk med tanke på batterier, kapasitet og kostnad?
8. Med tanke på at vi skal kunne operer i et stridsområde hvilke risikoer ser du ved bruk av solceller? Sammenlignet med aggregater?
9. Ved å velge et system med solceller må Forsvaret gjøre en relativt stor engangsinvestering til å begynne med sammenlignet med bruk av aggregater, hvor kostnadene løper jevnt. Regnestykket fra Forsvarsbygg sier at solcellepanelene for en camp for ca. 200stk tjenes inn på 8mnd i et land med klima som Afghanistan. Har du noen syn på akkurat dette og det økonomiske perspektivet rundt en slik investering?
10. Hva vil kreves av bemanning til et slikt systemet?
11. Hva er din generelle oppfatning av å implementere solceller i energiforsyningen av leirer?
 - Hva tror du hindrer Forsvaret i å ha en større satsing på området?
 - Hvilke andre løsninger mener du er aktuelle?
12. Innspill og kommentarer?

VEDLEGG 2 – EMPIRI FRA INTERVJUENE

INNHold

1.	Respondentene.....	3
2.	Generelt	3
3.	Systemet	4
3.1.	Solceller.....	5
3.2.	Batterier	6
3.3.	Bemanning.....	7
4.	Operativ evne.....	7
5.	Økonomi.....	8
6.	Avslutning	9

1. RESPONDENTENE

Intervju som metode hadde til hensikt å samle eksperters mening rundt emnet solceller og dets potensial i militære leiretableringer. For å favne over et bredt omfang av meninger var det ønskelig å hente inn intervjuobjekter med ulike bakgrunn. Totalt ble det benyttet seks respondenter fra fem fagområder. De var som følger:

- Bjørn Kråkstad fra FOH
- Kristoffer Gjertsen og Knut Karlsen fra FMA
- Anne Grete Hestnes, professor emeritus fra NTNU
- David Burbidge fra Environmental Management, NATO
- Susanne Michaelis fra Environment and Smart Energy, NATO

Fagkunnskapen, meningene og anbefalingene som har kommet frem gjennom intervjuene vil bli presentert her som en representasjon for de ulike fagområdene. Dette betyr for eksempel at empirien hentet fra både Burbidge og Michaelis vil bli referert til som NATO. Det understrekes at mye av det som presenteres her vil være basert på individets meninger, men gruppen anser det som trygt å si at respondentene representerer sitt fagområde.

2. GENERELT

NTNU og FOH nevner at Forsvarsdepartementet (FD) skal være et ledende departement gjennom en grønn profil og en satsing på solceller vil gi Forsvaret et positivt omdømme. Verden satser mer på fornybar energi nå enn tidligere og solceller har de senere årene blitt mer utbredt. Solceller er mye mer relevant å benytte seg av utenfor Norges grenser og enkelte steder i verden er det nesten det eneste alternativet.

Det er bred enighet blant respondentene at store drivstoffkostnader og tap av menneskeliv ved angrep på kolonner er hovedargumentene for å få redusert transporten av drivstoff. Drivstoff er en begrenset ressurs i operasjoner og FOH kommenterer at man ikke har kontroll på kvaliteten på drivstoffet som blir levert. Ved å gjøre seg mer uavhengig av fossilt brennstoff blir man mer selvstendig, mobil og får en bedre overlevelsessevne, understreker NATO. Det understrekes også at strømforbruket må kontrolleres i større grad for å redusere drivstofforbruket. FMA forteller at strømforbruket ble redusert med nesten 50% i Mali, ved å skru av aircondition (AC) på dagtid. I tillegg sier tall fra NATO at utskiftning til LED-lys reduserer energiforbruket til belysning åtte ganger. NTNU sier at det handler om å satse på en

logisk energiforsyning, også er det bare en bonus at den er ren. NATO og NTNU er overbevist om at fornybare energiløsninger for Forsvaret vil være klimabesparende, øke personellsikkerheten og økonomisk besparende. FMA og FOH er mer usikre når det kommer til sistnevnte.

3. SYSTEMET

Alle respondentene mener at solceller i første omgang kun er aktuelt som et tillegg til dagens system. FOH anbefaler å ta utgangspunkt i en generisk camp og ut fra dette beregne hvor mye energi man trenger for å drifte et basesett. Da kan man finne energibehovet og beregne seg fram til minimum solinnstråling, eller ta utgangspunkt i solmengden og finne arealbehovet. I tillegg bør det komme en begrensning på hvordan drift det skal være i campen. Anbefalingen til FOH er å se på en camp med forbruk innenfor en viss kjernetid og utelukke døgndrift. Med en generisk tilnærming kan FOH bruke det som beslutningsstøtte i planleggingsprosessen til fremtidige camper. FOH sier at spørsmålet er hvor stor andel av energiforbruket som skal tas av solceller? Samtlige respondenter mener det er urealistisk å dekke hele strømforbruket med solceller per i dag.

Det er enighet om at systemet må være modulbasert, slik at det kan skaleres opp mot leirens størrelse og komponenter kan byttes ut etter hvert. Det bør være et microgrid-system, et uavhengig system med eget lokalt nett, og i første omgang som et tillegg til det eksisterende systemet. NATO nevner at de muligens går bort fra et lokalt nett og heller ser på det å bruke «sverm»-teknologi, som er lokal kraftforsyning av enkeltkomponenter. Dette er fordi det er mer fornuftig for camper som vokser og ikke har en arkitektur som støtter utvidelse av det eksisterende systemet, og da er det bedre å ha små moduler som jobber individuelt. Dette betyr at man må ha et interoperabelt systemer som fungerer med flere leverandører. Systemet må det være enkelt å drifte, slik at man ikke trenger ekstra driftspersonell i leiren. De fleste er enige i at systemet må ha batterier, men kommenterer at det er kostbart. Batterier vil kunne forsyne strøm på nattestid og forbrukstoppene om morgenen og kvelden. NTNU mener aggregater kan fungere som nødløsning, men at det er vanskeligere uten batterier.

NATO har det veldig klart hva man bør prioritere først og sist. Først bør man redusere energiforbruket i leiren. Sekundært ser man på lagring av strøm. Aggregatene har en optimal belastning med lavest L/kW. Hvis aggregatene produserer strøm på optimal belastning til enhver tid vil en batteripakke jevne ut forbrukstoppene og hindre et større L/kW-forbruk.

Driftes aggregatene på denne måten vil forbruket i L/kW bli redusert med 50-60%, som er konservativt. Etter dette kan man begynne å se på andre energikilder som solenergi. FMA og FOH mener at man alltid må ha ett aggregat som går på 50%. NATO er uenig og mener at det ikke er behov for et aggregat som går til enhver tid og at det kan slås av når det ikke er behov for det. Alle er enige om at det første som må skje er en reduksjon av energiforbruket i leiren.

FMA tror ikke solceller kan brukes i 2 års-konseptet de jobber etter. Forbruket i en fase 2-leir er for høyt og arealbehovet vil bli så stort at solceller blir ugunstig å benytte. De sier at lokalt strømnett er ustabil og man har derfor unngått å koble seg til det.

FOH sier at systemet må ha en mulighet for måling av strømforbruket. I dag ser man kun på effektuttaket og det er en svakhet for dagens system at man ikke kan måle strømforbruket. Systemet bør også ha et rapporteringssystem som er koblet til miljødatabasen til FFI; en form for elektronisk loggføring. I dag finnes ulike energisystemer som måler produksjonen av strøm og effekt, samt starter og stopper aggregatene ved behov. NATO har et fokus på bruken av private aktører. Ved å gi dem oppgaven, kan de utvikle og komme frem til de tekniske løsningene, istedenfor at Forsvaret skal gjøre det. På grunn av konkurransen på markedet kan interoperabilitet være en utfordring.

3.1. SOLCELLER

NTNU sier det er stor fremgang på produktfronten og en utvikling det er verdt å følge med på. Krystallinske solceller er mest utbredt og multikrystallinske er billigere enn monokrystallinske, men mindre effektiv. FOH sier at de går for mer hyllevarer nå enn tidligere og mener krystallinske solceller vil være det beste alternativet, per nå. Disse er enkle å sette opp og med ingen bevegelige deler har de lengre levetid enn andre produkter med bevegelige deler, slik som solfangere og aggregater.

Enkelte respondenter mener det bør være et distribuert system og ikke et kraftverk. Det er unødvendig å benytte seg av ekstra arealer og ofte får man tildelt begrenset med plass. Matjord bør ikke benyttes til et slikt anlegg. Er det infrastruktur kan solceller enkelt plasseres på fasader og tak, men dette kan gjøre vedlikehold som kosting av paneler utfordrende. Likevel mener andre at teknologien som den er i dag kun vil fungere som en solcellepark. NTNU mener solceller i teltduken eller en knappeløsning med innfesting til rammene til teltet bør være løsninger som kan utvikles og produseres. Likevel sier FMA at dette ble testet ut for cirka 10 år siden, uten hell. Den gangen var effekten for lav, og den klarte ikke drive AC-en. Det ble

ikke testet videre. De mener det er mer realistisk å plassere solcellepanelene på taket når leiren har fast infrastruktur. Flere har kommentert at det er fornuftig at systemet er statisk ettersom dette er bedre med tanke på slitasje og montering.

De fleste er enige i at sand kan være en utfordring, men at det ikke er uoverkommelig for systemet. Man kan ta hensyn til en dårligere effekt når man regner utbytte av systemet og kompensere for tapet. Rengjøring av panelene er fullt mulig, enten ved spyling med vann eller kosting. Enkelte mener at panelene må kostes daglig, mens andre mener det kun vil være nødvendig ved for eksempel en sandstorm eller lignende. Hadde panelene vært plassert på telt, kunne denne kostingen vært en del av morgenrutinene til de som bodde i teltet. Ingen mener at sand vil være en større begrensning og at det er like løsbart som vask og vedlikehold av kabinen. NATO sier at beslutningsverktøy vil være nødvendig å utvikle slik at man kan regne ut hvor mange solceller man trenger basert på de inngangsverdiene man legger til grunn.

3.2. BATTERIER

FMA kommenterer at batterier er tunge og farlige. De har vært med på skytetester på batterier og resultatene er like ille som en drivstofftank som eksploderer. I følge NATO er det ikke noe problem å benytte helt ordinære blybatterier som man får kjøpt stort sett over alt. Disse vil heller ikke eksplodere som Li-ion batterier. Det er fullt mulig å bruke forskjellige variasjoner, for eksempel tester man Litium-jern-batterier som har lavere kapasitet, men mye bedre varmemotstand. FOH kommenterer at batterier må ha en stabil temperatur og vil derfor kreve en ekstra konteiner med AC. Dette adderes igjen til energiforbruket. Til sammenligning kan aggregatene stå i skyggen. Batterier vil kreve egen sikring og beskyttelse på samme måte som ammunisjon og drivstoff. Reservebehovet for strøm vil være dimensjonerende for batteripakken. Uten en batteripakke får man ikke utnyttet systemet optimalt ifølge FOH. Skal man etablere et system med solceller ønsker man å utnytte den solenergien man har og lagre overskuddsstrømmen. Dette kan forbrukes i løpet av kvelden/natten når det ikke er sol. Blir batteripakken veldig stor vil omfanget tale imot det å ha reservestrøm på batterier. Batteripakken må også byttes to ganger i løpet av solcellepanelenes garantitid på 25 år.

3.3. BEMANNING

DOKUMENTSTUDIER

NTNU sier at man trenger en person som har forståelse for systemet i tilfelle det skulle oppstå en feil, men kommenterer at det i utgangspunktet ikke skal skje noe siden systemet bare står der. Altså er det snakk om en person som kan håndtere eventuelle kabelbrudd og drift av koblinger. Så lenge man har kompetent personell til å sette opp systemet, skal det ikke være behov for bemanning under drift. M&K på Rena har to elektrikere som er med ved etablering av en leir for 200 mann. FMA mener dette holder i etableringsfasen. I en leir vil det uansett være så mange strømkoblinger som trenger oppfølging at det som regel alltid er en elektriker til stede. Når man etablerer er det oppgaver som må gjøres før elektrikerne kan begynne på sitt arbeid og det kan ta opptil en måned før man begynner å jobbe på det elektriske. Med solceller vil elektrikerne ha mulighet til å starte allerede første dag. Flertallet mener at man ikke trenger en ekstra person til drift av et solcelleanlegg.

LOGISTIKK

Frakt av solceller kan være en utfordring. FMA tror at logistikken vil være et problem ettersom atkomstaksene i landene Forsvaret opererer i, ofte er i så dårlig forfatning at ødeleggelsene på materiellet kan bli omfattende. FOH sier at systemet må kunne fraktes med fly. Det betyr at det må gå inn i en standard Iso-kontainer og at ingenting krever spesialtransport. Vekt har en del å si, men det er antall containere som ofte teller. Selv om man i dette tilfellet kan få redusert vekten noe, vil volummengden mest sannsynlig øke. Hjemfrakt av utstyret er kostbart og man må se på hvorvidt det er hensiktsmessig å bringe det hjem eller etterlate det. Å sette igjen systemet vil være mer hensiktsmessig i en fase 3-leir hvor man også etterlater en viss infrastruktur.

4. OPERATIV EVNE

Flere av respondentene mener at solceller vil være en god løsning for beredskapen til leiren. Sol og solceller vil gi en kontinuerlig forsyning av leiren som går utover kravet om 30 dagers beredskap. Man vil ha en større forsyningssikkerhet gjennom solceller enn diesel siden det er en større risiko for at forsyningkjeden blir brutt enn at forsyningen av sol blir brutt. Systemet må ha en logisk løsning med batterier med en viss kapasitet for dager uten sol.

Når det kommer til beredskapen i leiren meddeler FMA at man ikke har 30 dager med drivstoff lagret på tankene til aggregatene i en fase 2-leir har. Adderer man alle drivstoffbeholderne og

reduserer forbruket er det ikke noe problem. FOH sier at dagene er fordelt mellom bataljonen, brigaden og FLO/FMA, som har den største reserven. I følge NTNU er ikke solceller mer risikabelt å satse på enn diesel. Det er mer logisk å satse på solceller siden det krever mindre med tanke på drift og logistikk. FOH kommenterer at plassering av solcellene på bakken vil kreve en voldsom perimetersikring. I stridsområder hvor det er hyppige angrep mot leiren bygger man inn dieseltankene, det kan man ikke gjøre med solceller. Skal man ha en solcellepark blir den vanskelig å beskytte mot luftangrep. Ødeleggelse av aggregater kan føre til brann. Blir solceller ødelagt fører det ikke til ytterligere skader eller farer. Solceller inneholder materialer som ikke brytes ned, og de eneste ringvirkningene ved ødeleggelse vil være avfall, ifølge NTNU. Selve solcellen kan ikke fikses, men paneler kan byttes ut, de kan adderes eller fjernes til systemet etter behov. Altså er det ikke så farlig med treff på solcellene. FOH kommenterer at høyenergibatterier vil være veldig farlig og bør bygges inn på samme måte som dieseltankene.

5. ØKONOMI

Solceller har blitt billigere, men det er ikke lønnsomt i Norge med strømprisene på strømmettet. Tidligere har det ikke vært lønnsomt kjøpe strøm av andre nasjoner, sammenlignet med det å frakte ned aggregatene og produsere strøm selv, sier tall fra FMA. Drivstoff er kostbart, men FOH mener at fortjenesten av redusert drivstofforbruk forsvinner i det store bildet, ved en investering i solceller. FOH sier at nedbetalingstid ikke blir vurdert ved innkjøp av nytt utstyr og at det er vanskelig å få synliggjort slike tall. Når det gjelder solceller kan man kanskje få gjennomslag hvis man argumenterer med reduserte driftskostnader. Bestemmelsene skjer i planfasen og hvis man har en generisk camp med et generisk strømforbruk og dieselpriser, kan man sammenligne og se om en investering i solceller vil være mulig. Skal man ha en sjanse til å realisere dette må kostnadene være lavere enn ved aggregater, ifølge FOH. NATO er til dels uenig og mener at man ikke trenger å nå inntjeningstiden til anlegget ettersom man uansett vil ha redusert kostnadene i menneskeliv.

FMA delte at drivstoffkostnaden fra Masar-e-Sharif, 2012, var på 10.40kr/L. Vedlikeholdskostnadene var 250 000 for åtte aggregater i ett år. Av de ti aggregatene i leiren var tre kontinuerlig i reserve.

Det er økonomiske utfordringer med batterier og innkjøp av batterier kan ta livet av hele prosjektet. Blir batteripakken for stor må den reduseres slik at man får et fornuftig

kostnadsbilde. NATO har tall som sier at inntjeningstiden på hele anlegget ligger rundt et år. De mener også at det er på utviklingen av batterier satsingen bør være.

NATO sier den største utfordringen er å overbevise sjefene om at dette er en god idé. De ønsker å holde kostnadene nede på investering, dermed ser man ikke på sluttsummen av driften. Det totale regnestykket med tanke på drift over et år blir sjelden presentert. Det er en smertegrense på hvor stor en investering kan være. FOH sier at det tildeles en viss sum i året til å forvalte operasjoner, også kommer det styring på hvor mye man kan bruke på den enkelte misjonen. Skal investeringen gjøres i forbindelse med en etablering er det der dette vil bli belastet. FOH sitt perspektiv vil være at man i en prosjektfase hos FMA kan argumentere for å få inn solceller i prosjektet. Aggregater er kostbart og man kan gå ned i aggregatstørrelse og heller kjøpe solceller. Skriver man generisk om et solcelleanlegg og viser til potensialet gjennom et prosjekt kan man få gehør for argumentasjonen og realisere det gjennom FMA. FOH mener en prosjektidé har vært etterlyst i flere år. De er bestemt på at realiseringen av dette prosjektet må gjennom FMA. Først da har man mulighet til å vike fra basesettene. FOH sitt perspektiv er at man etablerer en leir med det utstyret man har og da er det vanskelig å realisere et slikt prosjekt. De kommenterer at Forsvaret enda ikke har forbrukt alt etableringsmateriellet. Med et system kan man gjøre en liten investering, under en million kroner til å begynne med, også kan man bygge på systemet etter hvert. Da vil det være mulig å gjennomføre det gjennom FOH, så lenge det går innenfor de enkelte misjonsbudsjettene.

6. AVSLUTNING

Alle er enige om at solceller vil lønne seg over tid. FMA mener det må komme en overbevisende utredning om hvor stort et solcelleanlegg vil bli og tror det i første omgang vil være mer aktuelt å starte med solfangere til varmtvann. Alle kommenterer at det er langt frem i tid før det vil være aktuelt å drifte en leir utelukkende på solenergi og det er et kombinert aggregat-batteri-solcellesystem som er aktuelt i første omgang.

NTNU avslutter med at implementering av solceller er logisk, spesielt i områder Forsvaret har operert de siste årene og at diesel ikke er et godt alternativ. Norge bør henge seg på trenden ettersom vi skal være eksperter på energiforsyning. Flere av respondentene mener Forsvaret må begynne å se mer på solceller allerede nå. Man trenger demonstrasjonsprosjekter og testing av systemer for å se om det vil fungere eller ikke. Med et nytt system følger oppstartsproblemer

og det er viktig at beslutningstakerne er forberedt på dette. Ved å begynne med prosjekter viser man også industrien at Forsvaret har en interesse innenfor området, som gjør at de fortsetter å utvikle gode produkter. Alle er enige om at solenergi er veien å gå, men at energiforbruket må reduseres først.

VEDLEGG 3 – VURDERING AV ENERGIKILDE
FORSVARSBYGG

Vurdering av energikilde

- Camp Lion -

Dagens løsning

Nåværende energikilde er to dieselgeneratorer. Leiren skal alltid være bemannet, og det forutsettes at en av generatorene går kontinuerlig på minimum 50% effekt. Ifølge produsenten har generatorene følgende forbruk ved effektene;

Effekt [%]	Dieselforbruk [l/h]
50	18
100	32

Tabell 1: Nåværende generatorers dieselforbruk ved ulike effekter

Basert på dette grunnlaget har dagens dieselforbruk en kostnad på minimum 1,8 millioner NOK, og et årlig CO² -utslipp på over 400 000 kg (se utregning 5 og 11).

Nye generatorer

Det vurderes om dagens generatorer skal erstattes av to nye generatorer med lavere dieselforbruk. Ifølge produsenten har dieselgeneratorene følgende forbruk ved effektene;

Effekt [%]	Dieselforbruk [l/h]
50	8
100	15

Tabell 2: Nye generatorers dieselforbruk ved ulike effekter

Stykkprisen for nye generatorer er totalt 18 000 USD. Inntjeningstiden vil derfor være litt over 7 måneder. I tillegg vil CO² -utslippet synke til litt under 200 000 kg per år, som tilsvarer en reduksjon på 56% (se utregning 8, 12 og 13).

Solcelleanlegg

Kabul er en by med relativt mange soltimer i året, ca 3 300, og ligger ca 1 800 moh. Dermed kan solcelleanlegg kan være et godt alternativ som energikilde [1]. I Camp Lion er det kjølebehovet som er dimensjonerende. Det taler til fordel for for installasjon av solcelleanlegg, da det er de varmeste dagene det trengs mest energi. Til sammenligning er det installert solcelleanlegg på det nye depotbygget på Haakonsvern i Bergen, hvor det årlig er ca 1200 soltimer.

Ettersom bygget etter hvert skal overleveres til lokale, er det viktig at drift og vedlikehold ikke er krevende, spesielt med tanke på kostnad. Solcelleanlegg krever generelt lite vedlikehold:

- Fjerne fysiske gjenstander som ligger på panelet
- Lite rengjøring (regnskylt gjør normalt nytten, høytrykkspyler kan ikke benyttes)
- Påse at paneler ikke forskyves
- Kanaler og føringer må inspiseres

Både nye og gamle generatorer har en total årlig service-kostnad på ca. 9000 USD. Det utføres service hver 250. time eller hver 21. dag på 200 USD, og hver 1000. time på 500 USD. Dersom det installeres solcelleanlegg vil servicekostnadene på generatorene reduseres betraktelig, ettersom antall driftstimer vil reduseres. Det vil kun være nødvendig å benytte generatorene på solfattige dager og eventuelt på effekttopper (avhengig av batteristørrelse). En større batteribank vil kreve større plass og koste mer, men vil bidra til å redusere behovet for generatorkraft ytterligere. Overskuddsproduksjon av energi ved solceller vil vurderes å kunne rutes inn på andre bygg, som f.eks. den nye kvinne-campen i nærområdet.

Samlet vurdering

Det kan vurderes å erstatte nåværende løsning med både tidligere nevnte solcelleanlegg og nye aggregater. I dette tilfellet vil inntjeningsstiden være ca. 1 år og 2 måneder (se utregning 15). Det skal nevnes at tallene for dieselforbruket ved de ulike effektene er oppgitt av produsenten, og dieselgeneratorernes virkningsgrad påvirkes negativt av et høyt antall moh. og av en lav temperaturdifferanse. Det er derfor trolig at dieselforbruket og kostnaden for drivstoff er høyere enn antatt, noe som taler til fordel for anskaffelse av solcelleanlegget.

Solskjerming

Når det er kjøling som er mest energikrevende, vil solskjerming være et godt energibesparende tiltak. Det finnes flere tiltak for solskjerming. Det mest energiebesparende tiltaket er utvendige persiener (se utregning formel 1 med tilhørende utregninger), men i dette tilfellet vil en sotet film på vinduene være mest gunstig, da vinduene uansett trenger blastfilm.

[2] Kilde: Afghanistan (2016) "Geografi og klima".

http://www.afghanistan.no/Afghanistan/Geografi_og_klima/index.html. Hentet 14. mars.2016

Solskjerming

$$\Phi_R = I_{maks} * F_1 + F - F_1 * I_{diff} * k_1 * k_2 \quad [W]$$

Formel 1: Varmemengde overført til romluft

Der:

I_{maks} = Maksimal solinnstråling

F_1 = Areal strålt av solen

F = Totalt glassareal

I_{diff} = Diffus solinnstråling (tabell)

k_1 = Solskjermingsfaktor (tabell)

k_2 = Akumuleringsfaktor (tabell)

1. Tilfelle - Ingen solskjerming -

$$I_{maks} = 700 \text{ W/m}^2$$

$$F_1 = 0,50 \text{ m}^2$$

$$F = 0,64 \text{ m}^2$$

$$I_{diff} = 74$$

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 0,34$$

$$\Phi_R = 122 \text{ W}$$

2. Tilfelle - Utvendige persienner, lyse -

$$I_{maks} = 700 \text{ W/m}^2$$

$$F_1 = 0,50 \text{ m}^2$$

$$F = 0,64 \text{ m}^2$$

$$I_{diff} = 74$$

$$k_1 = 0,16$$

$$k_2 = 0,34$$

$$\Phi_R = 19 \text{ W}$$

3. Tilfelle - Absorpsjonsglass/sotet blastfilm -

$$I_{maks} = 700 \text{ W/m}^2$$

$$F_1 = 0,50 \text{ m}^2$$

$$F = 0,64 \text{ m}^2$$

$$I_{diff} = 74$$

$$k_1 = 0,60$$

$$k_2 = 0,34$$

$$\Phi_R = 73W$$

Merknad: Beregningene vil kun si noe om forskjellen mellom de ulike tiltakene for solskjerming, og er ikke spesifikke verdier for Camp Lion sitt tilfelle.

[3] Kilde for tabellverdiene; Stensaas, Leif. 2008. *Inneklimateknikk*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS. Det er benyttet en typisk verdi når det gjelder solinnstråling, og for k_2 er det tatt høyde for en høy bygningsmasse.

Vedlegg

- Utrekninger -

Forutsetninger:

Prisen på diesel → 1,35 USD/l.

Kurs → 1 USD = 8,5 NOK

Energiproduksjon → 2 kWh/l diesel (estimat)

Estimat av energibehov per år

$$\frac{1\,805\,660\text{ NOK/år}}{8,5\text{ NOK/USD}} = \frac{212\,431\text{ USD/år}}{1,35\text{ USD/l}} = 157\,356\text{ l/år}$$

Utrekning 1: Forventet dieselforbruk per år.

$$2\text{ kWh/m}^2 * 157\,356\text{ l/år} = 314\,712\text{ kWh/år}, \frac{314\,712\text{ kWh/år}}{510\text{ m}^2} = 617\text{ kWh/m}^2\text{ per år}$$

Utrekning 2: Forventet energiforbruk per år.

$$\frac{1\,805\,660\text{ NOK}}{314\,712\text{ kWh}} = 5,7\text{ NOK/kWh}$$

Utrekning 3: Pris per kWh med eksisterende generatorer

$$\frac{802\,515\text{ NOK}}{314\,712\text{ kWh}} = 2,5\text{ NOK/kWh}$$

Utrekning 4: Pris per kWh med nye generatorer

Besparelser ved kjøp av nye generatorer

Kostnader:

$$18\text{ l/h} * 24\text{ h/d} * 364,25\text{ d/år} * 1,35\text{ USD/l} * 8,5\text{ NOK/USD} = 1\,805\,660\text{ NOK/år}$$

Utrekning 5: Kostnad for dieselforbruk med nåværende generatorer ved 50% effekt.

$$8\text{ l/h} * 24\text{ h/d} * 364,25\text{ d/år} * 1,35\text{ USD/l} * 8,5\text{ NOK/USD} = 802\,515\text{ NOK/år}$$

Utrekning 6: Kostnad for dieselforbruk med nye generatorer ved 50% effekt.

$$18\,000\text{ USD} * 8,5\text{ NOK/USD} * 2 = 306\,000\text{ NOK}$$

Utrekning 7: Pris for nye generatorer

$$\frac{306\,000 + 802\,515}{1\,805\,660} = 0,6 \rightarrow \text{forholdstall} \rightarrow 0,6\text{ år} * 12\text{ mnd/år} = 7\text{ mnd}$$

Utrekning 8: Inntjeningstid ved kjøp av nye generatorer

$$0,6 * 100\% = 60\% \rightarrow \text{tilsvarende en besparelse på 40\% det første året}$$

Utrekning 9: Andel kostnadsbesparelse første år.

$$\frac{802\,515}{1\,805\,660} = 0,44 \rightarrow \text{dette tilsvarer en besparelse p\aa 56\%}$$

Utgregning 10: Andel kostnadsbesparelse hvert \aa r i drivstoff

CO²-utslipp:

$$2,66 \text{ kg CO}^2/\text{l} * 18 \text{ l/h} * 24 \text{ h/d} * 364,25 \text{ dl/\aa r} = 418\,567 \text{ kg CO}^2/\text{\aa r}$$

Utgregning 11: CO²-utslipp pr. \aa r med n\aa v\aa rende generatorer

$$2,66 \text{ kg CO}^2/\text{l} * 8 \text{ l/h} * 24 \text{ h/d} * 364,25 \text{ dl/\aa r} = 186\,029 \text{ kg CO}^2/\text{\aa r}$$

Utgregning 12: CO²-utslipp pr. \aa r med nye generatorer

$$\frac{186\,029}{418\,657} \text{ kg CO}^2/\text{\aa r} * 100\% = 44\% \rightarrow 56\% \text{ reduksjon}$$

Utgregning 13: Reduksjon i CO²-utslipp per \aa r.

Merknad: 1 l diesel tilsvarer et utslipp p\aa 2,66 kg CO². Utgregningene er basert p\aa at dieselforbruket er likt for begge generatorene. Utslippet er trolig ytterligere lavere p\aa nye generatorer da disse innehar katalysatorer.

[1] Kilde: vg (2007) "regn ut CO²-utslippet: eksos veier tre ganger s\aa mye som drivstoff".

<http://www.vg.no/forbruker/bil-baat-og-motor/bil-og-miljoe/regn-ut-co2-utslippet/a/155931/>.

Hentet 14. Mars 2016.

Besparelser ved kjøp av solcelleanlegg

$$\frac{1\,000\,000}{1\,805\,660} = 0,55 \rightarrow 6 \text{ mnd og to uker}$$

Utgregning 14: Inntjeningstid ved kjøp av solcelleanlegg

$$\frac{306\,000 + 802\,515 + 1\,000\,000}{1\,805\,660} = 1,16 \text{ \aa r} \rightarrow 1 \text{ \aa r og 2 mnd.}$$

Utgregning 15: Inntjeningstid ved kjøp av solcelleanlegg og nye generatorer

$$\frac{314712 \text{ kWh/\aa r}}{364,25 \text{ dl/\aa r}} = 864 \text{ kWh/d} \rightarrow 300 \text{ W/m}^2 \text{ solcelle} * 0,8 * 0,95 * 0,9 * 24 \text{ h/d} = 4924 \text{ W/m}^2 \text{ solcelle}$$

→

$$\frac{864 \text{ kWh}}{4,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ solcelle}} = 176,3 \approx 200 \text{ m}^2 \text{ solcelle}$$

Utgregning 16: Estimert størrelse p\aa solcelleanlegg basert p\aa energibehov per dag.

Merknad: Basert p\aa tall fra klimadatabasen til energisimuleringsprogrammet SIMIEN er det rimelig \aa anta en gjennomsnittlig varmeflux p\aa 300 W/m² solcelle. Antar gode virkningsgrader p\aa anlegg, batteri og frekvensomformer p\aa hhv. 0,8, 0,95 og 0,9.

VEDLEGG 4 – FORPROSJEKT



FORPROSJEKT BACHELOR

Solceller i Forsvarets Internasjonale leire

KRIGSSKOLEN

**BRUK AV SOLCELLER SOM ENERGIFORSYNING I
SEMIPERMANENTE LEIRETABLERINGER I
INTERNASJONALE OPERASJONER**

Erik Unhjem og Guro Hegstad Stien

Gyldenløve 14-17

03.01.2017

Innhold

1. Innledning med bakgrunn	4
2. Litteratursøk.....	5
2.1. Kontaktnettverk.....	5
2.2. Litteratur	5
3. Problemformulering.....	6
4. Metode.....	6
5. Avgrensninger og økonomi	7
6. Organisering.....	8
7. Fremdriftsplan.....	8
Kilder	13

1. Innledning med bakgrunn

Forsvaret har de siste tiårene hatt mange internasjonale oppdrag. Disse har omfattet etableringer av leirer i for eksempel Afghanistan, Kosovo og Irak. Med tanke på den globale sikkerhetssituasjonen med kriselignende tilstander både i Syria, Irak, Nigeria og Somalia, vil Forsvaret mest sannsynlig gjennomføre oppdrag internasjonalt i årene som kommer også. Når Forsvaret sender et styrkebidrag må de forlegges i en leir. Leiren må etableres og dimensjoneres, og dimensjonene og standarden på leiren avhenger av hvor stort styrkebidraget er og hvor lenge utlandsmisjonen er planlagt å vare (Brende, 2015).

Ved deployeringer til andre land har disse landene tradisjonelt ikke hatt den samme infrastrukturen som vi er vant med her hjemme fra Norge. Dette fører til at Forsvaret må ta med seg alle nødvendige deler av infrastruktur for å etablere og drifte en leir. Det er ikke mulig å belage seg på den sivile infrastrukturen til å forsyne leiren med verken strøm, vann eller kloakk. Når det først iverksettes et internasjonalt bidrag har som regel vertslandet og dets infrastruktur blitt påvirket av krigshandlinger og de ødeleggelser det fører med seg. Sårbare systemer som ledningsnett for vann, avløp og strøm er enten ikke-eksisterende eller har for liten stabilitet til at Forsvaret kan belage seg på å nytte disse. Derfor må Forsvaret drifte egen infrastrukturen innad i leir selv (Forsvarsbygg, 2015).

Forsvaret er avhengig av mange systemer ved etablering og drift av en leir. Dette gjelder alt fra drift av infrastruktur i leiren, til den operasjonelle driften av styrkebidraget og alle nødvendige installasjoner for de som bor i leiren. Alle systemer trenger elektrisk energi for å fungere. Den elektriske energien leveres av diesellaggregater. I Camp Meymaneh var det, i 2011, 8 aggregater, hver på 500kVA. Leiren hadde totalt sett et forbruk på 30.000 kWh per døgn og for å dekke dette behovet ble det forbrukt 10.000 L drivstoff i døgnet (Forsvarsbygg, 2015).

Miljøbevisstheten har økt på verdensbasis. NATO har derfor stilt flere og strengere krav til forvaltning av miljøet ved leiretableringer INTOPS. Dette har ført til at Forsvaret har måttet økte sitt miljøfokus og ser derfor på grønnere metoder ved en etablering. Bruken av solceller til produksjon av elektrisk energi reduserer CO₂-utslippet og fører til reduksjon av drivstoffbehovet. Transporten av drivstoff i INTOPS er forbundet med stor risiko. (Stoltenberg, 2016).

Bacheloroppgaven skal derfor ta for seg bruken av solceller ved leiretableringer i internasjonale operasjoner. Mye av grunnen til at Forsvaret så langt ikke har tatt i bruk fornybar energi er manglende data og argumentasjon som underbygger at dette er lønnsomt. Derfor er visjonen med denne bacheloroppgaven å kartlegge hvorvidt bruken av solenergi vil være en gunstig og lønnsom erstatning for bruken av aggregater.

2. Litteratursøk

2.1. Kontaktnettverk

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i Ås har mye forskning på området solenergi og hvordan man kan utnytte dette på best mulig måte. Gruppen har vært i kontakt med Petter Heyerdahl, Førsteamanuensis ved NMBU. Bachelortemaet ble presentert og gruppen håper på å få til en ekskursjon til Ås for å se på solcellekraftverket de har der.

Gruppen har knyttet kontakt med Sissel Forseth, sjefsforsker ved Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), med veldig positive tilbakemeldinger. Hun har vært veileder for lignende oppgaver tidligere. Gruppen var på et møte med henne 3. januar 2017 og hun har sagt seg villig til å være ekstern veileder. Hun introduserte oss også for John Inge Hyndøy som har sagt seg villig til å veilede på det taktiske aspektet.

Etter undervisningen med Forsvarsbygg i 4. semester ble kullet presentert en god del data fra strømproduksjonen og forbruk i Meymaneh. Det kom frem at Forsvarsbygg jobber med å se på mulighetene til å benytte alternative energikilder ved en slik etablering. Tor Knutsen, senioringeniør hos Forsvarsbygg, presenterte muligheten for å skrive en bacheloroppgave om bruken av solenergi til strømproduksjon i leiretableringer INTOPS. Gruppen har vært i forbindelse med han og oppgaven er i første omgang forankret hos Forsvarsbygg.

Forsvarsmateriell (FMA) har personell med erfaring og kunnskap om den praktiske bruken av solcellekraftverk. Gruppen har snakket med Hanne Fagerås, overingeniør hos FMA, og hun kan sette oss i kontakt med de som vil være aktuelle fagpersoner å prate med.

2.2. Litteratur

Gruppen vil søke litteratur for å få en grunnleggende forståelse for solenergi, solceller, paneler og solcellekraftverk. Kontaktpersoner i de ulike støtteorganisasjonene til Forsvaret, slik som FFI, Forsvarsbygg og FMA vil bli brukt til å innhente informasjon rundt kostnader, frakt og utførelse osv.

NATO har mye forskning på området og gruppen ønsker å få til et intervju i løpet av Krigsskolens ekskursjon til Brussel.

Gruppen planlegger å benytte følgende litteratur:

- Renewables for Military Camps and Ground Troops av Carl Gustaf Rye-Florentz (masteroppgave)

- Fag-litteratur om solceller og oppbygningen av et system. Sissel Forseth sitter på relevant fagstoff.
- Smart Energy Camp Final Report av European Defence Agency (EDA)

Det har vært mailkorrespondanse med Erik Stensrud Marstein som skal hjelpe med aktuell litteratur, bøker og artikler på hvilke typer solcellepaneler som finnes og ulike egenskaper ved disse slik som pris pr. Watt, forventet levetid, samt utviklingstrender.

3. Problemformulering

Temaet for oppgaven var klart fra starten av. Bacheloroppgaven skal omhandle bruk av solceller som energiforsyning i semipermanente leiretableringer i internasjonale operasjoner. Det er ønskelig å se på oppgaven i et helhetlig bilde, og det vil derfor være relevant å se på ulike betingelser som trusler, logistikk, økonomi og lokalisering. Etersom solceller kun produserer strøm når det er sollys må også lagring av strøm betraktes. Trusselbildet i de ulike internasjonale operasjonen varierer og vil også ha en innvirkning på hvorvidt solceller vil være aktuelt å benytte. Klima i område; antall soldøgn, partikler og forurensning i lufta, har en innvirkning på solstrålingen og derfor effekten av solcellene.

På bakgrunn av dette formuleres denne problemstillingen:

«Under hvilke forhold vil bruk av solceller som energiforsyning være lønnsomt, sett fra et økonomisk og operativt perspektiv for leirer i internasjonale operasjoner, og hvordan vil et slikt system kunne se ut?»

4. Metode

Oppgaven har til hensikt å undersøke en problemstilling. For å få svar på denne problemstillingen finnes det ulike metoder man kan bruke og man må derfor også velge seg en metodisk tilnærming. En metode handler om hvordan man skal gå til verks for å nå et mål eller løse et problem. Den samfunnsvitenskapelig metoden er prosessen man må gjøre for å få informasjon om den sosiale virkeligheten. Metoden sier noe om hvordan man skal analysere informasjonen som ligger til grunn for oppgaven. Analyse og tolking av data er sentralt for empirisk forskning. Innenfor den samfunnsvitenskapelige metoden skilles det mellom kvalitativ og kvantitativ metode. Spørreundersøkelser som går bredt ut og har mange deltakere er eksempel på kvantitativ metode. Denne metoden har til hensikt å kartlegge en utbredelse, fenomener og lignende. Kvalitativ metode tar for seg et begrenset antall mennesker og får i mye større grad med detaljene og nyansene i informasjonen som hentes inn. Denne metoden sier noe om kvaliteten eller egenskapene til et

fenomen og er den metoden som vil være mest aktuell for denne bacheloroppgaven. Gruppen kommer til å hente informasjon fra bøker og tidligere studier, samt data fra tidligere etableringer. Intervju vil bli brukt til å innhente kvalitative data i utredningen. Gruppen velger å benytte denne metoden ettersom oppgaven skal ha en dypere utredning på bruken av solceller som energiforsyning (Johannessen, Tufte, & Christoffersen, 2010).

5. Avgrensninger og økonomi

5.1 Generelle avgrensninger

Gruppen velger å kun se på solcellekraftverk med solcellepaneler til produksjon av strøm, og ikke solvarmeanlegg som produserer varme. Gruppen kommer til å velge én type solceller og bruke dette som eksempel.

Opgaven skal ha et helhetlig perspektiv, men velger å kun se på batterier som lagringsform for energien.

Gruppen ser kun på materiell og teknologi som er testet og godkjent for salg. Prototyper og ny teknologi som ikke er på det åpne markedet blir ikke omhandlet. Gruppen vil likevel se på trendene og gjøre vurderinger ut fra dette. Det eksisterer flere ulike solceller på markedet og oppgaven vil derfor se på hvorvidt ulike produkter skal vurderes med tanke på levetid, effekt/kvm også videre.

Ettersom trusselvurderingen er ulik i enhver situasjon må sikring av anlegges vurderes i hvert enkelt tilfelle. Derfor avgrenses oppgaven til å kun se på styrker og svakheter ved et slikt system sett opp imot ulike trusler *uten* å ta for seg hvordan det bør sikres.

5.2 Økonomi

Dette er ikke en oppgave som krever store midler. Under utarbeidelsen av forprosjektet, har det ikke blitt indentifisert andre utgifter enn til reising.

De fleste av reisene kan foretas i tjenestetid med bil.

- Vår eksterne veileder Sissel Forseth jobber for FFI på Kjeller. Det er naturlig at det kommer til å bli noen reiser dit for å møte henne.
- Universitet i Ås (NMBU) har personell med kompetanse på solenergi og et solcellelaboratorium for omdanning av energi i sollys til elektrisk energi. Dette er noe vi ønsker å besøke. Dette koster kun det transport penger.
- Forsvarsbygg sitter på mye kunnskap og data om leiretableringer. De er ønskelige å besøke. Dette vil koste transporten til Grev Wedels Plass.

- M&K på Rena vil også være aktuelle å besøke. Dette krever transport til Rena.
- Oppgaven kan blir forankret hos FOH. Dette vil kreve et møte med en representant for å vite hva de ønsker å få ut av oppgaven. Dette kan derfor gi en utgift på fly tur/retur Bodø.

Hadde gruppen hatt anledning til å hente informasjon og gjøre egne målinger i en operativ internasjonal leir ville det styrket oppgaven. Dette er vanskelig både med tanke på sikkerhet og økonomi. Derfor begrenses oppgaven til å kun se på allerede tilgjengelig informasjon og data.

Totalt ser budsjettet slik ut:

Bilreiser: kr 2000

Flyreise til Bodø: kr 4000 (dersom det blir nødvendig)

Forpleining og forlegning i Bodø vil komme i tillegg.

6. Organisering

6.1. Arbeidsfordeling

Bacheloroppgaven kommer i hovedsak til å bli utarbeidet i fellesskap og ulike deler av det skriftlige arbeidet vil bli fordelt etter hvert som informasjon blir innhentet. De delene av det skriftlige produktet som med sikkerhet skal inn i oppgaven slik som teori- og metodekapitlene, vil bli delt fornuftig mellom forfatterne.

Intervju som skal gjennomføres ønsker gruppen å gjennomføre i fellesskap. Dette vil sikre at hele gruppen får størst mulig forståelse og læringsutbytte, samt at begge har mulighet til å jobbe videre med informasjonen som hentes inn. Dette vil skape fleksibilitet i arbeidet og større forutsetning for å ta hånd om endringer som vil oppstå underveis. Gruppen ønsker at alle skal sitte med et felles bilde og en felles situasjonsforståelse gjennom bachelorperioden. For å få til dette legges det til grunn noen kjøreregler som er beskrevet i punkt 6.2.

6.2. Kjøreregler

God kommunikasjon

Gruppen ønsker å ha god kommunikasjon gjennom hele bachelorperioden. Dette er for å sikre en felles forståelse av prosjektet og retningen prosjektet vil ta. For å få til dette planlegger gruppen å ha et møte hver mandag. Her skal fremdriften vurderes og hvor langt gruppen har kommet i prosessen, samt veien videre med hvilke mål som skal nås den kommende uken.

Godt samarbeid

Gruppen ønsker å ha et godt samarbeid innad og utad. For å få til dette er det viktig at gruppemedlemmene er ærlige og oppriktige underveis i prosessen; både ovenfor hverandre, med tanke på arbeidsbelastning og produktivitet, men også opp mot veiledere. Gruppen vil bruke veiledere og ressurspersoner flittig og på den måten få en god fremdrift på prosjektet med en stø kurs.

Være på tid

Fremdriftsplanen (som er beskrevet i punkt 7) legger til grunn hva som skal være gjort til hvilken tid. Denne fremdriftsplanen kommer til å være et levende dokument hvor nye punkter vil komme inn etterhvert som endringer underveis oppstår. Slike endringer skal kartlegges på de planlagte mandagsmøtene og eventuelle endringer med påfølgende konsekvenser legges frem. Tiltak må utarbeides som følge av endringene. Likevel vil noen punkter i fremdriftsplanen være låst i tid. Her er det viktig at gruppen når disse målene i tide og slik sikrer at oppgaven blir ferdigstilt til riktig tid. For at fremdriften skal opprettholdes er det viktig at avgjørelser og konklusjoner som blir tatt underveis ikke dveles med i senere tid, men heller blir beskrevet i vurderingen på slutten.

7. Fremdriftsplan

Fremdriftsplanen settes opp ut fra planlagte aktiviteter i Googlekalenderen per 22.12.2016.

Uke	Hva skal gjøres	Mål
1	Metodekurs Innledende møter med interessenter Arbeid på kveldstid: Møte FFI Lese seg opp på bakgrunnsstoff til oppgaven	Møte med ekstern veileder Ha definert oppgaven Begynne med innledende møter og grunnlagsresearch
2	Metodekurs Innledende møter med interessenter Arbeid på kveldstid: Lese seg opp på bakgrunnsstoff og hente inn relevant informasjon. Satt opp en disposisjon og et utkast til temaer som må omhandles i oppgaven. Undersøke om intervju er mulig i NATO, og finne et kontaktpunkt.	Funnet og lest seg opp på relevant bakgrunnsstoff. Ferdig med grunnlagsresearch og innledende møter.
3	Metodekurs Arbeid på kveldstid: Fordele temaer og arbeid Innhenting av informasjon om de ulike temaene.	Metodekapittel ferdig. Disposisjon for oppgaven ferdig. Satt opp en foreløpig arbeidsfordeling.
4	Skrive Prøve å få til et intervju i NATO	
5	Skrive	

6	Skrive	Frist for eventuelt forberedelse av intervju i Brussel.
7	Studietur Brussel (onsdag – fredag)	
8		Ferdig med skriving av hoveddelen
9	Skrive forord, innledning og konklusjon	Søndag 05.03 Ferdig med skriving
10	Øvelse Joint Viking i Finnmark	
11	Øvelse Joint Viking i Finnmark fram til onsdag	
12	Retting og finpussing av oppgaven	Ferdig med bacheloroppgaven NLT søndag 26.03.2017
13	Innlevering bacheloroppgave mandag 27.03.2017	Ferdig bachelor

Endringer vi kunne forekomme og fremdriftsplanen kan måtte oppdateres som følge av dette.

Fremdriftsplan														
	Desember		Januar			Februar			Mars					
	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Milepæl:														
Innlevering forprosjekt			↑											
Metodekurs				↑										
Metodekapittel				↑										
Teorikapittel					↑									
Diskusjon og konklusjon						↑								
Ferdigstille										↑				
											↑			
												↑		
Gjennomføre intervju									↑					
Språkvask														↑
BO Ferdig														↑

Juleferie
Ledelsesfilosofieksamen
Studietur Brussel
Øvelse Joint Viking

Kilder

- Brende, B. (2015, 06 19). Presentasjon av stortingsmeldingen om global sikkerhet. Oslo: Regjeringen. Hentet 12 22, 2016 fra https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/lansering_sikkerhet/id2424060/
- Forsvarsbygg. (2015). *Etablering i internasjonale operasjoner* (2. utg.). Oslo: Forsvarsbygg og Intops.
- Johannessen, A., Tufte, P., & Christoffersen, L. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* (4. utg.). Oslo: Abstrakt forlag.
- Norsk solenergiforening. (2016). *Solceller*. Hentet 27.12.2016 fra Norsk solenergiforening: <http://solenergi.no/om-solenergi/teknologi/solceller/>
- Stoltenberg, J. (2016). *The Secretary General's Annual Report 2015*. Brussel: NATO Public Diplomacy Division .
- Thermia. (2016). *Ordliste og forklaringer*. (Danfoss AS) Hentet 27.12.2016 fra <http://www.thermia.no/varmepump-dokumentasjon/ordliste.asp>