

Studie om erfarenheter av användning av solceller i fält

ANNICA WALEIJ, DANIEL WESTERLUND, BIRGITTA LILJEDAHL



Annica Waleij, Daniel Westerlund, Birgitta
Liljedahl

Studie om erfarenheter av användning av solceller i fält

Titel	Studie om erfarenheter av användning av solceller i fält
Title	Experiences of solar energy technologies during field conditions
Rapportnr/Report no	FOI-R--4204--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2015
Antal sidor/Pages	67 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	MSB
Forskningsområde	2. CBRN-frågor och icke-spridning
FoT-område	
Projektnr/Project no	E4216
Godkänd av/Approved by	Mats Strömqvist
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet

Bild/Cover: FOI/Per Wikström

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

På uppdrag av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) har FOI genomfört en studie över erfarenheter från användningen av solcellstekniker för energiförsörjning i fält. Studien har omfattat såväl MSB:s egna erfarenheter som erfarenheter från andra civila och militära organisationer som verkar i liknande miljöer. Syftet med studien har varit att förse MSB med underlag för att kunna bedöma vilka aspekter som behöver utvecklas för att MSB ska kunna sätta samman ett fullt solcellskoncept för att möta olika behov.

Erfarenheter från användning av olika typer av solcellslösningar vid sex olika insatser/klimat har studerats.

Fallande priser på solpaneler, LED-lampor m.m. gör alternativa energikällor till en allt mer attraktiv investering. En övergång till mer energieffektiv verksamhet och alternativa energikedjor stöds av såväl utfallet av klimatkonferensen i Paris (COP-21) som de nya utvecklingsmålen.¹ Vidare bidrar en ökad självförsörjning/minskad energianvändning såväl till en minskning av vissa typer av säkerhetsrisker till ökad effektivitet i kärnverksamheten och de operativa leveranserna.

Det finns emellertid inte en lösning som passar alla situationer och geografiska platser/klimat. MSB bör därför satsa på att ta fram en portfölj med olika lösningar, inklusive en checklista där det snabbt kan identifieras vilken lösning som är mest sannolik att fungera optimalt, givet de aktuella förutsättningarna. Val av lösningar bör vidare innehålla en livscykelanalys där bl.a. möjligheter till återvinning av uttjänta komponenter i systemet beaktas.

En kontinuerlig bevakning av utvecklingen avseende solenergi bör genomföras eftersom utvecklingen går mycket snabbt. Bevakningen bör även innefatta andra alternativa energilösningar (vid, biogas etc.) samt mikronät, som kan tänkas ingå i hybridlösningar.

Ett energisparprogram bör tas fram och utbildningsinsatser för att främja ett förändrat beteende genomföras som ett komplement till teknikerna.

Nyckelord: solceller, energieffektivisering, alternativa energikällor, solpaneler, insats, miljö, klimat

¹ SDG, Sustainable Development Goals.

Summary

On behalf of the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), a study on experiences of solar energy technologies during field conditions has been performed by FOI. The study included MSB's own experiences as well as experiences of other civil and military organizations operating in similar environments. The aim of the study was to provide MSB with information in order to decide which aspects that need to be taken into account by MSB to be able to develop a solar cell concept to meet different needs. Experiences from the use of different types of solar cell solutions at six different operations/climates was studied.

Falling prices for solar panels, LED lights etc. makes alternative energy sources an increasingly attractive investment. A transition to more energy efficient operations and alternative energy chains are supported by both the outcome of the Climate Conference in Paris (COP-21) as well as the new Sustainable Development Goals. Furthermore, increased self-sufficiency including reduced energy consumption, decreases certain types of security risks as well as to increases the efficiency in core operative service deliveries.

However, there is not one solution that fits all situations and geographic locations/climates. MSB should therefore focus on developing a portfolio of solutions, including a checklist where it can be quickly identified which solution is most likely to work optimally, given the current conditions. The solutions should also include life-cycle analysis, which takes into account opportunities for recycling of the components of the system.

A continuous monitoring of the developments relating to solar energy should be performed since the development in this field is very rapid. The monitoring should also include other alternative energy solutions (e.g. biogas etc.) as well as micro-grids that may be part of hybrid solutions. As a complement to new technologies, an energy saving program should also be developed and awareness training performed, to promote behavioural changes implemented.

Keywords: photovoltaic, PV, solar panels, energy efficiency, alternative energy sources, operations, environment, climate

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	7
1.3	Uppdraget	7
1.4	Metod	8
1.5	Avgränsningar och urval	8
1.6	Läshänvisning	8
2	System för solenergi	9
2.1	Allmänna principer för solenergi	9
2.2	Olika typer av solceller	9
2.3	Olika storlekar på solcellssystem för fältbruk.....	10
2.4	System av "resväsketyper"	11
2.5	Montering och uttag av energi	14
2.6	Centraliserade styrenheter.....	15
2.7	Energilagring	15
3	Förutsättningar för solenergi	17
3.1	Solinstrålning.....	17
3.2	Klimat och meteorologiska data.....	17
3.3	Potential för solenergi	18
3.4	Beteendeförändring	19
4	Att planera och dimensionera sin energilösning	19
4.1	Planering	19
4.2	Beräkning av energibehov	19
4.3	Riskbedömning	20
4.4	Kostnadsjämförelse	20
4.5	Miljöaspekter	22
5	Trender inom solenergi	23
6	Resultat från fallstudier	24
6.1	UNDP- Sierra Leone (Freetown).....	25
6.2	Kanadensiska armén – Arktis	32
6.3	Holländska armén: Afghanistan	36
6.4	MSB/WFP-DRK, Goma.....	39
6.5	UNMISS Sydsudan, Juba	43

6.6	US Army –varierande platser	51
6.7	Sammanfattning av lärdomar och erfarenheter	53
7	Slutsatser och rekommendationer	55
8	Referenser	56
	Bilaga 1 - Frågetemplat	59
	Bilaga 2 - Exempel på ifylld riskbedömning (UNDP)	61
	Bilaga 3 - Räkneexempel avseende kostnader för diesel och solenergi för UNDPs solcellsinvestering i Västafrika	62
	Bilaga 4 - Exempel på relevant klimatdata för en solcellslösning	63
	Bilaga 5 - Kontakter tagna i studien	65

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) har som mål att vara en av de ledande insatsorganisationerna på miljöområdet år 2018. I detta ingår att ha ett välintegrerat miljöperspektiv, inte minst med avseende på operativa leveranser som har betydande miljöpåverkan. Det nya basecamp-konceptet har exempelvis en uttalad ambition av att vara ett föredöme ur miljösynpunkt.

Som ett led i arbetet med att vara i framkant på miljöområdet utvecklas den materiel som används vid insats kontinuerligt och nya tekniska lösningar prövas och utvärderas. Under senare år har man i ett antal insatser använt sig av solcellslösningar för att delvis försöka täcka insatsens energibehov. Även efterfrågan från samarbetspartners att tillhandahålla alternativa lösningar för energiförsörjning ökar. För att öka möjligheten att leverera hållbara lösningar önskar därför MSB kunna leverera stöd i form av förnybara energikällor och energieffektivisering.

MSB:s koncept för energiförsörjning via solcellslösningar har utvecklats i samverkan med konsulter som stöttat vid val av lösningar och teknisk rådgivning för installation. En utvärdering av MSB:s egen användning av solcellsteknik i Demokratiska Republiken Kongo (DRK) har under våren genomförts internt 2015.² Användning av solcellslösningar har hittills visat sig lovande, men MSB saknar en större bredd av erfarenheter av hur solceller kan användas och hur alternativa tekniska lösningar kan anpassas för det aktuella behovet och klimatet vid olika typer av insatser. MSB önskar även få en bättre bild av tekniska lösningar, praktisk erfarenhet i fält samt hur förbrukningssidan på ett energisystem bör vara anpassat för att bäst fungera ihop med en solcellslösning.

1.2 Syfte

Syftet med studien har varit att sammanställa erfarenheter från användningen av solcellstekniker för energiförsörjning i fält, från MSB och andra organisationer som verkar i liknande miljöer och att undersöka vilka övriga aspekter som behöver utvecklas för att MSB ska kunna sätta samman ett fullt solcellskoncept för att möta olika behov.

1.3 Uppdraget

Uppdraget bestod i att samla och dokumentera erfarenheter från användning av solcellslösningar vid olika insatser i olika miljöer/klimat, om möjligt både torra och fuktiga samt kalla och varma miljöer. Vidare bedömdes det vara relevant att identifiera lärdomar från såväl direktlevererande som energilagrande system, liksom små mobila och större stationära enheter.

Erfarenheter skulle sammanställas utifrån följande parametrar:

- energigenerering från solceller
- energilagring från solceller
- hur förbrukningssystemen kan anpassas för att möta energileverans från solceller
- kombinerade energilösningar
- olika tekniska energibesparingar för användarsidan
- tekniska och praktiska erfarenheter från installation och drift
- erfarenheter från transporter

Erfarenheterna skulle sammanfattas och beskrivas utifrån funktion hos olika tekniska lösningar, med bedömda kostnader (inköp, drift och underhåll) för de beskrivna lösningarna, hur lösningarna påverkar

² Isaksson & Aronsson (2015)

handhavande/arbetsinsats och en bedömning av miljöpåverkan från respektive lösning. Vidare bedömdes det vara relevant att identifiera erfarenheter från såväl direktlevererande som energilagrande system, liksom små mobila och större stationära enheter.

1.4 Metod

Studien har genomförts som en litteraturstudie, där olika rapporter och annat skriftligt material om användning och erfarenheter från solcellslösningar granskats och sammanfattats. Vidare har semistrukturerade intervjuer genomförts med relevanta aktörer. Intervjuerna har genomförts via telefon/Skype/videolänk och baserats på ett antal frågor (se bilaga 1). Fördelen med denna typ av intervjuguide är att den skapar en viss flexibilitet och ger möjlighet att ställa följd- och detaljfrågor.

1.5 Avgränsningar och urval

En avgränsning av system att studera gjordes enligt önskemål från MSB till anläggningar mellan 1³-100 kW.

Endast tekniska lösningar som är montagevänliga, d.v.s. möjliga att montera och initialt driftsätta inom något eller några få dygn, var av intresse. På samma sätt skulle de studerade anläggningarna kunna demonteras och med kort varsel och flyttas med bibehållen prestanda vid nästa uppstart.

Minst fem exempel, med så stor geografisk och klimatologisk spridning som möjligt, skulle studeras. Av ett tjugotal intressanta fall att studera (se bilaga 5) har det slutliga urvalet till stor del avgjorts av vilka organisationer/personer som varit tillgängliga och haft möjlighet att praktiskt bidra till studien, med skriftligt material och/eller genom intervjuer.

Den tekniska utvecklingen inom solteknik går mycket snabbt. Av den anledningen söktes så aktuella fälterfarenheter som möjligt. I några fall gjordes även bedömningen att det var värdefullt med erfarenheter som täcker årstidsvariationer, varpå några något äldre projekt studerades. I dessa fall gjordes även en bedömning om vad som skulle gjorts/redan görs annorlunda baserat på de erfarenheter som dragits. Vidare beskriver ett avsnitt trender inom solenergiområdet, då utvecklingen inom solenergiområdet går mycket snabbt.

Samtidigt som intresset för solenergilösningar ökar, visar erfarenheter på att många aktörer provar sig fram, något som visserligen ger erfarenheter, men inte alltid av en sort som systematiskt går att utvärdera. Av den anledningen har ett antal vetenskapliga publikationer över systematiska genomgångar av solenergi i fältlikande miljöer studerats för att även erhålla reproducerbara data av prestanda hos olika system att analysera.

Uppdraget har inte innefattat resor eller fältbesök, vilket har utgjort en begränsning i informations- och erfarenhetsinhämtningen.

1.6 Lëshänvisning

Denna rapport är uppdelad i två delar och fem bilagor.

Den första delen innefattar

- en genomgång av principer och förutsättningar för solenergi,
- olika system för solenergi och
- trender inom området

³ Reviderat vid telefonmöte 2 oktober 2015, från 10-100 kW i ursprungsuppdraget

Den andra delen presenterar

- sex fallstudier,
- de sammanfattande lärdomarna och
- rekommendationer

I bilaga 1-5 presenteras frågetematet, de organisationer/personer som studien varit i kontakt med och några ytterligare detaljer av områden som beskrivs i rapporten.

2 System för solenergi

2.1 Allmänna principer för solenergi

Solceller omvandlar solljus till elektrisk energi. Framsidan av solcellen har ett metalliskt nät som samlar in strömmen. På cellens baksida är ytan täckt av ett ledande metallskikt. När solljus träffar solcellen uppstår en elektrisk spänning mellan cellens fram- och baksida. Denna spänning driver solcellens elektroner i en bestämd riktning och en ström uppstår. Den ström som solcellerna genererar är likström. En växelriktare (inverter) behövs därför för att omvandla den likström som produceras av solcellerna till växelström (230/400 volt). Växelriktare ser också till att solcellerna ligger vid den spänningsnivå där de ger störst effekt och fasar den producerade elen till elnätet (eller till batterier).

Om elnät saknas behövs även en laddningsregulator. Numera finns det kombinerade växelriktare/laddningsregulatorer som används direktkopplade till nät, kopplade till batterisystem, eller både och.

2.2 Olika typer av solceller

De tre vanligaste typerna av solceller är monokristallina-, polykristallina- och tunnfilms-solceller (tabell 1). De solcellsmoduler som idag är vanligast på marknaden har en verkningsgrad på ca 13 -16 %.⁴ Detta innebär att 13-16 % av den solenergi som träffar modulen omvandlas till el. Resten blir värme.⁵

⁴ Riktigt högkvalitativa kisel-solcellers verkningsgrad ligger emellertid på drygt 20 % (se avsnittet trender inom solenergi).

⁵ <http://solarlab.se/solpanel/solcell-fakta>

Tabell 1. I tabellen presenteras egenskaper för olika typer av solceller. Uppgifterna avseende verkningsgrad i tabellen baseras på Energimyndighetens uppgifter från 2009, för att möjliggöra en jämförelse mellan de olika solcellstyperna.⁶

Typ	Egenskaper
Poly-kristallina solceller	Polykristallina solceller är den vanligaste och än så länge billigaste typen (mätt i kronor per watt) av kommersiellt tillgängliga solceller. Polykristallina solceller är uppbyggda av block av kristaller som vanligen är mörkt blåspräckliga i färgen. De sätts samman i varierande storlekar till solpaneler. Verkningsgraden är ca 15 % (2009).
Mono-kristallina solceller	Monokristallina solceller består, till skillnad från polykristallina solceller, av enkristallblock. De har något högre verkningsgrad än polykristallina, då de är tagna från en mer renodlad och homogen typ av kristall. Priset per watt av monokristallina solceller är något högre än polykristallina solceller, då de kvalitetsmässigt är bättre och dyrare att framställa. Exempelvis är de något bättre när ljusförhållanden inte är optimala, då de är bättre på att alstra energi under molniga dagar. Färgen på kristallerna har en mörkare jämn blå-svart färg och de är mer homogena än de polykristallina. Den senaste generationens monokristallina solceller finns även i en böjbar (flexibel) variant. Verkningsgraden låg 2009 på ca 13-14 %.
Tunnsfilms-solceller	Solceller av tunnsfilmstyp (även kallade för amorfa solceller) består av ett bärande material som behandlats med kisel i gasform. Den mängd kisel som går åt minskar men tyvärr gör även effektiviteten det. Positivt är att man kan framställa delvis flexibla solpaneler på detta sätt. Tunnsfilmspaneler tenderar att tappa i kapacitet tidigare än kristallina solceller. Generellt har de en verkningsgrad på endast ca hälften än kristallina solceller, mellan 7-11 % (2009).

2.3 Olika storlekar på solcellssystem för fältbruk

Solcellslösningar för användning i fält kan variera stort, avseende både funktion och storlek. Temporära insatsers behov innefattar ofta att systemen ska vara mobila och gärna modulära i någon form. Nedan, samt i tabell 2, visas exempel på olika fristående, mobila solcellssystem och dess möjliga användningsområden i fält baserat på funktion.

⁶ Energimyndigheten 2009

Tabell 2. Olika fristående, mobila solcellssystem och dess möjliga användningsområden i fält⁷

System/Funktion	Allt i ett-lösningar	Resväsketyp	Mobila	Semi-stationära	Hybrid- system och Mikronät
Kommunikationsutrustning	x	x	x		
Inomhusbelysning	x	x			
Säkerhetssystem			x		x
Fältsjukhus		x	x	x	x
ICT	x	x	x		
Utomhusbelysning			x		x
Boende			x	x	x
Affär	x	x	x		
Skolor		x	x	x	
Vattenpump			x		
Telekommunikation		x	x		
Elfordon			x		
Hel camp			x	x	x

2.3.1 Små portabla set

Ett stort antal färdigförpackade små ”allt i ett”-lösningar inklusive ”ryggsäckslösningar” med olika typer av lampor (lyktor, ficklampor etc.), laddare etc. finns där alla komponenter är inkapslade (laddningskontrollenhet, batteri, solcell etc.) i ett integrerat paket (figur 1 a-d).⁸



Figur 1 a-d. Solficklampa, sol-lantern och solladdare för telefon och dator.^{9,10}

2.4 System av ”resväsketyp”

Flera modeller av lite större färdigförpackade lösningar som innehåller olika typer av integrerade solpaneler och ladd-moduler finns på marknaden för snabba insatser som genomförs med kort varsel (figur 2). Dessa kan expanderas och kopplas till andra typer av solcellslösningar och användas som en hybridlösning med generatorer och/eller vindturbiner.

⁷ Franceschi et al. 2014

⁸ Lightening Africa, 2010

⁹ Franceschi et al. 2014

¹⁰ UNDP 2014



Figur 2. Portabla solcellslösningar av resväske typ.¹¹

2.4.1 Mobila lösningar

Det finns färdiga system med solpaneler, ladd-moduler och generatorer som kan monteras på exempelvis ett släpfordon (figur 3). Systemet kan köras som en hybridlösning med generatorer och/eller vindturbiner eller kopplas till externa solpaneler.



Figur 3. Zerobase transporterbar släpkärre med solpaneler och batterier för energilagring.¹² Anpassningsbar för hybriddrift med vindturbiner och generatorer.

¹¹ Se <http://thezerobase.com/>

¹² Ibid

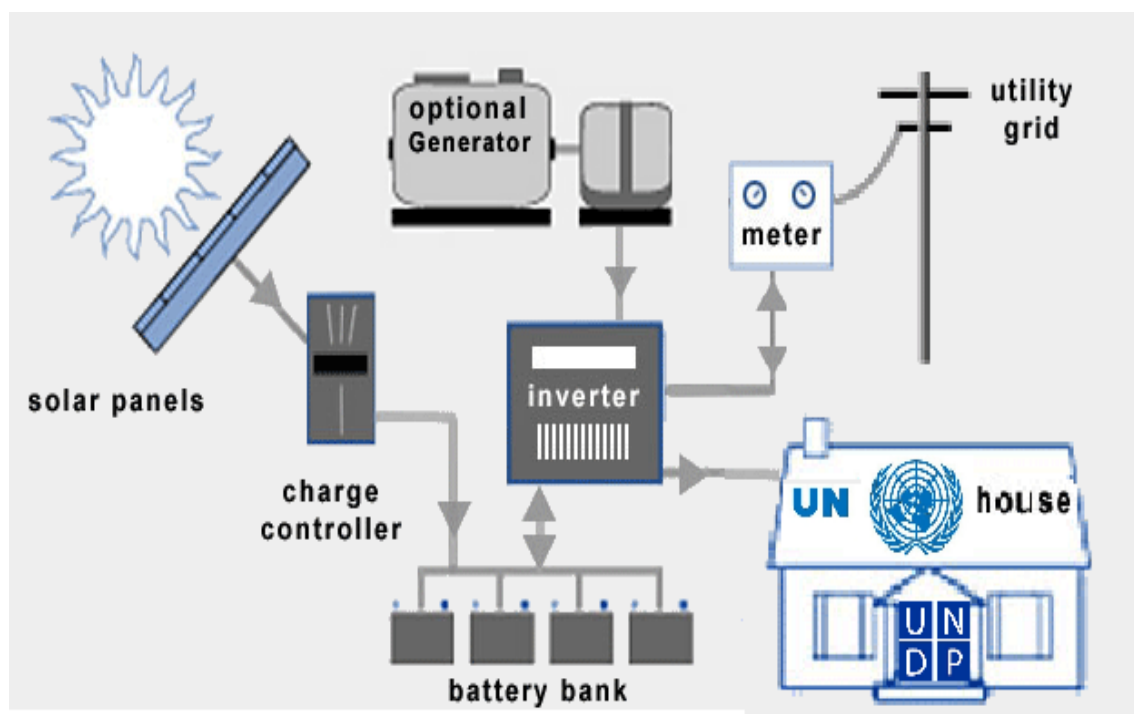
2.4.2 Stationära/semistationära lösningar

System som designas och byggs ihop som unika konfigurationer beroende på förutsättningarna på platsen finns också på marknaden. Dessa designas efter efterfrågad kW-kapacitet och behov att lagra producerad energi i batterier. Denna typ av system innebär en högre initial investeringskostnad och bättre teknisk förkunskap än de övriga system och kräver en mer avancerad planering för att få en rimlig återbetalningstid.¹³

2.4.3 Hybridsystem och mikronät

Det går bra att kombinera solpaneler med olika typer av energilösningar, t.ex. vind, dieselgeneratorer, småskalig vattenkraft och/eller biogas etc. (s.k. hybridsystem, se figur 4). Fördelen med det är bl.a. att systemet blir mindre sårbart för variationer i solproducerade el.

Några av de vanligast förekommande kombinationerna är fristående solpaneler kopplade till elnätet, kombinationslösning med sol och vind, solpaneler med batteribackup och avbrottsfri elförsörjning¹⁴, med eller utan anslutning till lokalt elnät, mikronät eller generatorer.



Figur 4. En hybridlösning med solenergi och batterier kopplat till elnätet samt med generator som backup.¹⁵

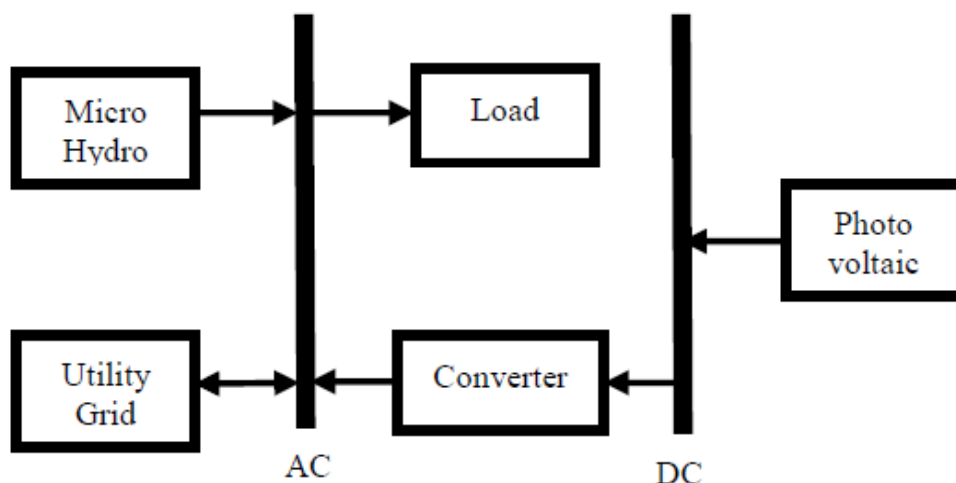
Intresset för s.k. mikronät (mikrogrid), d.v.s. lokal elproduktion med förberedda möjligheter för inkoppling av olika kraftlevererande energikällor i självständiga system ökar i takt med ökad användning av förnyelsebar elproduktion. Till systemet kan olika typer av förnyelsebara energikällor kopplas, vilket ökar stabiliteten i systemet (figur 5).¹⁶

¹³ Return on Investment, ROI

¹⁴ UPS, Uninterrupted Power Supply

¹⁵ UNDP, 2015a

¹⁶ IEC (2014)



Figur 5. Exempel på ett hybridsystem med mikronät kombinerat med solenergi och mikrovattenkraft.¹⁷

Ett mjukvaruprogram, HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*), för att modellera och simulera olika utfall i hybridsystem och mikronät förefaller användas av flera aktörer, inklusive amerikanska NASA.^{18,19,20,21}

2.5 Montering och uttag av energi

Solpaneler kan monteras på tak, väggar eller på marken samt integreras i skuggning och olika textila material som markiser. Generellt är takmonterade system att föredra av utrymmesskäl, vilket medför mindre risk för skador och skuggning av panelerna. Å andra sidan är markmonterade system lättare att underhålla och skala upp om utrymme finns.

Om ett befintligt elnät finns kan den el som produceras av solcellerna matas ut på elnätet via växelriktaren (figur 6). När solcellerna inte producerar elektrisk energi tas elbehovet från nätet. Där det inte finns tillgång till ett elnät matas elen från solcellmodulerna via växelriktaren och en laddningsregulator till en batteribank (figur 7).



Figur 6. Exempel på ett nätanslutet system. Eventuellt överskott leds ut på elnätet.²²

¹⁷ Nazira et al, 2014

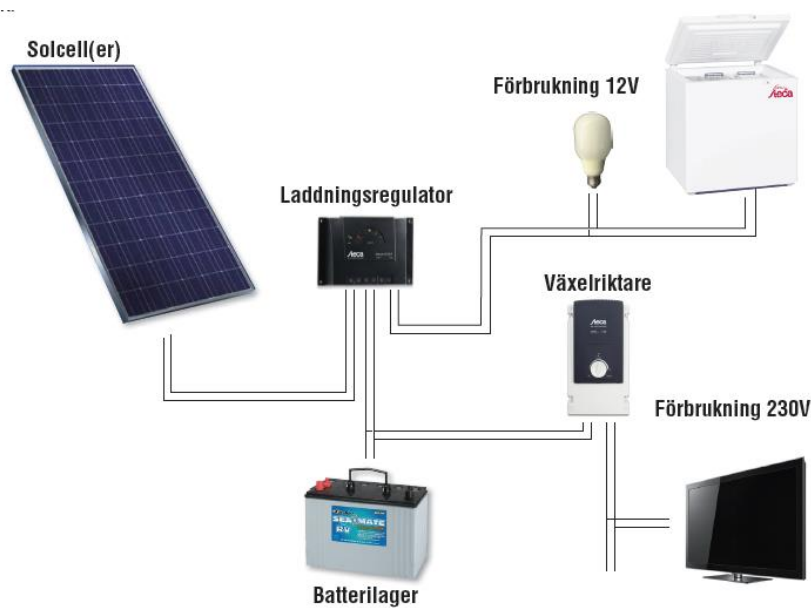
¹⁸ National Aeronautics and Space Administration

¹⁹ Rehman och Al-Hadhrami, 2010

²⁰ Se <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/homer.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

²¹ Se <http://www.homerenergy.com/>

²² Sol & Energiteknik SE AB, 2013



Figur 7. Exempel på ett fristående system. Installeras vanligen där elnät saknas. Överskottsproduktion av el kan lagras i en batteribank.²³

2.6 Centraliserade styrenheter

Easysolar från Victron Energy är ett exempel på en centraliserad styrenhet som kan hantera alla typer av laster. Den kombinerar en MPPT (Maximum Power Point Tracking) solcellsladdningsregulator, en växelriktare/laddare och växelströmsdistribution i en och samma enhet. Enheten är enligt tillverkaren lätt att installera med ett minimum av ledningsdragning. Enheten kan levereras i olika storlekar. *Easysolar* har använts i olika klimat som Himalaya, norra Finland och Afrika. De batterier som används är oftast olika typer av bly-syrabatterier (AGM/GEL), men även Lithiumjon-batterier har testats. Enheten kan kopplas till alla typer av solpaneler. Till företagets kunder hör flera europeiska försvarsmakter, FN och humanitära frivilligorganisationer.^{24, 25}

2.7 Energilagring

Energilagring förväntas bli en viktig del av framtidens elsystem, inte minst för att hantera en allt större andel väderberoende kraftproduktion som vind- och solenergi. Energilagring kan ske genom mekanisk, elektrisk, elektrokemisk och kemisk lagring. De vanligast förekommande teknikerna för energilagring är idag pumpvattenkraft, batterier, tryckluft och svängjuls-lagring.²⁶ För solenergi är batterier vanligast och detta är också den teknik där utvecklingen sker absolut snabbast (se tabell 3).

Det finns ett antal olika batterityper som används tillsammans med solpaneler för att ackumulera (lagra) energi för senare användning. Olika batterier är olika känsliga för klimat, laddningshistorik (uppladdning/urladdning), förvaring och användning. Den största utmaningen för batterier är dock kostnaden, även om denna förväntas minska signifikant under de närmaste tio åren, framför allt p.g.a. skalfördelar och teknisk innovation.

²³ Ibid

²⁴ Se <http://www.victronenergy.se/inverters-chargers/easysolar>

²⁵ Kommunikation med Niels Kaarill, Victron Energy

²⁶ IVA, 2015

Viktiga egenskaper hos batterier är hur fort batteriet kan laddas ur (urladdningshastighet), hur djupt batteriet laddas ur, d.v.s. hur mycket av totalkapaciteten man utnyttjar i cyklisk drift, (urladdningsdjup) och antalet urladdningscykler under en livstid.

Tabell 3. Olika typer av batterier för energilagring ^{27,28,29}

Typ	Egenskaper
Blysyra-batterier	Konventionella blysyrabatterier, eller "våta" batterier, är de vanligaste i solenergisystem. De finns tillgängliga i nästan hela världen till ett lågt pris. De har relativt lång livslängd och ger således en låg kostnad per amperetimme. Det finns vidare återvinningssystem etablerade för denna typ av batteri. Livslängden varierar dock stort beroende på applikation, urladdningshastighet och antalet urladdningscykler. Vissa typer har ett förhållandevis lågt urladdningsdjup (mindre än 20 %), lågt antal livscyklar (mindre än 500) och kort livslängd (3–4 år). En annan nackdel är att de kräver förhållandevis mycket underhåll. De utgör farligt gods vid transport med flyg.
GEL-batterier	GEL-batterier (bly-syra) har sin syra i gel-form. GEL-batterier är tåliga mot djupurladdningar. Vissa typer räknas som farligt gods vid transport med flyg.
AGM (Absorbed Glass Mat)	AGM, eller "torra" batterier, som de också kallas, är det senaste steget i utvecklingen av bly-syra-batterier. Istället för vatten eller gel finns en glasfiberfyllning som håller elektrolyten på plats. AGM-batterierna är dyrare än vanliga blysyrabatterier men har högre kapacitet och laddas fortare. De tål extrema temperaturer (kyla/värme) och vibrationer. De bör inte laddas ut mer än 50-60 % då det finns risk för sulfation av cellerna. Vissa typer tål dock att laddas ur till 80 %. De får transporteras med flyg (ej farligt gods).
Nickel-kadmium (Ni-Cd)	NiCd-batterier är robusta, har lång livslängd, laddas snabbt och tål extrema temperaturer. Kadmium är dock ett giftigt ämne, som är under urfasning i de flesta användningsområden. Dessa batterier får transporteras med flyg (ej farligt gods).
Lithium-jon-batterier	Litium-jonbatterier är en grupp batterisystem med olika kemiska sammansättningar, där battericellens lagrade energi utvinns genom att litiumjoner rör sig mellan elektroderna i batteriet. Litium-jonbatterierna har en hög energidensitet och urladdningshastighet jämfört med andra batterier. Detta gör att de är yteffektiva och prestandan förbättras kontinuerligt. De har en hög verkningsgrad (80–90 %). Till nackdelarna hör en relativt låg laddnings-/urladdningsström. En av de största utmaningarna är säkerheten. En annan nackdel är att drifttiden endast är 2-5 år (beroende på användning och yttre faktorer) och att de är känsliga för kyla och värme. Batterierna har hög energidensitet, litiums brännbarhet och innehållet av syre gör att de kan överhettas och börja brinna. De utgör farligt gods vid transport med flyg.
Lithium-polymer-batterier	Litium-polymerbatterier är en vidareutveckling av litium-jonbatterier och har därför snarlika egenskaper och prestanda. Det som tekniskt sett skiljer dessa varianter av samma batterityp från varandra är bl.a. att cellkannen som innesluter elektroderna, separatorn och elektrolyten i ett litiumi-polymer-batteri består av en tunn, mjuk, plastisolerad aluminiumfolie. Detta ger lägre vikt och möjlighet till tunnare batterier. Elektrolyten i ett litiumi-polymer-batteri är normalt i gel- eller trögflytande form. En fördel med litiumi-polymerbatterier, förutom den tunna formfaktorn, är att det är relativt enkelt, kostnadseffektivt och snabbt att tillverka dessa i kundanpassade storlekar. I och med att cellkannen är av en tunn folie kan inte ett farligt högt tryck byggas upp i cellen. I stället buktar cellkannen ut om gasbildning sker. Om trycket blir för högt läcker gasen ut genom foliens skarvar. Cellerna behöver därför inte någon separat säkerhetsventil. De utgör farligt gods vid transport med flyg.

²⁷ IRENA, 2015

²⁸ IVA, 2015

²⁹ Se <http://batteryuniversity.com/>

3 Förutsättningar för solenergi

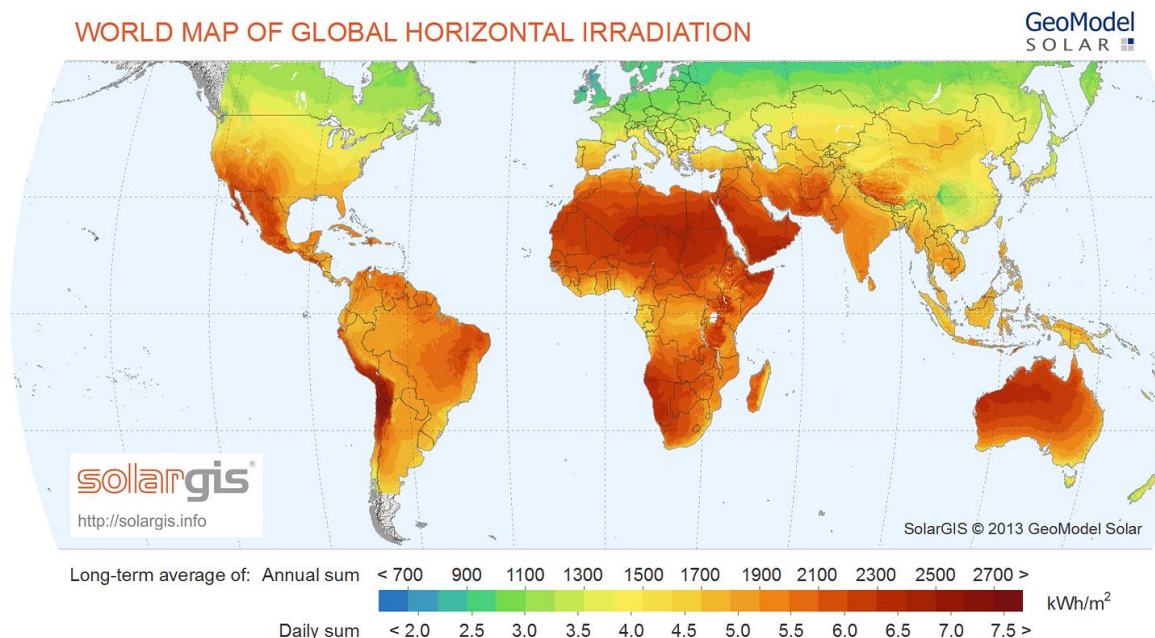
Det finns många faktorer som inverkar på hur framgångsrik en solenergi-lösning blir i praktiken. Detta avsnitt beskriver några inverkanse parametrar.

3.1 Solinstrålning

Solinstrålningen, d.v.s. den solenergi som når en given yta under en given tidsrymd på den aktuella platsen, är en av de faktorer som påverkar val av energilösning, val av solfångare och dess placering är andra faktorer som påverkar.

Solinstrålningen kan vara direkt eller diffus. Den direkta instrålningen minskar i atmosfären genom moln och partiklar. När himlen är helt molntäckt är all instrålning diffus. Även den diffusa solinstrålningen innehåller energi, vilket gör att det är möjligt att ta tillvara solinstrålningen även en molnig dag. Ett vanligt mått på energin från solinstrålningen är kWh/m² per år eller dag.

Solinstrålningen varierar mycket med geografisk plats på jorden (se figur 8). Det finns olika databaser där solinstrålningen på olika platser kan studeras.³⁰



Figur 8. Genomsnittlig årlig solinstrålning på olika platser på jorden.³¹

3.2 Klimat och meteorologiska data

Klimatet inklusive temperatur (min/max), antal soltimmar, nederbörd etc. är viktigt att ta hänsyn till. I bilaga 4 visas exempel på uppgifter som kan fås från en, av flera likande, väderportaler på Internet.³² Det amerikanska NASA har också meteorologiska data som kan laddas ner för olika platser och klimat.³³

³⁰ Se t.ex. <http://solargis.info/>

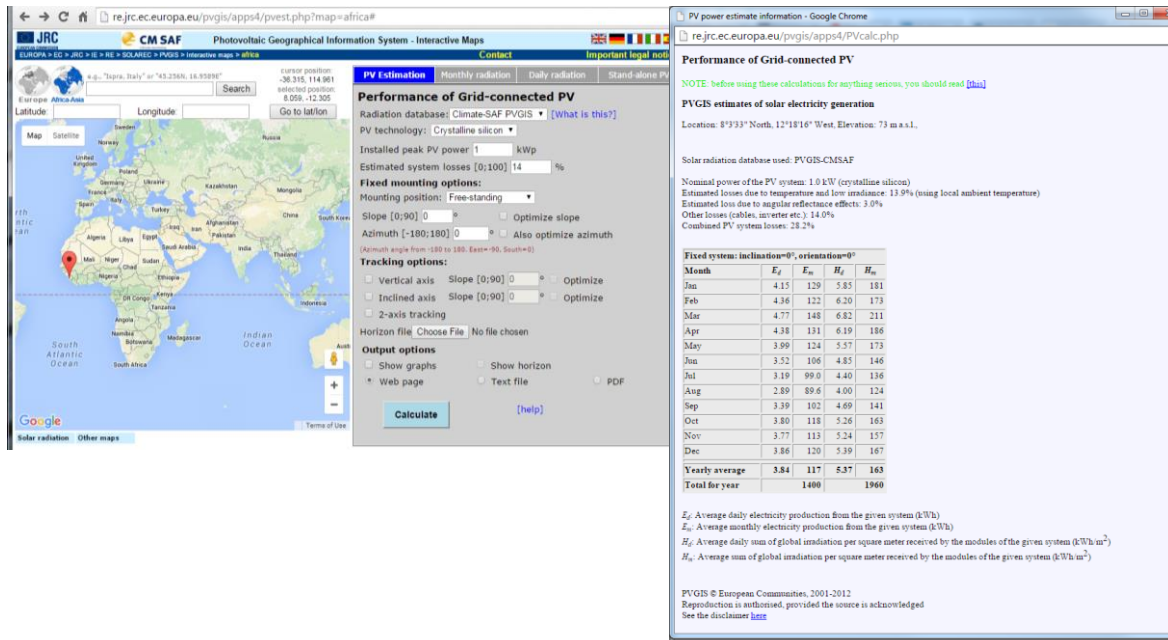
³¹ Se http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png

³² Se t.ex. <https://weather-and-climate.com/>

³³ Se <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

3.3 Potential för solenergi

Val av solenergisystem beror också av vilken potential solenergi kan ha på den aktuella platsen. Europeiska Unionens Joint Research Centre (EU JRC) har tagit fram ett beräkningsverktyg (*PV performance calculator*) för att uppskatta detta (figur 9 a och b).^{34,35}



Figur 9a (vänster). Skärmdump av ett beräkningsverktyg för solcellers prestanda där aktuella data om systemet matas in³⁶ och 9b (höger) redovisning av beräknad prestanda för det aktuella systemet.

Vidare bör hänsyn tas till den s.k. kapacitetsfaktorn för olika lösningar. Med det menas utnyttjandegraden, eller den verkliga elproduktionen i förhållande till den teoretiskt möjliga om man producerar el med full effekt under årets alla timmar.

Kapacitetsfaktor = (energiproduktion under ett år)/(installerad effekt x 8760 timmar).

Om en solcellsanläggning producerar 1 000 kWh/kW blir kapacitetsfaktorn

$$1000/(1 \times 8760) = 11,4\%.$$

En tumregel är att solceller producerar 800 – 1 100 kWh/kW per år i Sverige under ett år med normal solinstrålning. Kapacitetsfaktorn blir då 9,1-12,6 %.

³⁴ Se http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/about_pvgis/about_pvgis.htm

³⁵ Amillo et al, 2014

³⁶ Se <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa#>

3.4 Beteendeförändring

Det har visat sig att det för att uppnå varaktig framgång med solcellsprojekt och andra projekt som innefattar alternativa energikällor, energibesparing etc. inte räcker med endast tekniska lösningar. En ökad medvetenhet/beteendeförändring hos den personal som använder systemet krävs också.

NATOs Center of Excellence for Energy Security har genomfört olika aktiviteter, inklusive Advanced Research Workshops (ARW), på temat energi och beteendeförändring (*Enhancing Energy Efficiency in NATO through behaviour change*). Ett projekt inom ramen för NATO:s Science For Peace and Security Programme planeras också, där fallstudier över beteende och medvetandegörandes inverkan på energieffektivitet kommer att studeras.

4 Att planera och dimensionera sin energilösning

4.1 Planering

En viktig del av planeringen är en platsundersökning, där det bedöms hur stort tillgängligt utrymme som finns för solpaneler, och om en mark- eller takmonterad lösning är mest optimal. Det måste planeras för utrymme för växelriktare, ladd-kontrollenhet och eventuell batteribank. Risken för skuggning av solcellsinstallationen från byggnader och/eller träd bör också dokumenteras och förberedas för de el-dragningar som krävs. FNs utvecklingsprogram UNDP³⁷ har utvecklat en självinstruerande instruktion för dokumentering av en platsundersökning³⁸

4.2 Beräkning av energibehov

Behovet av el-energi måste uppskattas för att man ska kunna bedöma hur lämplig en solcellsinvestering är. En beräkning av vilken utrustning som kräver el samt hur mycket och hur många timmar per dag som respektive enhet/utrustning används/kräver energi för bör därför göras (tabell 4). En inventering av alla typer och antal funktioner som förbrukar el bör göras, dess effektivitet med avseende på elförbrukning, elektriska behov, behov av backup-system etc. En självinstruerande checklista för ändamålet finns framtagna av UNDP.³⁹

Tabell 4. Exempel på dokumentation över hur många timmar per dag som respektive enhet/utrustning används/kräver energi.⁴⁰

Power Load balancing							
	Items	Number of Power Supplies	Power Supply Output Rating (W)	Input Power Range (AC/ DC)	kWh	Hours used	Minutes used
Location							
Peripherals							
Other							
TOTAL (Watts)							

³⁷ United Nations Development Programme

³⁸ UNDP, 2015b

³⁹ UNDP, 2015e

⁴⁰ UNDP, 2015c

4.3 Riskbedömning

Investeringskostnader för solenergi kan vara ganska omfattande. En riskbedömning kan vara lämplig att genomföra för att försöka förutse de största riskerna och hur de kan minimeras. En generell riskbedömning bör innefatta bl.a. sannolikhet och konsekvenser av eventuella felaktiga installationer, fluktuationer i elnätet, klimat- och väderförhållanden, utrymmesbrist, förmågan hos takinstruktioner att bära tyngden på solpanelerna, felaktig batteriförvaring och felaktigt beräknade effektprofiler. Vidare kan projektrisker uppstå som riskerar att försena eller i värsta fall göra projektet ogenomförbart.

Ett exempel på en riskbedömning visas i bilaga 2.

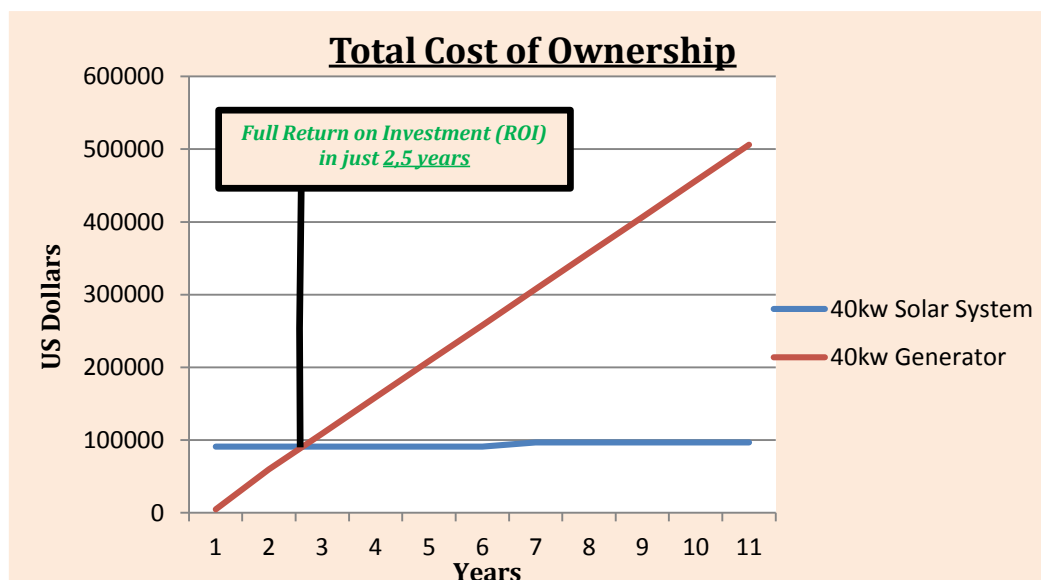
4.4 Kostnadsjämförelse

Jämfört med solenergi är anskaffningskostnaden för generatordriven energiproduktion låg och driftkostnaden hög. För solenergi är situationen den motsatta, även om trenden är att det blir billigare med solenergi (se avsnittet om trender).

Kostnaden för generatorer kan delas upp i direkta och indirekta kostnader. Till de direkta kostnaderna hör priset på själva generatoren, diesel, transport- och lagringskostnader. Ju mer riskfylld del av världen, desto högre är kostnaderna.

Indirekta kostnader kan innebära säkerhetsåtgärder för att transportera bränsle. Detta har framför allt varit ett problem för militära och fredsfrämjande styrkor, men säkerhetssituationen för humanitära organisationer har på senare år också försämrats. Ett exempel från Afghanistan visade att priset per liter diesel ökade med 100 USD per liter p.g.a. säkerhetsåtgärder och risk för dieselstölder i samband med transport och förvaring.

I figur 10 nedan visas ett räkneexempel från UNDP avseende den totala kostnaden (i USD) för en diesel-hybridlösning utslaget på 11 år. Solcellslösningen har en högre initial kostnad, men kostnaden planar ut eftersom generatoren är kostsammare att driva. Systemet i exemplet fick således en återbetalningstid⁴¹ på 2,5 år. Enligt UNDPs beräkningar är kostnaden för att driva en generator 8 timmar per dag ca 150 USD.



Figur 10. Den totala kostnaden (i USD) för UNDPs diesel-hybridlösning i Liberia utslaget på 11 år gav en återbetalningstid på 2,5 år. Investeringskostnaden för solpanelerna och generatorerna ingår inte i kalkylen.

⁴¹ Return on Investment, ROI

Ett annat exempel på en kostnadsjämförelse är en studie genomförd av the United States Military Academy (West Point) som visade att de testade solcellslösningarna (som en del i ett diesel-solhybridsystem) var lönsamma för dieselpriiser över 1 USD per liter (7,57 USD/gallon).^{42,43}

Ett tredje exempel är en studie över lönsamheten för energieffektivisering av FNs fredsfrämjande, där återbetalningstider för energieffektivare camper på mellan 9 månader till 4 år beräknades. Inverkande faktorer som togs i beaktande var, förutom dieselpriiser, logistikkedjan inklusive typ av och kostnad för transport och lagring av bränsle.⁴⁴

I länder där elproduktionen sköts av privata aktörer som använder diesel för elproduktion blir elpriserna ofta höga. I Somalia var elpriserna under 2013 t.ex. bland de högsta i Afrika med mellan 1-1,4 USD per kWh producerad el. I regioner med en liknande kostnadsbild för att erhålla el från nätet finns goda förutsättningar för att decentraliserade sol-diesel-hybridsystem snabbt kan bli lönsamma.⁴⁵ I bilaga 3 visas ett räkneexempel avseende kostnader för diesel och solenergi för UNDPs solcellsinvestering i Västafrika.

⁴² Severson & Leger, 2013

⁴³ Denna siffra inbegriper inte den s.k. Fylly Burden Cost of Fuel (FBCF), d.v.s. den totala kostnaden för bränslet inklusive transporten till platsen för användning, som kan vara så hög som 600 USD/gallon.

⁴⁴ Liljedahl et al., 2009

⁴⁵ Lahn & Grafham, 2015

4.5 Miljöaspekter

Förutom de positiva egenskaperna finns det miljöaspekter att förhålla sig till såväl vid produktion, användning som avveckling av solpaneler och livscykelanalyser finns framtagna för solceller.

Generellt är produktion av solpaneler energiintensiv. Återbetalningstiden för förbrukad energi i tillverkningen återges ofta till mellan två till fem år med klimatpåverkan på 50 g CO₂-eq/kWh för monokristallina paneler och 75 g CO₂-eq/kWh för polykristallina paneler. Tekniska framsteg minskar kontinuerligt energikonsumtionen vid tillverkningen och dessa siffror går stadigt nedåt.

Förutom kisel används olika metaller i tillverkningsprocessen för att solcellen ska fungera optimalt. Om dessa solceller produceras i moderna fabriker kan avfall praktiskt taget undvikas, men så är inte alltid fallet, varken på en global skala eller generellt. Den vanligaste icke-kiselbaserade solcellstekniken är tunnfilmssolceller. Dessa består huvudsakligen av plast som täcks med lager av halvledande metaller eller halvmetaller såsom kadmium, indium, gallium och tellur. Vissa metaller eller halvmetaller är toxiska.

Tunnfilmssolceller är lättare än de kiselbaserade solcellerna och kräver därför mindre material. På så sätt blir miljöpåverkan för tunnfilmssolcellerna i produktionsfasen mindre, men tunnfilmssolcellerna har en lägre effektivitet och producerar på så sätt mindre el under sin livstid än de kiselbaserade solcellerna. Sett över solcellernas hela livstid tas därför den minskade miljöpåverkan p.g.a. mindre materialåtgång ut av den lägre effektiviteten. Ytterligare miljöpåverkan under drift från tunnfilmssolceller är läckage av toxiska ämnen från själva solcellen och utsläpp av kvävetrifluorid vid rengöring av halvledarkomponenterna.

Vid installation av solceller tas yta i anspråk. Om ytan är lokaliserad på tak eller väggar av byggnader ger det en minimal påverkan på markanvändning. Under drift består det huvudsakliga underhållet av rengöring (t.ex. från damm). Om solcellerna är placerade på en avlägsen plats kan transporter till och från platsen bidra till utsläpp av koldioxid, kvävedioxid, svaveldioxid och partiklar (s.k. energiemissioner).⁴⁶

Inverkan på miljön från demontering av solceller är idag relativt okänd. Då tillgången på visst material som används i solceller är begränsad är det viktigt att återvinna dem.

Återvinning av materialen i solcellerna tros kunna ske utan att dessa toxiska emissioner genereras.

Förutsättningarna för en miljömässigt acceptabel återvinning i fältmiljö kan dock väntas vara begränsad.

År 2010 etablerades PV Cycle, en sammanslutning av solcellstillverkare för återvinning av solpaneler. EU:s direktiv om insamling och återvinning av elektriska och elektroniska produkter (WEEE), från

Generatorer

Dieseldrivna generatorer är det idag vanligaste sättet att försörja insatser med elenergi. Generatorerna opererar dock sällan i sin fulla kapacitet. Där det inte finns något nationellt elnät att förlita sig på och man därför måste vara självförsörjande vad gäller energi är det lätt att överdimensionera sina generatorer för att vara säkra på att få den el och energi man behöver. Exempelvis dimensionerar den amerikanska marinkåren sitt val av generatorer efter den totala maxeffekten på alla kända system och väljer sedan generatorer som kan producera 80 % av den totala beräknade belastningen.

Om belastningen från all utrustning var konstant skulle det inte vara något problem att dimensionera rätt storlek på generatorerna. Det har dock visat sig att belastningen i fält varierar under såväl ett dygn som över ett år.

Generatorer som belastas för lågt innebär emellertid flera problem, bl.a. ineffektivt bränsleutnyttjande, ökat behov av underhåll av generatorerna och förkortad livslängd.

Ett sätt att minska detta problem är att utöka systemet med energilagring i form av exempelvis batterier. Batterierna möjliggör att generatorerna konstant kan drivas på topp-effekt (*peak performance*). När batterierna laddats upp kan generatorerna stängas av och batterierna driva systemen tills de urladdats till en viss nivå varvid generatorerna slås på igen. På så vis kan generatorerna belastas på optimal effektnivå, vilket minimerar bränsleåtgången och gör att behovet av underhåll minskar samt förlänger dess livslängd.

⁴⁶ Naturvårdsverket 2010

2012, kräver vidare att solcellstillverkare ska påverka och återvinna minst 85 % av solpanelerna. Vissa företag har återvinningsmöjligheter för olika komponenter i solpanelerna med upp till 95 % återvinning av halvledarmaterial och 90 % av glasmaterialet.

I valet av batterier för energilagring spelar möjligheten till återvinning också en stor roll. För bly-syrabatterier finns återvinningsprocesser, men för de nya batterityperna saknas dessa i stor utsträckning. Det omfattande utvecklingsarbetet avseende batterier innebär att det kan vara svårt att veta vilka materialkombinationer som kommer att finnas på marknaden i framtiden. Det kan vara bättre att använda en sällsynt metall som är enkel att recirkulera än en med god förekomst som ger negativ miljöpåverkan och kanske är svår att utvinna.⁴⁷

5 Trender inom solenergi

Sedan år 2010 har kapaciteten för solenergi ökat mer i världen än de fyra senaste decennierna tillsammans. I slutet av 2014 var den globala produktionskapaciteten närmare 200 GW. Solenergi blir allt vanligare såväl i industrialiserade länder som i utvecklingsländer.

I Indien finns exempelvis världens första flygplats som till 100 % drivs med solenergi⁴⁸ och i Nepal anskaffade 80 % av flyktingar från Bhutan, i två flyktingläger i sydöstra Nepal, själva solpaneler och delade erfarenheter om vad som fungerar och inte.⁴⁹ I Afrika ökar vidare trenden med PAYG (Pay as you go) solenergi.

Tekniska framsteg minskar kontinuerligt energikonsumtionen och koldioxidutsläpp vid tillverkning. Kina har utvecklats till en global aktör inom solenergi och priserna har sjunkit avsevärt för solenergisystem. Detsamma gäller för batterier och LED-belysning. Det uppskattas att solenergi år 2050 kommer att stå för åtminstone 16 % av den globala energiproduktionen.⁵⁰

Högkvalitativa kisel-solcellers verkningsgrad ligger idag på drygt 20 %.⁵¹ Det finns en strävan att tillverka solpaneler med högre verkningsgrad, och forskning indikerar att tandemceller av kisel och något annat, billigt, foto-voltaiskt material är ett kostnadseffektivt sätt att åstadkomma detta.

Perovskiter är en grupp keramer av (kalciumtitanoxidmineral). Perovskiter brukar kallas för oorganiska kameleonten, eftersom de är mycket flexibla och kan anta olika former beroende på sin omgivning. Försök vid Stanford University i USA med att placera en perovskitsolcell (med verkningsgraden 12,7 %) ovanpå en lågkvalitativ kisel-solcell (med verkningsgraden 11,4 %) höjde den totala verkningsgraden till 17 %.^{52, 53}

Genom att haka fast solceller i varandra till s.k. tandemsolceller kan man alltså få en kombinerad solcell med avsevärt högre effektivitet när det gäller att omvandla solenergi till el. Anledningen till att kombinerade solceller är mer effektiva än solceller i ett skikt, är att det översta lagret är halvtransparent och effektivt omvandlar högenergifotoner till energi medan det undre lagret tar vara på de återstående lågenergifotonerna för optimal energiomvandling. Perovskit-mineralet behöver bara hettas upp till 50 °C i processen, vilket gör det möjligt att till låg kostnad tillverka solcellerna.⁵⁴ Frågan om perovskiternas långsiktiga stabilitet är dock inte helt utredd.

Flera forskargrupper försöker utveckla solceller med svart kisel. Svart kisel fångar fotoner mer effektivt än i vanliga kiselskivor, som reflekterar en stor del av det infallande ljuset. Dessutom absorberas infrarött ljus. En utmaning är emellertid att få ut elektronerna som frigörs i det svarta kiset. Ett finskt universitet har ökat verkningsgraden av en solcell av svart kisel till 22,1 % genom att leda ut

⁴⁷ Se <http://www.pvcycle.org/>

⁴⁸ Upadhyay 2015

⁴⁹ UNHCR 2015

⁵⁰ IEA 2014

⁵¹ Företaget Sunpower har tagit fram en solpanel med verkningsgraden 21,5 %

⁵² Harnesk 2015

⁵³ Baile et al. 2015

⁵⁴ Mathis 2015

elektronerna med en tunn aluminiumfilm som följer kislets struktur. Tekniken måste dock skalas upp rejält innan den kan nå marknaden.^{55,56}

På senare år har kapacitetsfaktorn för sol och vind i relation till icke förnyelsebar energi ökat, eftersom marginalkostnaden av varje producerad watt ökar med tiden för sol- och vindenergi, medan det motsatta råder för icke förnyelsebar energi.⁵⁷

Behoven av att kunna lagra energi i förnyelsebara energisystem ökar i betydelse och utvecklingen inom energilagring går snabbt. Marknaden för energilagring är dock ännu relativt begränsad, men fler tekniker förväntas uppnå kommersiellt stadium de närmaste åren.^{58 59}

Företaget Tesla Motors har som målsättning att skynda på världens övergång till hållbara transporter. Med planerad tillverkningshastighet på 500 000 elbilar om året kommer Tesla ensamt att behöva hela världens produktion av litium-jonbatterier år 2020. Därför byggs Tesla Gigafactory för att kunna leverera tillräckligt många batterier för att det förväntade behovet.⁶⁰

Tesla lanserade i maj 2015 sitt hemmabatteri Tesla Powerwall och det industriella batteriet Tesla Power block. Dessa litium-jonbatterier säljs för 3500 USD och har lagringskapaciteten 10 kWh. Detta motsvarar ett pris på 350 USD/kWh respektive 250 USD/kWh.⁶¹

I samarbete med olika strategiska partners planerar Gigafactory att tillverka batterier till en avsevärt lägre kostnad, tack vare stordriftsfördelar, innovativ tillverkning, minskad avfallshantering och den optimering som följer av att större delen av tillverkningsprocessen är samlad under samma tak. Kostnaden per kWh för batterier förväntas kunna sänkas med över 30 %. Gigafactory kommer också att drivas med förnybara energikällor, med målsättningen att eliminera underskott i energibalansen.^{62, 63}

6 Resultat från fallstudier

I de fallstudier som redovisas nedan ligger solpanelsystemen i intervallet 1-48 kW. Större system för fältbruk kan förekomma, men har inte identifieras inom ramen för denna studie. Vidare diskuteras i förekommande fall mindre portabla lösningar (i W-storlek) samt hybridssystem (generator drift/vind).

De geografiska regioner som studerats täcker in tropiskt savannklimat DRK och Sydsudan, tropiskt regnrikt klimat med monsunregn (Sierra Leone), lokalt stäppklimat (Afghanistan) och polarklimat tundra (kanadensiska Arktis).

Tabell 5. Sammanfattning av studerade fall, systemets storlek samt klimattyp.

Aktör	UNDP	Kanadensiska armén	Holländska armén	WFP/MSB	UNMISS	USAs försvarsdepartement
Plats	Sierra Leone	Arktis	Afghanistan	DRK	Sydsudan	Varierande platser
Storlek	48 kW och små portabla	1,2 kW	40 kW	3 kW	1,04 W	Från 60 W (små portabla) till 28,2 kW
Klimat	Tropiskt regnrikt klimat	Polarklimat	Lokalt stäppklimat	Tropiskt savann klimat	Tropiskt savann klimat	Varierande

⁵⁵ von Schultz 2015

⁵⁶ Savin 2015

⁵⁷ Blomberg Business 2015

⁵⁸ <https://www.mpower.com.au/blog/2015/12/01/market-for-energy-storage-systems-set-for-growth>

⁵⁹ IVA 2015

⁶⁰ Namnet Gigafactory kommer från fabriken planerade årliga batteritillverkningskapacitet på 35 gigawattimmar (GWh). Prefixet "giga" står för miljard. En GWh motsvarar alltså att man genererar (eller förbrukar) en miljard watt under en timme

⁶¹ Se https://www.teslamotors.com/sv_SE/POWERWALL

⁶² Se https://www.teslamotors.com/sv_SE/gigafactory

⁶³ Mooney 2015

6.1 UNDP- Sierra Leone (Freetown)

Kontakt: Gerald Demeules, Global ICT Advisor, Office of Information Systems & Technology/Bureau of Management

Kategori: Tropiskt regnrikt klimat med monsunregn (*Köppens klimattyp Am*)⁶⁴. Rik nederbörd året om med en kort torrperiod. Medeltemperaturen är 26,2 °C och medelvärdet för nederbörd är 3657 mm. Det system som installerades var ett energilagrande system på 48 kW.

6.1.1 Bakgrund

UNDP:s solcellsprojekt i Sierra Leone⁶⁵ kom till som en del i responsen avseende Ebola-utbrottet i Västafrika. Utbrottet påverkade bl.a. bränsleimporten till de drabbade länderna, vilket påverkade UNDP:s verksamhet. Installation av solpaneler vid landkontoret i Sierra Leone syftade vid denna tid till att förse kontoret med tillförlitlig elförsörjning för att säkra kommunikation med UNDP:s högkvarter, lokala samarbetspartners och för att stödja det lokala ICT-teamet. Med en stadigvarande verksamhet avses på sikt alternativa energikällor försörja verksamheten så långt möjligt.

6.1.2 Planering

Eftersom solcellsprojektet initierades under Ebola-utbrottet var tid för planering och driftsättning knapp. Flera misstag begicks, som man lärt av för att förbättra kommande solcellsprojekt (se lärdomar).

Systemet (figur 11-15) installerades i januari 2015 av det danska företaget GSOL.⁶⁶

⁶⁴ Köppens system för klimatklassifikation

⁶⁵ Samt Guinea och Liberia

⁶⁶ Se <http://www.gsol.dk/en/>

6.1.3 System

Tabell 6. Systemet som installerades vid UNDPs landkontor i Sierra Leone

Utrustning	Beskrivning
Storlek	48 kW (har även erfarenhet av system kring 10kW)
Solpaneler	Monokristallina solpaneler á 250 W per panel. 192 enheter (116 på kantinen och 72 på gymbyggnaden) = 48 KW. (4 paneler i reserv förvarades i batterirum.)
Växelriktare	On-grid Inverter
Laddkontrollenhet	Victron Quattro 10 kVA, Fronius Symo
Batterier	Blysyrabatterier
Grid	Ja
Generatorer	Generatorer för backup när det regnar och för laddning av batteribanken nattetid.
Ytterligare alternativ energigenerering	Nej
Transport	Med båt
Montering	Monterade på P400-profiler ⁶⁷
Övervakning	Power Consumption Measuring and Monitoring (PCMM) Unit från Victron. PCMM mäter spänning (volt) och strömstyrka (ampere) och beräknar energiproduktion och energianvändning (W/kWh).
Övrigt	Solradio, sollanterner, mindre stand alone-enheter för elproduktion



Figur 11. Installation av solpaneler på kantinebyggnaden.⁶⁸

⁶⁷ Se http://www.fischeritalia.it/wp-content/uploads/2013/07/TDB_01_SOLARFLAT_F_SEN_AIP_V1.pdf

⁶⁸ Ibid



Figur 12. Inkoppling av solpanelerna på kantinbyggnaden.⁶⁹



Figur 13. Installation av solpaneler på taket av gymbyggnaden.⁷⁰

⁶⁹ Ibid

⁷⁰ Ibid



Figur 14. Inkoppling av solpanelerna på gymbyggnaden.⁷¹



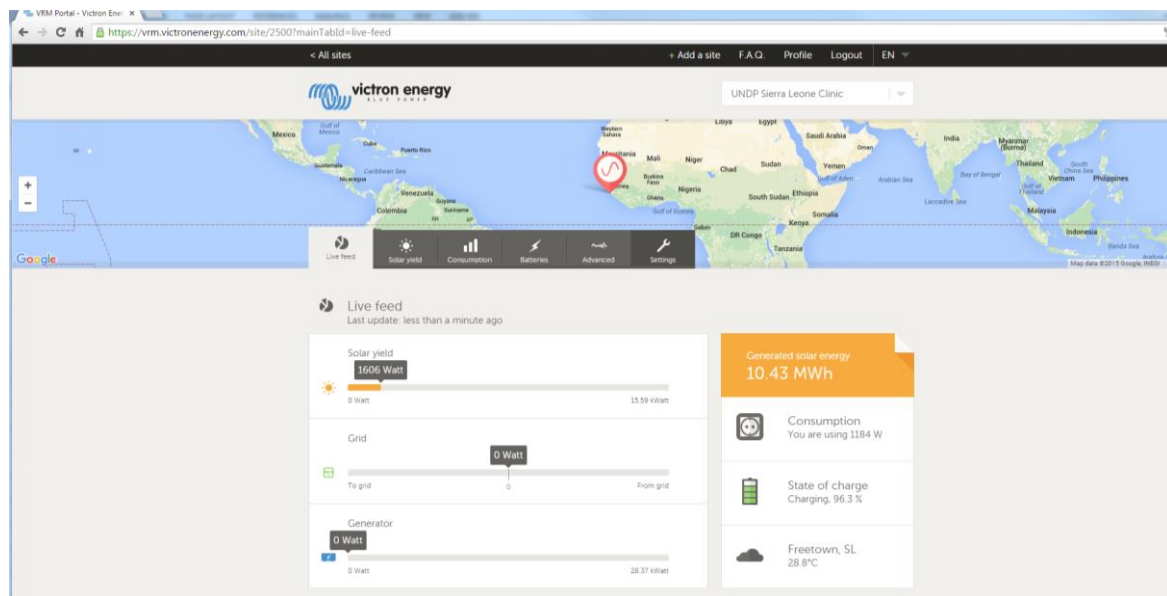
Figur 15. Den lokala personalen instrueras i hur systemet fungerar och hur det övervakas. På bilden ses även kontrollpanelen, batteribanken och säkerhetsbrytare (överst till vänster).⁷²

⁷¹ Ibid

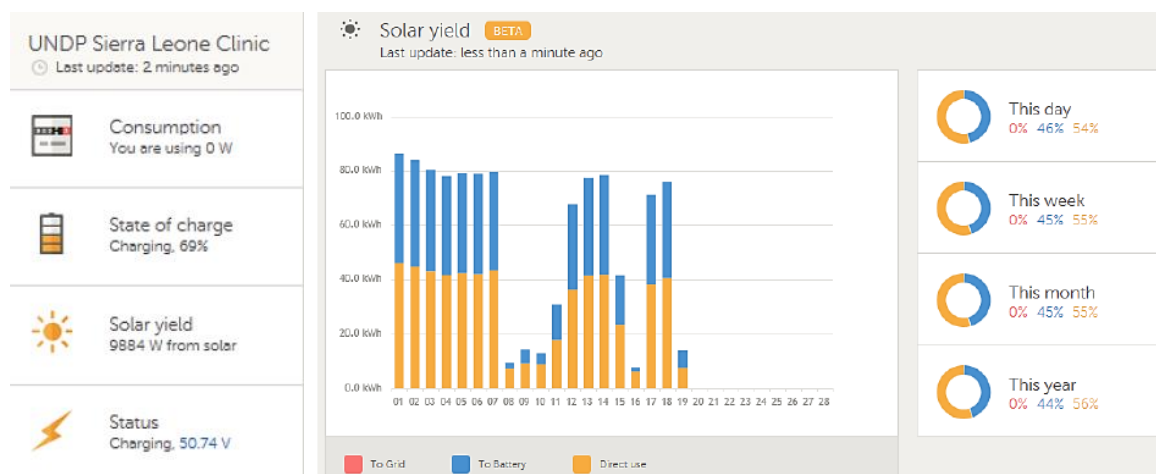
⁷² Ibid

6.1.4 Utfall och övervakning

Systemets prestanda övervakas och visas i realtid genom en Victron-applikation. Systemet kan övervakas både på plats eller från andra platser. Det som visas på displayen (se figur 16) är bl.a. utbyte, energikonsumtion, batteriernas kapacitet och belastning samt eventuella driftstopp. Applikationen kan också räkna ut en utsläppsprofil avseende koldioxid. Med samtidig övervakning av klimat och väder kan underhåll och andra åtgärder planeras.



Figur 16a. Bilden visar applikationen för realtidsövervakning av solenergisystemet i Sierra Leone.



Figur 16.b. Till vänster exempel på en status i realtid. Till höger: exempel på produktion från systemet.

6.1.5 Lärdomar

Några lärdomar man dragit från projektet presenteras nedan.

6.1.5.1 Planering

Planeringen skedde under tidspress och man införskaffade i princip den utrustning man kom över. En god planering, en realistisk budget (som tar hänsyn till oförutsedda utgifter) och tillräckligt med tid för att effektivt driftsätta valt system är en förutsättning för ett lyckat projekt.

6.1.5.2 System

Det installerade systemet var två separata enheter med individuella batteribankar. Det hade varit mer optimalt för att balansera laster och belastning av batterierna om dessa varit integrerade. Systemen borde integreras för att kunna koppla på fler växelriktare och dela på samma batteribank.

Ett för litet antal solpaneler installerades vilket innebär en fortsatt stor användning av generatorer. Installation av ytterligare 44 kW solpaneler (samt två extra växelriktare) skulle räcka för aktuellt behov av energi och ge en bättre återbetalningstid

6.1.5.3 Platsundersökning

På grund av den hastiga deployeringen av solcellsutrustningen gjordes ingen detaljerad platsundersökning, vilket medförde att design och utförande blev sämre än det kunde ha blivit. Bristen på tillräcklig platsinformation resulterade följaktligen i en dåligt informerad konstruktion och specifikation på solenergilösningen i Sierra Leone. En systematisk och noggrann platsundersökning krävs för att informera design och specifikation av vald lösning.

6.1.5.4 Transport och logistik

Transporten av utrustningen skedde med båt, vilket innebar vissa förseningar.

6.1.5.5 Installation and driftsättning

Driftsättning och användaracceptanstest bör ingå i formell hand over.

De första en till två månaderna efter driftsättning kan behövas innan systemet fungerar stabilt och utmaningar under denna period kan innefatta behov av utbyte av vissa komponenter eller fine tuning etc.

En betydande mängd oförutsett arbete krävdes med avseende på eldistribution mellan byggnaderna och generatorerna/el nätet, vilket inte förutsågs. Tidsmarginaler krävs för oförutsett arbete.

I genomförandefasen rekommenderas att lokal expertis (t.ex. elektriker) konsulteras. Detta underlättar framtida underhåll. Stöd från solcells-leverantören kan också behövas.

Generatorerna saknade auto-startfunktion⁷³, vilket medförde att systemet blev känsligt för hög belastning. Lasten hölls därför medvetet under växelriktarnas övre gräns.

6.1.5.6 Övervakning

För att säkerställa att systemet effektivt kan övervakas och för att minimera användningen av generatorer måste alla elproducerande källor (sol, batterier, generator och nät) vara dragna via växelriktaren och generatören måste ha auto-startfunktion.

Insatser avsändande energiproduktion bör kombineras med åtgärder för minskad förbrukning, exempelvis bör timers installeras på luftkonditioneringen och justeras så att all luftkonditionering är inställd på samma temperatur.

⁷³ Generatorerna i det aktuella fallet hade en maxgräns på den effekt som kunde levereras. Överskreds den så stängde de inbyggda växelriktarna av levereringen av kraft vilket medförde att och generatorerna stannade. Med autostart menas en funktion som automatiskt startar om generatorerna och säkrar att hela anläggningen inte stängs ner och måste startas om manuellt och lokalt vid en mindre överbelastning.

För att öka livslängden på batterierna bör batterierna förvaras i kyla i varma klimat.

6.1.6 Vidareutveckling av koncept

UNDP har ett ambitiöst program för att öka andelen förnyelsebar energi och minska energikonsumtionen i sin verksamhet. De huvudsakliga syftena är att

- säkra tillförlitlig och hållbar elförsörjning,
- minska kostnader för energibehoven genom energieffektivisering,
- minska beroende av lokala elnät,
- förbättra lönsamheten och återbetalningstiden för energiinvesteringar genom flexibla lösningar
- uppnå "net zero" avseende koldioxidutsläpp.

UNDP:s Office of Information Management & Technology (OIST), Global ICT Advisory Unit i Köpenhamn, koordinerar satsningen på alternativa energikällor. Enligt OIST är detta logiskt då många likheter finns med VSAT implementation.

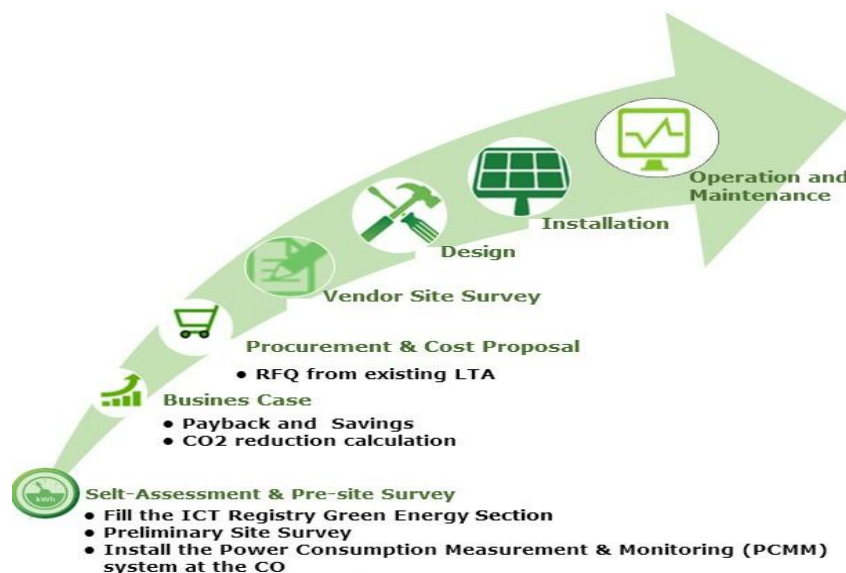
Bland de fördelar som identifierats ingår:

- Minskade kostnader för diesel
- Stabil energitillförsel
- Ökad säkerhet p.g.a. tillförlitlig tillförsel av energi för belysning, låssystem, alarmsystem etc.
- Högre välbefinnande hos personalen då avgasmängd (från generatorer) och buller minskas
- Ligger i linje med UNDP:s hållbarhetsmål och utgör bra PR.

Nackdelar:

- Hög investeringskostnad. Av den anledningen ser man det som svårt att driva ett CO uteslutande på solenergi. Man tänker sig därför att solenergi framför allt används för att stödja att funktioner som datacenter och belysning alltid elförsörjs samt säkerställa att elförsörjning kan ske bullerfritt nattetid och på helger.

En planeringsmodell, sjustegsraket, har tagits fram för optimal planering och genomförande av ett solcellsprojekt (figur 17).



Figur 17. UNDP:s sjustegsraket för genomföring av ett solcellsprojekt.⁷⁴

⁷⁴ UNDP, 2015b

Över tid avser UNDP bygga upp en kunskapsbank av solcellslösningar att innefatta bl.a. off grid-lösningar och/eller hybrid (grid/generator)-solpaneler (2-200 kWp), soldriven LED-gatubelysning, soldrivna kylskåp, soldrivna vattenpumpar, små vindturbiner och soldrivna generatorer.

6.2 Kanadensiska armén – Arktis

Kontakt: Captain Pierre Frenette, Canadian Forces, 35 Canadian Brigade Group Headquarters.

Kategori: Iqaluit, Salluit och Resolute klassificeras som polarklimat tundra (*Köppens klimattyp ET*). Långa kalla vintrar och inga varma somrar men minst en månad med en medeltemperatur över 0 °C och lite nederbörd (i form av snö). (Områden nära Atlanten och Stilla havet är generellt varmare och får mer snö än det kalla och torra inlandet.) Medeltemperaturen i Iqaluit är -10,0 °C och medelvärde för nederbörd är 422 mm. Medeltemperaturen i Salluit är -8,5 °C och medelvärde för nederbörd är 356 mm. Medeltemperaturen i Resolute är -16,2 °C och medelvärde för nederbörd är 135 mm.

Systemet (under uppgradering) är ett mobilt energilagrande system på 1,2 kW.

6.2.1 Bakgrund

Den kanadensiska armén har erfarenhet av användning av solceller och vindkraft i kalla klimat. Teknikerna har använts i fält på olika platser, Iqaluit, Resolute Bay, Salluit (Nunavut) Goose Bay (Labrador) och Schefferville (Northern Quebec). Oftast används systemet kring den 65:e breddgraden. I normalfallet är styrkan borta mellan 7-14 dagar och de vill då vara självförsörjande på el.

Upprinnelsen till intresset för alternativa energikällor i fält är den oförutsägbara miljön i det kanadensiska Arktis. Under Operation Nanook år 2013 försenades t.ex. ett transportflygplan fyra dagar på grund av snöstorm och dimma, vilket innebar att dieselbrist för att driva generatorerna uppstod. Händelsen initierade en diskussion om militärens energiberoende kopplat till dess operativa förmåga.

Inför en uppföljande övning (Guerrier Nordique), som genomfördes i februari och mars 2014, togs en alternativ energilösning fram för att kunna verka självständigt i minst 24 timmar. Energilösningen skulle vidare vara kompakt och lätt att transportera. Eftersom antalet soltimmar i Arktis är begränsat vid vissa tider på året, beslutades att kombinera vindkraft och solenergi. Det är dessutom goda förutsättningar för vindkraft i Arktis p.g.a. den regelbundna tillgången till vind.

Den dagliga elförbrukningen för 24 timmars förbrukning av förbandets behov uppskattades och den slutliga energilösningen designades till att innefatta två batterier (265 ampere), fyra 140-watts solpaneler och två vindkraftverk som kan generera 24 volt (DC, se figur 20). Vidare införskaffades en väderstation för att samla in exakta uppgifter om vind och sol förhållanden och deras inverkan på den elektriska produktionskapaciteten (*Track24*).

Projektet belönades 2014 av den kanadensiska arméns "Innovation Award".

6.2.2 Planering

Innan avfärd gjordes en beräkning av solinstrålning, temperatur, antal soltimmar och nederbörd etc. på den aktuella platsen. Vidare gjordes en uppskattning av det aktuella behovet av el samt en genomgång av vilken utrustning som ev. kan bytas mot mindre energikrävande (t.ex. LED-belysning istället för konventionell). Systemet har utförts i två varianter med en tredje revidering planerad för vintern 2015/2016.

6.2.3 System

Tabell 7. Den kanadensiska arméns hybridlösning

Utrustning	Beskrivning
Storlek	Version 1: 0,56 kW, version 2: 1,2 kW
Solpaneler	I den första versionen användes en monokristallin solpanel på 140 W (66 x 107 cm). De nuvarande solpanelerna är av flexibel monokristallin typ (se figur 20) som hängs upp i två rep och därefter roteras två gånger per dygn. Det första systemet innehöll 12 stycken 100 W paneler (66x 76 cm), seriekopplade 2x6 (se figur 21). Kostnaden per solpanel uppgick till ca 230 Euro. En GPS-roterande s.k. "sun tracker" (Track24) införskaffades för att kunna optimera panelernas position gentemot solstrålningen. En nackdel är dock att den också kräver energi. Båda typerna av solpaneler är av märket Enerwatt.
Växelriktare	Pure SinWave Power Star SW 3000 watts
Laddkontrollenhet	Outback FlexMax 80 watts
Batterier	AGM-batterier, d.v.s. batterier med glasfiberseparatorer (absorbent glass material), används för energilagring. Kravställningen var köldtåliga batterier, ej klassade som farligt avfall, möjliga att montera upp och ner eller sidledes samt underhållsfria.
Grid	Nej
Generatorer	En liten generator som backup
Ytterligare alternativ energigenerering	Ja, vindturbiner av typen Air 40, som är 3 meter hög (se figur 18). ⁷⁵ Air 40 kräver 3,8 sekundmeter vind och består av tre blad. Därför har man modifierat en vindturbin genom att lägga till tre blad, så att denna klarar sig med 1,8 sekundmeter över sex blad (men också producerar mindre energi).
Transport	Hela utrustningen får plats i två transportlådor på 2x1x0,5 m (se figur 19-20), som kan transporteras via t.ex. skoter eller på en fyrhjuling. Batterierna måste transporteras som farligt gods om de ska skickas med flyg.
Montering	Enkel att montera, efter en timmes utbildning har andra kunnat använda utrustningen i flera dagar utan problem.
Styr/kontrollenhet	RMS 200 ⁷⁶
Övrigt	Pelican Case på hjul. Tunnfilsolcell på rulle. Håll i väskan för att koppla ihop systemet. Kan ladda LED-belysning, sun tracker, telefoner, dator. 10 kg AGM-batteri som backup.

⁷⁵ Se <http://www.primuswindpower.com/wind-power-products/air-40-turbine/>

⁷⁶ Se <http://www.remotemonitoringsystems.ca/rms200/rms-200-introduction.php>



Figur 18. Solpaneler och vindkraftverk Air 40.⁷⁷



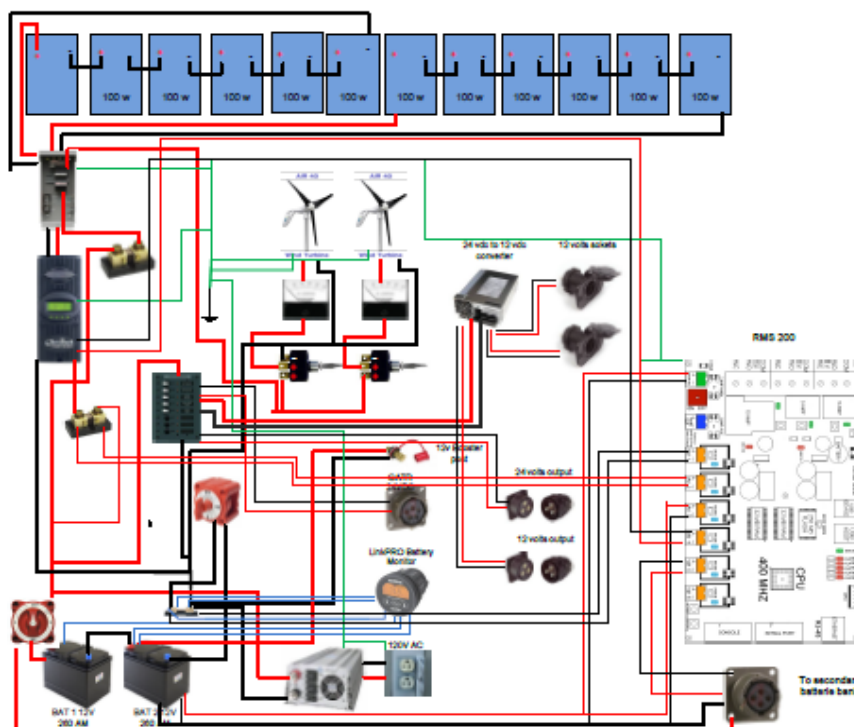
Figur 19. AGM-batterier och växelriktare i sin transportlåda.⁷⁸

⁷⁷ Capt Pierre Frenette, Canadian Forces

⁷⁸ Ibid



Figur 20. Kontrollenhet i sin transportlåda.⁷⁹



Figur 21. Kopplingsschema för den mobila energilösningen för det kanadiska Arktis (finns som pdf och kan printas i A3 för att bättre se detaljerna).⁸⁰

⁷⁹ Ibid

⁸⁰ Ibid

6.2.4 Utfall och övervakning

Utvärderingen av systemets prestanda visar en genomsnittlig produktion på 1,8 kW/timme.⁸¹

AGM-batterierna har fungerat väl ner till -52 C°.

Systemet (se figur 21) producerar energi som gör förbandet självförsörjande i 24 timmar och räcker då till satellitantennerna (GATR-systemet)⁸², sun-tracker-systemet (se tabell 7), några iridium-telefoner och de bärbara datorerna. Vidare används LED-belysning för att hålla nere energiförbrukningen.

För att övervaka systemet har en styr/kontrollenhet (RMS 200), som kan kopplas till internet, införskaffats. Enheten beräknar elproduktion, batteristatus och beräknar hur länge elen kommer att räcka beroende på nuvarande konsumtion.

6.2.5 Lärdomar

Lärdomar dragna från den tidiga användningen har utnyttjats för att förbättra systemet som nu är inne på sin tredje version. Inledningsvis tänkte man exempelvis använda sol/vind-systemet som backup för generatormen, men då systemet visade sig så effektivt använder man numera en liten generator som backup för hybridssystemet.

Då systemet är konstruerat modulärt kan man öka på antalet solpaneler och batterier såvida man har plats att transportera den extra utrustningen. Exempelvis beslöt man att öka på batteripaketet för att kunna vara självförsörjande längre. Vidare köptes en batteriladdare in som laddar batteribanken full innan systemet börjar användas.

Vindturbinerna fungerar bra över trädgränsen men inte alls bra i skogsområden längre söderut.

Den snabba utvecklingen inom solteknologi har också medfört att det utrymme som tidigare krävdes för sex paneler nu rymmer tolv paneler.⁸³ Lärdomar som dragits har också varit att beteendeförändring krävs som ett komplement till tekniken, exempelvis kampanjer av typen ”siste man släcker ljuset”.

6.2.6 Vidareutveckling av koncept

För närvarande är man inne på tredje uppdateringen av systemet. Under vintern 2016 ska t.ex. tunnfilm testas.⁸⁴ Man avser också införskaffa skuggning, s.k. *solar shades*, och tält med inbyggda solpaneler för att testa i fält.

6.3 Holländska armén: Afghanistan

Kontakt: Captain Kennard Hofland, Staff officer Force Support Engineering, Engineers Centre of Expertise/Education and Trainings Centre, Royal Netherlands Army.

Kategori: Lokalt stäppklimat (*Köppens klimattyp BSk*): Torrt året om och kall vinter.

Medeltemperaturen är 16,8 °C och medelvärde för nederbörd är 325 mm.

Det system som installerades var ett direktlevererande system på 40 kW.

6.3.1 Bakgrund

Den holländska armén började använda solceller operativt i Afghanistan år 2013, som ett komplement till dieselgeneratorer.⁸⁵

⁸¹ Ellis 2014

⁸² Utrustningen är kopplad till ett uppblåsbart satellitkommunikationssystem av typen GATR, se <http://www.gatr.com/> som fungerar i alla klimat men har en tämligen hög investeringskostnad

⁸³ E-mailkonversation och skype-möten med Cpt Pierre Frenette, Canadian Forces, 35 Canadian Brigade Group Headquarters

⁸⁴ Se http://gosolarrrving.com/products/Go%20Solar_PowerFilm_ProductBrochure.pdf

⁸⁵ Under 2015 har man också installerat solpaneler på Camp Castor, i Gao (Mali).

6.3.2 Planering

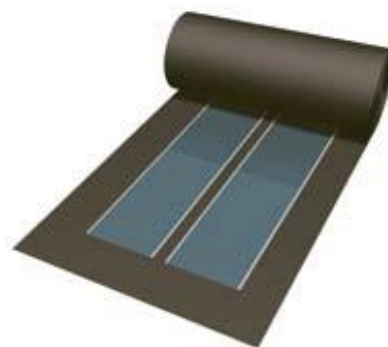
Innan solpanelerna monterades gjordes en uppskattning över hur mycket energi som kunde förväntas produceras beroende på klimatvariationer (extrem kyla/hetta). En platsundersökning genomfördes för att bedöma den lämpligaste placeringen för solpanelerna och hur många paneler som kunde få plats. En uppskattning om den mest fördelaktiga vinkeln för montering, förväntad prestanda i samverkan med andra energikällor och lämplig plats för växelriktare bedömdes också. Vidare gjordes en riskbedömning över hur eventuell fragmentering av panelerna skulle kunna ske i händelse av att de träffades av beskjutning.

6.3.3 Systemet

Under oktober 2013 utrustades taken på två bostadscontainers på holländska National Support Element (NSE) i Kunduz med solceller (se figur 22) av ingenjörer från det egna förbandet (se figur 23).

Tabell 8. Systemet som installerades i Afghanistan

Utrustning	Beskrivning
Storlek	40kW
Solpaneler	Solpanelerna var av typen Zonel Energy systems "Powerbond", som är flexibla paneler av tunnfilmtyper (se figur 24). Panelerna består av stryktåliga, lätta band av sammansatta paneler. Måtten var 1200 X 40 cm och panelerna levererades på rulle samt monterades på träpaneler. Den totala ytan uppgick till 480 m ² och investeringskostnaden var ca €100 000.
Växelriktare	Kommersiellt tillgängliga
Laddkontrollenhet	Kommersiellt tillgängliga
Batterier	Nej
Grid	Ja
Generatorer	Ja (2 x 5 x 125 kW)
Ytterligare alternativ energigenerering	Nej. Vindkraft övervägdes men ansågs inte gynnsamt.
Transport	I trälådor
Montering	Installationen tog sju arbetsdagar för fyra byggarbetare och tre elektriker. Uppmontering och driftstart förlöpte utan missöden och uppfattades som relativt okomplicerad (se figur 25a-d). Inga tekniker eller annan högutbildad personal användes vid installationerna.
Övrigt	All belysning byttes till LED.



Figur 22a och b. Tunnfilmcellerna som användes i Afghanistan.



Figur 23a -d. Montage av solpanelerna.



Figur 24. Generatorfarm, Kunduz.

6.3.4 Utfall och övervakning

Rätt snart efter driftsstart kunde den ena (av två) diesel-generatorfarmar (figur 24) stängas av.

Data över systemets prestanda samlades in via en mjukvara på växelriktaren.. Förbrukningen övervakades via interface från power-modulerna till PC-program med möjlighet till övervakning via internet.

Solpanelerna producerade ca 4000 kWh/månad i genomsnitt, samt upp till 4500 kWh/månad under sommarmånaderna. Den bästa dagsproduktionen under perioden var ca 185 kWh.

Installationen av solpaneler innebär en besparing för energisystemet med 48 000 kWh per år, motsvarande 15 000 liter diesel. Den beräknade återbetalningstiden uppgick till ett år.

6.3.5 Lärdomar

Lärdomar dragna från projektet har varit goda och fler planeras.

I framtida projekt bör elnätstabilitet och elnätskvalitet beaktas mer.

Batterier för energilagring, omvandling avfall till energi som kan nyttjas på plats ("waste to energy conversion") och effektivare kylsystem ("adiabatic cooling system") är några av de utvecklingsmöjligheter som övervägts.

6.3.6 Vidareutveckling av koncept

Nederländerna har vidareutvecklat sitt solcellskoncept och testar för närvarande (2015-2016) det på Camp Castor, i Gao, Mali. Systemet är dels ett direktlevererande, dels ett energilagrande system på 9,2 kW. Bostadscontainers och elinstallationer på Camp Castor kommer från Drehtainer BV.⁸⁶

Energisystemet styrs och kontrolleras av kombinerad växelriktare/ laddkontrollenhet från ESTechnologies (Floatchtech energy systems).⁸⁷ Modulen är placerad i en skyddad tjugofots container och består av 26 seriekopplade litium-polymerbatterier för energilagring, kopplade till 250 kW generatorer och till solpaneler av tunnfilmstyp från Zonel Energy System.⁸⁸ Panelerna består av 1200x40 cm långa "band" av sammansatta paneler. Batterierna laddas med solenergi alternativt av generatorerna.

Överskottsproduktionen från solpanelerna planeras att användas nattetid och under sandstormarna, då man vill stänga av generatorerna för att undvika onödigt slitage. Under svalare perioder planeras generatorerna att användas mer frekvent för att nå en högre verkningsgrad, vilket gör att de slits mindre. I genomsnitt beräknas de fungera på 85 % av sin kapacitet, vilket minskar behovet av underhåll. När behoven av el är som störst ska systemet försörjas via batterierna (s.k. *peak-shaving*).⁸⁹

Enligt uppgift i december 2015 är systemet inte helt driftsatt men det har inte gått att få fram uppgifter om vad detta beror på.

6.4 MSB/WFP-DRK, Goma

Kontakt: Sölve Aronsson, MSB SI-LOG, John Isaksson, MSB-ICT

Kategori: Tropiskt savannklimat (*Köppens klimattyp Aw*): Tropiskt regnrikt klimat med sommarregn och torrperiod på vintern och varma temperaturer året om. Medeltemperaturen är 19,8 °C och medelvärde för nederbörd är 1192 mm. Systemet som installerades var ett energilagrande system på ca 3 kW.

⁸⁶ Se <http://www.drehtainer.com/products/defence.html>

⁸⁷ Se <http://www.estechnologies.nl/en/case-defense-project-mali/>

⁸⁸ Se <http://www.zonel.nl/en/over-zonel/>

⁸⁹ Se <http://www.estechnologies.nl/en/case-defense-project-mali/>

6.4.1 Bakgrund

MSB:s solcellsprojekt i DRK syftade till att stödja World Food Programme (WFP) med expertis inom solenergiområdet. Målsättningen var att minska förbrukning av bränsle vid elproduktion från dieselgeneratorer med 50 % och istället ersätta det med solenergi för att på så sätt minska såväl miljöpåverkan av WFP:s humanitära närvaro i DRK som kostnader för elproduktion.

Ett implementerat standardiserat system för solenergi kan leda till lägre driftskostnader, vilket frigör ekonomiska medel för WFP:s humanitära respons i områdena. Vidare önskade WFP ökad kunskap om solenergi som en alternativ energilösning så att ett koncept för liknande insatser kan tas fram.

MSB:s uppgift var att bistå med teknisk expertis vid uppmontering av solpanelerna och utbildning av WFP:s personal i drift och underhåll. Den tekniska expertisen skulle montera solceller och belysning samt ta fram ett utbildningskoncept för den lokala personalen. MSB skulle även följa upp säkerheten under projektets genomförande och MSB:s miljö- och områdesansvarig följa upp projektet på plats.

6.4.2 Planering

Projektet var satt under tidspress och en extern konsult valdes för att genomföra rekognosering och stödja MSB. I övrigt skedde upphandling av solenergisystemet av WFP. Uppgifter om systemet nedan är därför inte fullständigt beskrivet.

6.4.3 System

Projektet driftsattes under oktober 2014 på plats på fem platser i DRK: Kinshasa, Goma, Bunia, Kalemie och Bukavo.

Tabell 9. Systemet som installerades i DRK

Utrustning	Beskrivning
Storlek	3kW
Solpaneler	Uppgifter finns hos WFP
Växelriktare	Uppgifter finns hos WFP
Laddkontrollenhet	Uppgifter finns hos WFP
Batterier	Öppna blysyrbatterier
Grid	Nej
Generatorer	Ja
Ytterligare alternativ energigenerering	Nej
Transport	Uppgifter finns hos WFP
Montering	Montering gjordes av MSB personal i samverkan med WFP
Styr/kontrollenhet	Systemets design möjliggjorde uppföljning och styrning på distans via en webbportal, där systemet kan kopplas upp mot internet. Denna funktion driftsattes på två platser. WFP åtog sig att återkoppla med driftstatistik efter dels ett halvår, dels efter ett år efter driftsättning.
Övrigt	-

6.4.4 Utfall och övervakning

En drivande idé bakom projektet var att kunna stänga av generatorer (elverk) nattetid och därmed göra driftbesparingar på 50 %. Bedömning på plats var dock att besparingen blev ca 30 %. Driftbesparingar innefattar emellertid utöver bränslebesparing även färre antal servicetillfällen, färre oljebyten och färre byten av servicedetaljer som filter och drivremmar. Besparingen sker genom att via en batteribank driva lågenergilampor (LED). Driftbesparingen sker både genom att a effektbehovet sänks och effektuttaget

från generatoren minskas.⁹⁰ Lamporna var avsedda för arbetsbelysning i lagerhallar och som bevaknings- och arbetsbelysning. Detta fungerade i Bunia, Kalemi och Bukavo. I Goma och Kinshasa krävde befintliga kontor en 24/7 tillgång till servrar och internet. Detta var solcellssystemen inte designade för att klara. Det innebär att generator/elverk behövdes dygnet runt. Designen möjliggjorde dock en uppgradering för att strömförsörja både dataservrar och internet, vilket planeras av WFP i kommande projekt.

Ytterligare driftbesparingar kan göras, om överskottseffekten som solcellerna har potential att producera efter det att batteribanken är laddad, används för den dagliga driften. Då minskar behovet av den effekt som generatoren behöver leverera. Den går då lättare och förbrukar bl.a. mindre bränsle, vilket planeras i kommande projekt av WFP.

På de tre platser (Bunia, Kalemi och Bukavo), där behoven och solcellsystemens design möjliggjorde att generatorerna kunde stängas av nattetid, påverkades ekonomin positivt. Dels minskade bränslekostnaden, dels minskade logistikbehovet för att få dit bränslet (vid ett av lagren flögs allt bränsle in). Förutom den minskade användningen av fossila bränslen i stort, blev närmiljön för WFP:s personal mycket bättre - tyst och fritt från avgaspartiklar.

6.4.5 Lärdomar

6.4.5.1 Planering

Planering och upphandling genomfördes av WFP. Det är MSB:s intryck att vissa finansiärer av humanitär verksamhet har svårt att förstå att energieffektivisering handlar om helhetslösningar. Vissa finansiärer drog sig exempelvis ur projektet då de inte ville finansiera LED-belysning utan bara utbyte av kraftkällan. En lärdom av detta är att projektförslag tydligt måste motivera för en finansiär varför det också är nödvändigt att t.ex. byta belysningskällor, AC och nätverksstruktur för att maximera den positiva miljöpåverkan och inte bara byta energikällan.

Idag går det inte att få finansiering för innovationer, vilket utgör en barriär för att nå energieffektivisering, då utvecklingen inom området går så snabbt framåt.

Den kalkyl som ligger till grund för uppskattningen av besparingar och minskad miljöpåverkan måste ingå i detaljnivå som en bilaga till kommande projektplaner, för att man ska kunna följa upp att projektet levererar mot förväntat resultat.

Budgeten måste innefatta materiel för att installera verktyg och att markbereda/förstärka byggnader, bygga apparatur (skydda batteribankar etc.) och skapa en säker arbetsmiljö. Exempelvis måste klätterselar och syra-skydd ingå.

Om konsulter används bör en bättre intern process för kvalitetskontroll utarbetas och genomföras för att undvika risk för jävssituationer.

6.4.5.2 System

För att ett effektsparande system ska fungera väl måste alla ingående komponenter anpassas till uppgiften, inklusive förbrukarens och användarens beteende.

Solcellssystemen kan vara både svaga likströmsanläggningar och högspänning. Högspänningsanläggningar kräver elektrisk behörighet för att driftsätta. Alla installationer som producerar en effekt som ”gör skillnad” är en högspänningsanläggning och kräver således certifierad elektriker.

6.4.5.3 Platsundersökning

Det kan finnas en risk att byggnader/platsen där systemet installeras inte håller lika länge som panelerna (<20 år paneler).

⁹⁰ En halogenstrålkastare på 500W ger ca 7-8000 lm, medan en 50W LED-strålkastare ger 3,500 lm. Detta innebär en effektbesparing på omkring 80 % vid samma ljusstyrka (lm).

Då situationen kan förändras mellan rekognosering och leverans samt genomförande bör systemet levereras för att kunna installeras både på tak och mark.

För installation av solpaneler behövs tillräckligt utrymme, antingen på tak/väggar eller mark. Ytor av rätt kvalitet och riktning kan vara en bristvara.

6.4.5.4 Transport och logistik

Upphandling och logistik tar tid (< 3 mån till < 6 mån). Logistikkedjan för transport innefattar inte bara transport till aktuellt land, utan även inom landet, vilket måste tas med vid planeringen. En välfungerande logistik är avgörande för att kunna hålla ett högt tempo. Storlek, vikt och ömtålighet på armaturer, solpaneler och batterier, samt att batterier klassas som farligt gods (syra) vid flygtransporter, ställer stora krav på logistikkedjan.

Utrustningen bör packas i hårda (trä) emballage för att inte skadas under transport.

6.4.5.5 Installation and driftsättning

Alla verktyg, förbrukningsmateriel och skyddsutrustning bör levereras med materielen och vara av hög kvalitet och i tillräcklig mängd, inklusive stegar etc. för montering.

Systemet var beräknat att levereras 3kVa, men man insåg att det inte skulle fungera som planerat eftersom systemet inte var designat för att leverera till elnätet. Överskottsenergin kom därför inte till någon nytta.

Öppna blysyrbatterier användes i projektet p.g.a. sitt lägre pris och sin tålighet för variationer i omgivningstemperatur och upprepad laddning jämfört med slutna batterier. Blysyrbatterier är även lätta att driftsäkra när de väl är på plats. Val av batterityp kräver dock även att möjligheter till återvinning bör beaktas. Batterierna kommer med stor sannolikhet att slås sönder och blyet återvinnas genom nedsmältning på plats. Därför borde ett fat med medel för att neutralisera syran och skyddsutrustning och materiel för att tömma batterierna på syra ha funnits med. Dunkar som syran levererades i återanvändes i den befintliga lastbilsverkstaden efter ursköljning. Logistikerna är också besvärlig p.g.a. att öppna blysyra-batterier klassas som farligt gods. Syrahanteringen vid installation innebär även risk för personalen. En plan för vad som ska göras när batteriernas livstid är uppnådd (efter ca fem år) måste finnas.

Växelriktaren måste tillförlitligt klara att leverera mot 400V AC-nät. Det är osäkert om den upphandlade utrustningen uppfyllde detta funktionskrav, d.v.s. att kontinuerligt kunna anpassa och återkoppla sin utfrekvens till en instabil generatorfrekvens.

När det gäller utbildning måste det klart framgå vad som ska ingå och förväntas att uppnås och för vem, samt vara tydligt vems ansvar det är att rätt personal deltar.

6.4.5.6 Övervakning

Förändringar som sker över tid måste följas upp.

Enligt återrapportering från WFP har två router/system behövt repareras (Bukavo och Kalemi). Bunia-installationen har fungerat bra. Användningen av dieselgeneratorer/elverk har minskat med två tredjedelar, vilket har gett bränslebesparingar på ca 700 USD/månad.

6.4.6 Vidareutveckling av koncept

Solcellssystemet som driftsattes i DRK var ur WFP:s perspektiv ett ”proof of koncept” projekt, d.v.s. den befintliga designen är inte direkt möjlig att ta med in i fortsatta projekt/insatser. Den fungerar men bör förädlas/uppdateras för att kunna ge maximal positiv miljöpåverkan och driftbesparingar.

Efterfrågan på solcellssystem är stor, redan under pågående insats spreds ett positivt rykte till andra organisationer på plats och till andra länder. På plats deltog representanter från bl.a. UNHCR, UNICEF och Howard Buffet Foundation. Förfrågningar kom även från WFP i Sudan. De efterfrågade stöd för att snarast kunna genomföra liknande projekt.

Det system som köptes in var uppgraderingsbart t.ex. för att kunna leverera mot ett befintligt stads-/generatornät. Det bör gälla även i kommande projekt att systemen köps, levereras och installeras för att möjliggöra en enkel uppgradering.

Framtiden bör innefatta system som klarar både nattbelysning, drift av server/internet och att leverera producerad solenergi in i befintligt elnät. Detta kräver att belysning, server och internetkomponenter är maximalt energisnåla, d.v.s. ljuskällor bör vara av typ LED, som är energisnåla och även sparar tid i underhåll (längre drifttid). Även VSAT, UPS och servrar bör väljas i energisnåla varianter med en batteribank som är dimensionerad för uppgiften.

Designen bör vara moduluppbyggd med en styrenhet som momentant känner av lasten för att optimalt tanka av elproduktionen från solcellerna till nät, generator och eventuell batteribank. Utifrån behoven på plats bör (typ Goma) solceller om 3 KW med tre dygns batteribackup (1KW/h i ca 36 h) klara belysning (1 KW/h). Ett motsvarande 3 KW system bör klara ½ dygns batteribackup för server/internet drift.

6.5 UNMISS Sydsudan, Juba

Kontakt: Fernando Gryzbowski, Environmental Engineer UNMISS

Kategori: Tropiskt savannklimat (*Köppens klimattyp Aw*): Tropiskt regnrikt klimat med sommarregn och torrperiod på vintern, och varma temperaturer året om. Medeltemperaturen är 27,5 °C och medelvärdet för nederbörd är 941 mm.

Det system som installerades var ett direktlevererande system på 1,04 kW.

6.5.1 Bakgrund

Solpanelerna utgjorde en del av pilotanläggningen 'Sustainable Pilot Juba', en mobil kontors/boende-enhet och en hygiencontainer som utvecklats i projektsamverkan mellan Sverige (Utrikesdepartementet och FOI), FN:s fredsfrämjande (UNDFS)⁹¹ och FN:s fredsfrämjande insats i Sydsudan (UNMISS).⁹² Projektet genomfördes som ett delprojekt inom ramen för svenskt stöd till FN:s fredsfrämjande avseende 'Hälsa och miljö vid fredsfrämjande insatser'.⁹³

Pilotanläggningen utvecklades av FOI, UNMISS och UNDFS i samverkan med Försvarsmakten (FM), KTH⁹⁴, SLU⁹⁵ och svenskt näringsliv⁹⁶ och utrustades med ett mobilt vattenreningsverk, kompostanläggning och solpaneler. Syftet var att testa en robust, energi-, vatten- och avfallsbesparande modul som snabbt ska kunna flyttas mellan insatser i kalla och varma klimat, tåla operativa förhållanden och kunna skalas upp till fullskalig camplösning.

Solpanelerna utgjorde en del av en hybridlösning för energiförsörjning. Nedan kommenteras i första hand energikomponenten inklusive erfarenheterna avseende solpaneler.

6.5.2 Planering

Beslutet om att ta fram en pilotanläggning skedde efter en ominriktning av projektet enligt FN:s önskemål och sattes under tidspress. Inköp av materiel skedde med begränsad möjlighet till fördjupad analys och utvärdering av marknaden, varför konceptutveckling delvis skedde parallellt med upphandling.

6.5.2.1 Fas 1. Holistiskt koncept

Workshops samt fältbesök till Sydsudan med UNDFS, UNMISS, FOI och FM genomfördes för att samla erfarenheter från olika resursbesparande lösningar för camper. Resultaten blev ingångsvärden i en

⁹¹ United nations Department of Field Services

⁹² United Nations Mission in South Sudan

⁹³ Liljedahl 2011

⁹⁴ Kungliga Tekniska Högskolan

⁹⁵ Sveriges lantbruksuniversitet

⁹⁶ Liljedahl et al. 2015

ansats till ett holistiskt koncept där synergier eftersträvades avseende energi- och vattenförbrukning samt avfallsminimering.

Vid denna tidpunkt (2008) var solcellsteknikerna inte lika utvecklade som idag (2015) och sågs i första hand som ett komplement, vars styrka låg i att kunna säkra ICT även vid elavbrott. Den största energibesparingen beräknades uppnås genom en kombination av ökad isolering av containerväggarna och skuggning av dessa, minskad energiförbrukning genom beteendeförändringar och tillförsel av alternativa energislag. Teoretiska, optimalt energibesparande designers utvecklades i samverkan med KTH, SLU och svenskt näringsliv. Alternativa energislag som studerades innefattade småskalig sol-, vind- och biogas.

6.5.2.2 Fas 2. Anpassning till en operativ hybridlösning

Modellerna utvärderades från ett operativt perspektiv, samt möjlighet till uppskalning för serietillverkning (industriell tillverkning). Teoretiskt optimala ingångsvärden ur 'energi besparingsperspektiv' för isolering av väggar och golv samt skuggande tak reviderades med en kompromiss av energibesparing (figur 25). En växelriktare med kapacitet för kalla och varma klimat ersatte en traditionell AC-anläggning. Vinddriven ventilation och LED-belysning byggdes in i hybridlösningen.

Förutsättningar för vindkraft och biogas undersöktes också. Dessa lösningar bedömdes med dåtidens teknik som svåra att säkra i den aktuella konfliktkontexten. Flera vindlösningar studerades, men bedömdes, med då tillgänglig teknik, inte vara tillräckligt effektiva för att klara av de aktuella vindförhållandena på platsen, med en kombination av svag vind och kraftiga stormbyar. Fokus lades istället på solpaneler där lokala återförsäljare och åtkomst till reservdelar förväntades.⁹⁷

Vid design av solpanelslösning införskaffades bakgrundsdata om platsen (Juba, Sydsudan) från UNMISS, inklusive en klimatstudie avseende temperatur, fukt etc. som lade grund för bedömning av monteringsvinkel på solpanelerna. Designen anpassades därefter efter solinstrålningen i Juba för att uppnå maximala solvinklar, bedömning av potentiell skuggning och hur solinstrålning på tak och väggar bäst elimineras.

Beslut fattades att välja en solpanelslösning som kopplades till det lokala elnätet, för att undvika en batterilösning och skapande av farligt avfall, i en region där möjligheten till ett miljömässigt godtagbart omhändertagande av farlig avfall på plats saknades.

En belastningsprofil uträknades. Bland annat beräknades vilket strömbehov som fanns samt hur mycket solcellspanelerna skulle bidra till det totala behovet. Det konstaterades att solcellerna dagtid bidrog till vattenuppvärmning samt antingen kunde driva växelriktaren eller leverera underhålls-el av containrarna (datorer, belysning etc.).

Energibehovet beräknades med hänsyn tagen till den ökade isoleringen av containerväggar, tak och golv, skuggning av tak och fläktutsug med självdrag. En (2008) ny typ av växelriktare valdes med minimal energiåtgång samt kyla/värme i samma enhet. Energisnål utrustning (LED-lampor, energisnåla datorer etc.) valdes också.

Hybridlösningen, inklusive solpanelerna, testmonterades i Umeå i samverkan med mottagaren (UNMISS), konsulter och forskarteamet för att stärka kompetensöverföring, och monterades därefter ned för avfärd (figur 26-27).

Transport skedde med långtradare till hamn, båttransport via Afrikas horn till Mombasa, och omlastning till lastbil från Mombasa till Juba via Uganda. Under den aktuella perioden skedde bl.a. frekventa piratangrepp längs transportvägen, varför andra transportsätt/vägar övervägdes. Alternativen ansågs dock vara för dyra.

En riskbedömning av det övergripande projektets olika delaktiviteter (utbildning, saneringsmetodik m.m.) genomfördes. Risken för att inte kunna slutföra delprojektet 'sustainable pilot' bedömdes som hög (4 på en 5-gradig skala) på grund av säkerhetsläge, logistiska och juridiska utmaningar.

⁹⁷ Med dagens teknik hade möjligheterna sett annorlunda ut, se fallstudien av kanadensiska arméns sol-vindhybridlösning

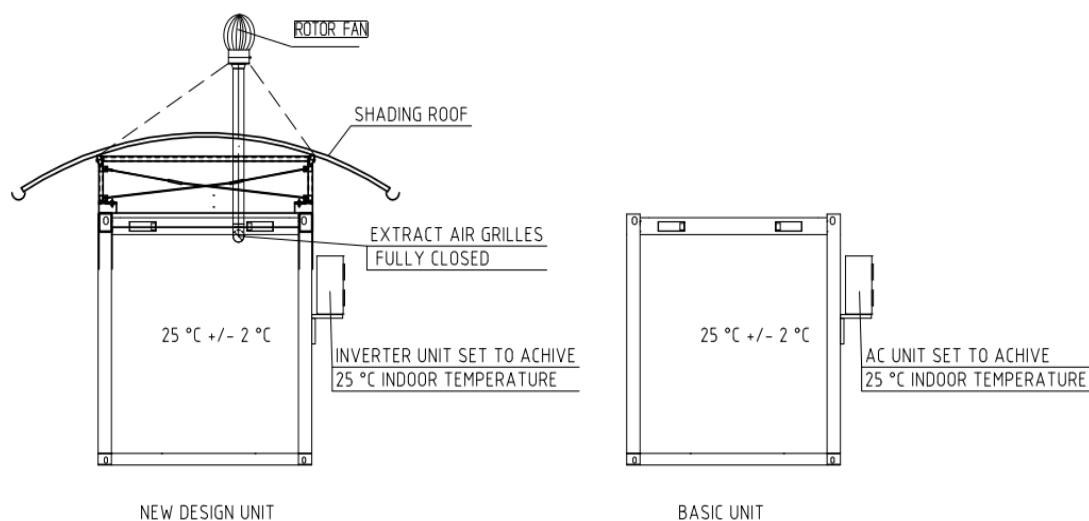
En schablonmässig kostnadsberäkning över projektets förväntade lönsamhet/återbetalningstid gjordes i samverkan med UNDFS och UNMISS. Dock togs hänsyn till att projektet innefattade prototyper med fördyrad startkostnad.

6.5.3 System

Tabell 10. Systemet som installerades i Juba

Utrustning	Beskrivning
Storlek	1,04 kW
Solpaneler	Monokristallina glaspaneler (120x80) från företaget Switchpower användes med en avgiven maxeffekt på 120 W/ panel
Växelriktare	Fronius IG55 ⁹⁸
Laddkontrollenhet	Integrerad i växelriktare
Batterier	Inga batterier användes p.g.a. miljöaspekterna avseende hantering av bly/syraceller. Dåvarande teknik bedömdes inte som en hållbar lösning.
Grid	Solpanelerna var kopplade till det lokala elnätet
Ytterligare alternativ energigenerering	Ja, fläktugsug vind-fläktar (rotorfan)
Generatorer	Nej
Transport	Transport med långtradare till hamn, båttransport via Afrikas horn till Mombasa, och omlastades till lastbil från Mombasa till Juba via Uganda (sex månader).
Montering	Monteringen av solpanelerna tog två dagar inklusive driftsättning, att vänta på kranar m.m. Etablering av hela piloten: Förberedelse markberedning, gjutning av platta och påbörja resning av väggar. Sammansättning av pilot (kontors-/boendecontainer och hygiencontainer) inklusive solcellspaneler tog totalt fyra dagar.
Styr/kontrollenhet	Mätning av producerad energi skedde i realtid samt loggades över tid.
Övrigt	Piloten innehåller en kombinationslösning av ökad isolering av containrarna, skuggning, solpaneler, energisnål utrustning och utbildning/medvetandegörande.

⁹⁸ Se http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-CB4A5726-F050CF45/fronius_international/hs.xml/83_25274_ENG_HTML.htm#.Vm2ACrgrLIU



Figur 25. Energibesparande design genom utökad isolering av väggar, golv och tak, samt skuggande tak med luftspalt och vinddriven ventilation. Växelriktaren ersätter traditionell AC.



Figur 26. Provmontering av solpaneler, energibesparande soltak och extra isolering i väggar och golv m.m. på kontorscontainern, i samverkan med UNMISS, Umeå 2009.



Figur 27. Provmontage av solpaneler, torrtoaletter, torr-urinoar och snålspolande dusch på kontorscontainern i samverkan med delegater från UNMISS, Umeå 2009.

6.5.4 Övervakning

På plats i Juba genomfördes montering av piloten i samverkan mellan UNMISS och svensk personal (figur 28-29).

Utbildning för lokal personal om vikten av och metoder för energibesparingar skedde i samband med montering på plats. Övervakningsinstruktioner placerades i containrarna.

Solpanelerna kopplades till det lokala elnätet och mätning av produktion och konsumtion skedde under tolv månader (figur 30-31).

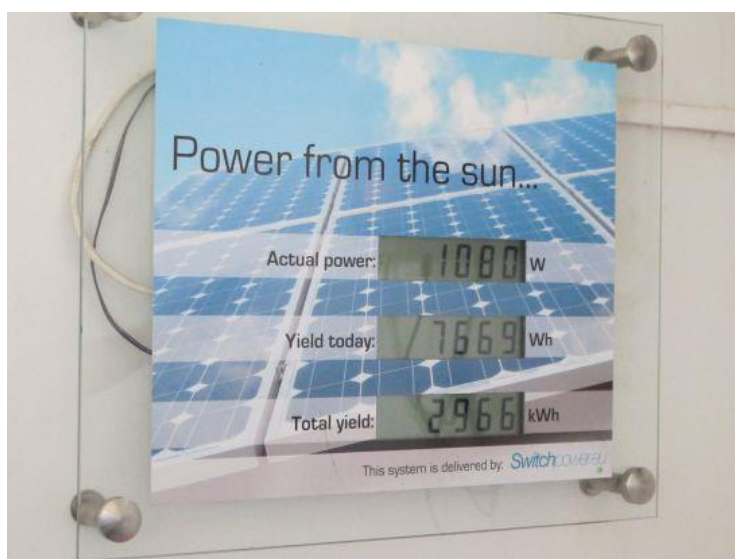


Figur 28. Utrustningen på plats i Juba. En container av traditionell typ utgjorde (till vänster), pilot: hygiencontainer (mitten) och pilot: bostad-s/kontorscontainer (till höger).

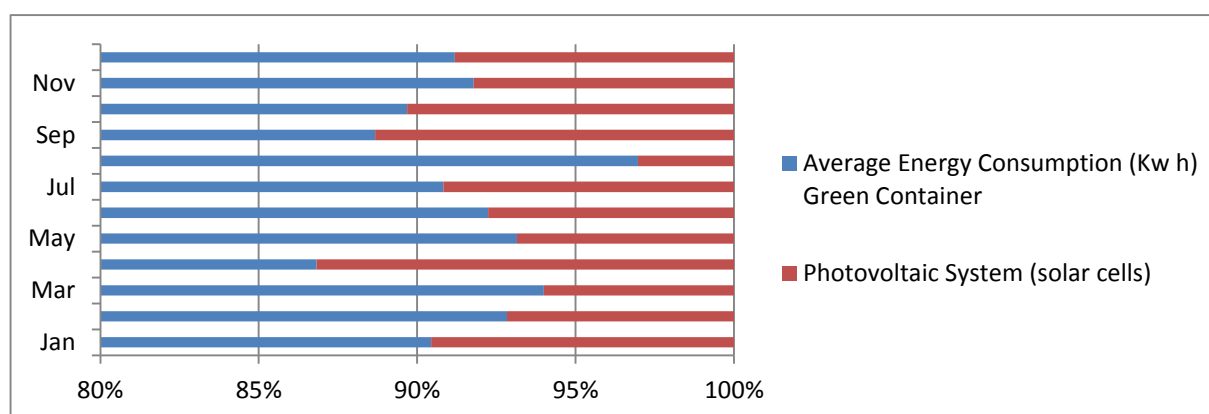
För hela systemet har en energibesparing på ca 28 % beräknats, vilket sannolikt är i underkant (figur 32-33). Solpanelernas kombinerade angivna effekt var 1040 W. Detta skulle i teorin kunna räcka att dagtid driva större delen av luftvärmepumpens förbrukning (då denna drog mindre energi än en konventionell AC).



Figur 29. Del av interiör i kontorscontainer med övervakning av produktionen från solpanelerna.



Figur 30. Mätning av producerad energi i realtid samt över tid.



Figur 31. Genomsnittlig minskning i elkonsumtion från elnätet p.g.a. solpanelernas produktion.

6.5.5 Lärdomar

6.5.5.1 Planering

En holistisk konceptlösning, där olika enskilda tekniska lösningar samlat stärker varandra, gav robust, praktisk effekt med energibesparingar och tålighet över tid, även i den konfliktkontext som piloten verkar i.

6.5.5.2 Systemet

Ett nära samarbete i hela processen, från planeringsstadiet, utveckling av tekniska lösningar till genomförande mellan mottagare (UNMISS), konsulter och forskare reducerade flera förväntade utmaningar, och skapade robustare lösningar som uppvägt merkostnader i form av bl.a. extra reseutgifter.

Mer sofistikerad styrning av ventilationen bör utvecklas (rotofan) - drar ut kylan för snabbt vid blåst.

6.5.5.3 Platsundersökning

En grundlig platsundersökning är en väl värd investering för ett lyckat projekt. Trots detta behövs omfallsplanering då förutsättningarna kan ändras över tid.

6.5.5.4 Transport och logistik

Transportkedjan utgjorde en tidsmässig flaskhals, som påverkade projektets senare faser med ökad tidspress.

Utrustningen måste förpackas i stadigare pack/trälådor för att undvika skador.

Fraktformat på t.ex. utrustning för skuggning måste planeras om för smidigare (mindre) fraktformat för att undvika att skada materialet vid lossning.

6.5.5.5 Installation and driftsättning

Uppackning på plats måste samordnas och utföras av kompetent personal för att undvika skador på materielen.

Förenklingar av inkoppling och kontaktdon bör utvecklas, exempelvis genom snabbkopplingar etc.

Mer tid för upplärning, drifttest och monitorering bör avsättas än vad som skedde.

De lokalt anpassade, optimala vinklarna ur instrålningssynpunkt för solpanelerna, har fått justeras p.g.a. årstidsbundna kraftiga stormbyar och risk för att panelerna skulle slitas loss. Damm på panelerna har fått hanteras under torrperioden.

Erfarenheterna från piloten, som exempelvis solpanelernas vinkel och behov av instrålningsskydd, kommer att kunna anpassas efter förhållanden i nya insatser.

6.5.5.6 Övervakning

Den största energibesparingen har erhållits genom utökad isolering av väggar, golv och tak i kombination med skuggande tak.

Solpanelerna har gett ett stadigt energitillskott på mellan ca 7-10 % över hela perioden med högsta tillskott i april, och lägsta i augusti. Energitillskottet kan förväntas bli det dubbla eller mer med modern teknik.

Erfarenheterna från piloten kommer att kunna anpassas efter förhållanden i nya insatser och andra klimatförhållanden.

6.5.6 Vidareutveckling av koncept

Den största, och över tid mest stabila energibesparingen, har erhållits genom utökad isolering av väggar, golv och tak i containrarna i kombination med skuggande tak. Med dagens teknikutveckling av solpaneler, skulle dock energibidraget från modern solpanelsteknik kunna förväntas att minst fördubblas, jämfört med systemet från 2008, och därmed utgöra ett substantiellt bidrag i energibalansen. Kombinationen av minskat energibehov (isolering/skuggning) och energitillskott (modernare solpanelsteknik) väntas ge en stabil energibesparing året runt i såväl varma som kalla klimat.

Snabb teknik utveckling, exempelvis rörande skyddande solfilm på fönster, småskalig vindteknik och biogas från kompost, ger idag förutsättningar att praktiskt genomföra flera av de teoretiska förslag som initialt togs fram i projektet.

6.6 US Army –varierande platser

Kontakt: Jonas Bateman, Energy Advisor, US Army Rapid Equipping Force, Fort Belvoir

Kategori: Varierande

6.6.1 Bakgrund

Den amerikanska armén, marinkåren (med flera vapengrenar) har arbetat systematiskt med alternativa energikällor och energibesparande åtgärder sedan slutet av 2000-talet. Fältförsök/användning av solenergi i fält har bland annat genomförts i ett och ett halvt år i Djibouti, ett år i Tchad, ett och ett halvt år i Kenya, två år i Honduras, ett år i Niger, ett år i Kuwait samt över tre år i Afghanistan. I Afghanistan har olika system testats och utvärderats för att förbättra systemens prestanda. För närvarande (december 2015) är 20 system i bruk i Afghanistan.⁹⁹

6.6.2 Planering

Vid planering av nya energisystem genomförs olika typer av beräkningar samt besök på plats.

Belastningsprofiler beräknas dels från data plats och mats direkt via loggar, dels realtidsmätning från energigenerering i drift.

Uppskattat behov av underhåll (resurser) samt transportsätt- och vägar för bränsle till platsen är viktiga ingångsdata. Vid sidan av energiförsörjning studeras alternativ för vattenförsörjning och avfallshantering som en del i bedömningen av det totala logistikavtrycket/behovet av resurser.

Data över solinstrålning m.m. tas från det amerikanska försvarsdepartementets databas över parametrar som påverkar förutsättningarna för solenergi. Därefter modelleras data för att få en uppfattning om variation med årstid etc.

Utbildning genomförs för att montera, driftsätta och driva systemet samt genomföra enklare felsökning.

⁹⁹ Newell & Shields, 2012

6.6.3 System

Tabell 11. System som används av den amerikanska armén

Utrustning	Beskrivning
Storlek	Varierar från 60 W (små portabla) till 28,2 kW
Solpaneler	Färdigpackade monokristallina solpaneler 60 W – 300 W har används. Även flexibla M-K-paneler och tunnfilmspaneler har använts. Spannet går från små moduler till bärbara portabla system och större "fasta" installationer. Det största system man har erfarenhet av ligger på 28,2 kW med rektangulära celler. Panelerna levereras antingen i transportkärl av plats eller, i de fall de är flexibla, som rullar.
Växelriktare	Växelriktare med ren sinusvåg (pure sine wave inverters) i olika storlekar används antingen i enfaskonfiguration eller sammankopplade för trefaskonfiguration.
Laddkontrollenhet	Kommersiellt tillgängliga laddkontrollenheter.
Batterier	AGM och litium-polymerbatterier (Lithium Ferrous-Phosphate). Avvägande som görs är storlek, vikt, investeringskostnad och underhållsbehov.
Grid	Ej kopplat till lokalt elnät men till militär micro-grid.
Ytterligare alternativ energigenerering	Nej, de aktuella platserna är ej gynnsamma för vind.
Generatorer	Ja
Transport	Bärbara portabla system, transport i lådor på lastbil eller i container.
Montering	Eftersom extra personal för montering inte finns måste systemen vara lätta att montera efter en enklare utbildning och självinstruerande instruktionsuppgifter.
Styr-/kontrollenhet	Off-line p.g.a. säkerhetsföreskrifter.
Övrigt	Små lösningar av "resväsketyper", primärt för att ladda batterier.

6.6.4 Utfall och övervakning

Uppskattad effektivitet var ~14-20 % jämfört med uppmätt ~8-14 %, d.v.s. stundtals rätt mycket lägre än förväntat.

Systemets prestanda övervakas genom att växelriktaren loggar producerad el. Resultaten från övervakningen lagrades och data analyserade i ett senare skede (enligt rådande säkerhetsföreskrifter).

Eftersom solpaneler använts under en längre tid gjordes ingen beräkning av återbetalningstid eftersom säkerhetsläget motiverar investeringen och tidigare erfarenheter varit goda.

Resultaten avseende ökad energieffektivitet kommuniceras till såväl chefer som personal på plats.

6.6.5 Lärdomar

Man får räkna med att det under en övergångsperiod uppstår diverse problem innan gamla generatorer, fortfarande i bruk, fasas ut.

Problem med överhettning av systemet har förekommit i vissa fall, vilka har kunnat lösas genom ökat luftflöde kring växelriktarna och laddningskontrollenheterna.

Effektdiagram visar ofta på stor variation i effekt där den avgivna effekten är ungefär hälften av den maximala märkeffekten på solpanelerna.

6.6.6 Vidareutveckling av koncept

Försök med tunnfilmceller (CIGS, Copper indium gallium (di)selenid), när panelerna behöver kunna vikas och/eller rullas ihop, har gjorts med positiva resultat. Sannolikt kommer man därför att öka användningen av tunnfilm.

6.7 Sammanfattning av lärdomar och erfarenheter

6.7.1 Planering

Flera av de organisationer/personer vi haft kontakt med har berättat att den initiala erfarenheten av solenergi ofta skedde utan närmare planering eller eftertanke, i vissa fall för att det var bråttom, i andra för att man fått öronmärkt finansiering för just solenergi innan man hunnit bygga egen kompetens i ämnet.

De lärdomar som dragits visar att det emellertid är viktigt med noggrann planering om man vill få ut det mesta möjliga av sitt projekt, vilket ju inte är så förvånande. Bland annat bör man ta reda på förutsättningarna för solenergi på den aktuella platsen, såsom solinstrålning, variationer i klimat m.m. Flera verktyg och databaser finns tillgängliga på internet för att beräkna förutsättningar för detta.

För att uppnå hållbara långsiktiga lösningar bör ett flexibelt förarbete, där alla tänkbara möjligheter, inklusive hybridsystem, behov på plats, flexibel el-generering och förvaring, tas i beaktande.

Projektförslag måste tydligt kunna motivera för en finansiär varför det är nödvändigt med en helhetssyn på energisystemet, genom att t.ex. byta belysningskällor, AC och nätverksstruktur samt främja beteendeförändring för att maximera den positiva miljöpåverkan och inte bara byta energikällan.

En så fullständig belastningsprofil (load profile) som möjligt bör uppskattas för att kunna dimensionera systemet rätt. En inventering av alla typer och antal funktioner som förbrukar el bör göras, dess effektivitet med avseende på elförbrukning, elektriska behov, behov av backup-system etc. Ett exempel på ett bra verktyg är en självinstruerande checklista framtagen av UNDP.¹⁰⁰

Upphandling, transport, logistik och tullhantering etc. kan ta mer tid än planerat. Goda tidsmarginaler i projektplaneringen bör ta höjd för detta.

En riskbedömning av projektet bör göras som bör omfatta såväl ekonomiska risker som projektrisker.

Omfallsplanering behövs eftersom omständigheter kan ändras över tid.

6.7.2 System

En av utmaningarna med solpaneler för el-generering är att det på många ställen finns en variabilitet i sol som energikälla över dygnet och årets månader. Att överväga ett hybridsystem av något slag (sol-diesel, sol-vind, biogas, mikronät etc.) och/eller en kombination med bättre isolering och helhetslösningar för minskad energiförbrukning, inklusive LED-belysning, energisnåla varianter av datorer, VSAT, UPS och servrar uppgavs av många som det enda realistiska för operativ verksamhet med höga säkerhetskrav och krav på tillgänglighet på el 24/7.

Solpaneler av tunnfilmstyp är stryktåliga, lätta och kostnadseffektiva men har lägre verkningsgrad. Utvecklingen går dock snabbt och är värd att följa. Möjligheten till återvinning av uttjänta paneler bör beaktas vid anskaffning.

Växelriktare med ren sinusvåg rekommenderas av flera vi pratat med eftersom vissa elektriska produkter kräver ren sinusvåg för att utesluta störningar i funktion. Numera finns det centraliserade styrenheter och kombinerade växelriktare/laddningsregulator som används direktkopplade till nät, kopplade till batterisystem, eller både och som kan vara av intresse att studera vidare.

¹⁰⁰ UNDP, 2015c

Om insatsen där solcellerna ska användas måste skickas med kort varsel, kan AGM-batterier vara att föredra då de är tåliga och inte behöver transporteras som farligt gods.

Om öppna blysyrbatterier används kan det vara bra att säkerställa att medel för att neutralisera syran och skyddsutrustning och materiel för att tömma batterierna på syra finns tillgängligt. AGM-batterier är förmodligen att föredra i många situationer.

Varma klimat medger möjlighet till litium-polymer-batterier som ger ett högt effektuttag med mindre storlek. Dessa räknas dock som farligt gods.

Oavsett val av batterityp bör en plan för vad som ska göras när batteriernas livstid är uppnådd finnas.

Markmonterade lösningar som har sökfunktion (*sun tracking*) kräver mer underhåll än statiska, varpå de senare kan vara att föredra om man önskar minimera underhåll och reparationer.

Ett backupp-system bör finnas inför längre perioder av regn och/eller molnighet, om solpanelerna är enda energikällan.

Alla installationer som producerar en effekt som ”gör skillnad” är en högspänningsanläggning och kräver således certifierad elektriker.

6.7.3 Platsundersökning

En systematisk och noggrann platsundersökning kan motverka många problem som sedan annars kan uppstå. Detta gäller särskilt om solpanelerna ska vara en längre tid på platsen eller t.o.m. permanentas.

Utrymmet för förvaring av batterier bör om möjligt vara isolerat för att hålla en någorlunda konstant temperatur - inte för varmt eller för kallt - kring batterier och annan teknisk utrustning som stödjer solpaneler/-na. I idealfallet bör växelriktare, batterier etc. vara placerade nära varandra för att undvika förluster i systemet. Vidare bör solpanelerna vara så nära el-centralen som möjligt för att minimera överföringsförlusterna i kablagen.

6.7.4 Transport och logistik

En välfungerande logistik och marginaler i tidsplaneringen är avgörande för att kunna hålla ett högt tempo. Man bör räkna med förseningar - särskilt om transport sker med båt.

Utrustningen måste förpackas i stadiga pack-/trälådor för att undvika skador.

Storlek, vikt och ömtålighet på armaturer, solpaneler och batterier samt att vissa typer av batterier klassas som farligt gods vid flygtransporter, ställer stora krav på logistikkedjan.

6.7.5 Installation och driftsättning

Om den byggnad/tak som panelen planeras för har kortare livslängd kvar än solcellssystemet kan markmontering vara att föredra. En bra tidpunkt för installation är samtidigt som takkonstruktionen genomförs alternativt i samband med renovering/förstärkning av takkonstruktioner etc.

Man får räkna med att det under en övergångsperiod uppstår diverse problem innan gamla generatorer, fortfarande i bruk, fasas ut.

6.7.6 Utbildning och medvetandegörande

För framgång med ett solcellsprojekt krävs en kombination av teknik och ökad medvetenhet/beteendeförändring hos personal som bor och/eller verkar på platsen. Den bästa energin (W) är den som aldrig används.

När det gäller utbildningsinsatser måste det klart framgå vad som ska ingå och förväntas att uppnås samt för vem.

6.7.7 Övervakning

De första en till två månaderna efter driftsättning kan behövas innan systemet fungerar stabilt och utmaningar under denna period kan innefatta behov av utbyte av vissa komponenter eller fine tuning etc. Exempelvis kan lokalt anpassade, optimala vinklar ut instrålningssynpunkt för solpanelerna behöva justeras efter hand p.g.a. årstidsvariationer i klimat och eventuell risk för stormbyar. Damm på panelerna måste hanteras under torrperioder.

7 Slutsatser och rekommendationer

Fallande priser på solpaneler, LED-lampor m.m. gör alternativa energikällor till en alltmer attraktiv investering. En övergång till mer energieffektiv verksamhet och alternativa energikedjor stöds av såväl utfallet av klimatkonferensen i Paris (COP-21) som de nya utvecklingsmålen.¹⁰¹ Vidare bidrar en ökad självförsörjning/minskad energianvändning såväl till en minskning av vissa typer av säkerhetsrisker som till ökad effektivitet i kärnverksamheten och de operativa leveranserna.

Det finns emellertid inte en lösning som passar alla situationer och geografiska platser/klimat. MSB bör därför satsa på att ta fram en portfölj med olika lösningar, inklusive en checklista där det snabbt kan identifieras vilken lösning som är mest sannolik att fungera optimalt, givet de aktuella förutsättningarna. Val av lösningar bör vidare innehålla en livscykelanalys där bl.a. möjligheter till återvinning av uttjänta komponenter i systemet beaktas.

En kontinuerlig bevakning av utvecklingen avseende solenergi bör genomföras eftersom den går mycket snabbt. Bevakningen bör även innefatta andra alternativa energilösningar (vid, biogas etc.) samt mikronät, som kan tänkas ingå i hybridlösningar. Vidare bör holistiska lösningar, som även tar i beaktande bättre isolering, energisnål utrustning och beteendeförändring eftersträvas.

Ett energisparprogram bör tas fram och utbildningsinsatser för att främja ett förändrat beteende genomföras som ett komplement till teknikerna.

¹⁰¹ SDG, Sustainable Development Goals.

8 Referenser

- Amillo, A. G, Huld, T. Müller, R. (2014) A New Database of Global and Direct Solar Radiation Using the Eastern Meteosat Satellite, Models and Validation Remote Sens. 2014, 6, 8165-8189
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/doc/paper/Gracia_2014.pdf
- Baile et al (2015) Semi-transparent perovskite solar cells for tandems with silicon and CIGS. Energy & Environmental Science, Issue 3, 2015
- Blomberg Business (2015) Solar and vind just passed another big turning point
<http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-10-06/solar-wind-reach-a-big-renewables-turning-point-bnef>
- Dearden, L. (2015) Ikea's flat pack refugee shelters housing thousands of desperate families across Europe as winter closes in. The Independent. 28 November 2015.
<http://www.independent.co.uk/news/world/europe/ikeas-flat-pack-refugee-shelters-housing-thousands-of-desperate-families-across-europe-as-winter-a6752576.html>
- Ellis, L. (2014) Exercice Guerrier Nordique: Small solar generator used under cold-weather conditions. National defence and the Canadian Armed Forces. 30 April 2014,
<http://www.forces.gc.ca/en/news/article.page?doc=first-renewable-energy-mini-electric-power-station/humd3dga>
- Energimyndigheten (2009) Solceller- Informationsbroschyr om att producera el med hjälp av solceller
http://www.solpanel.se/images/stories/solpaneler/090701-solceller_broschyr.pdf
- Franceschi, J. Rothkop, J. Miller, G. (2014) Off-grid Solar PV Power for Humanitarian Action: From Emergency Communications to Refugee Camp Micro-grids, Procedia Engineering, Volume 78, 2014, Pages 229–235, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814010480>
- IEA (International Energy Agency, 2014) Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf
- IEC (International Electrotechnical Commission, 2014) White Paper Microgrids for disaster preparedness and recovery with electricity continuity plans and systems
<http://www.iec.ch/whitepaper/microgrids/?ref=extfooter>
- IRENA (International Renewable Energy Agency, 2015) Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook, January 2015.
http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_battery_storage_report_2015.pdf
- Isaksson, J. & Aronsson, S. (2015) Solenergi DRC SI-LOG reserapport. MSB 150210, Internt MSB-dokument.
- IVA (Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, 2015) Energilagring- Teknik för lagring. el
- IVA-projektet Vägval el <http://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/vagval-el/vagval-el-lagring.pdf>
- Harnesk, T. (2015) Dramatisk ökning av verkningsgrad hos solceller. Ny Teknik 18 januari 2015,
http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/solenergi/article3877032.ece
- Lahn, G. & Grafham, O. (2015) Heat, Light and Power for Refugees. Saving Lives, Reducing Costs Chatham House Report for the Moving Energy Initiative, November 2015,
<https://www.chathamhouse.org/publication/heat-light-and-power-refugees-saving-lives-reducing-costs>
- Lightening Africa (2010) Overview report Solar Lighting for the Base of the Pyramid. 30 June 2010.
<http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a68a120048fd175eb8dcbc849537832d/SolarLightingBasePyramid.pdf?MOD=AJPERES>
- Liljedahl, B., Gryzbowski, F. Waleij, A. (2015) Sustainable solutions in peacekeeping operations. 'Eco-friendly camp solutions' – PILOT UNMISS JUBA, South Sudan. In Press.

- Liljedahl, B. (2011) Slutredovisning rörande ”Miljöskydd och hälsorisker i fredsfrämjande insatser” - Projekt rörande miljöskydd och hälsorisker i fredsfrämjande insatser till stöd för och i samarbete med Förenta Nationerna (FN) (UD2008/9571/SP), UD2009/40981/SP, UF2009/67071/FIM, UF2010/72443/FIM. Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), december 2011
- Liljedahl, B., Rydbo, M., Martinsson, E., and A. Waleij. (2009). Energy efficient UN-camp - repayment on additional investment. FOI-SH--0078--SE Swedish Defence Research Agency, Umeå, Sweden.
- Mathis, S. (2015) Perovskit öppnar för serietillverkning 12 december 2015. Energinyheter.se, <http://www.energinyheter.se/2015/12/perovskit-ppnar-f-r-serietillverkning>
- Mooney, C. (2015) Why Tesla’s announcement is such a big deal: The coming revolution in energy storage. Washington Post, May 1, 2015, <https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2015/04/30/why-teslas-announcement-could-be-such-a-big-deal/>
- Naturvårdsverket (2010) Förnybara energikällors inverkan på de svenska miljömålen. Rapport 6391, November 2010. <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6391-7.pdf>
- Nazira, R. Laksonoa, H. D. Waldia, E. P. Ekaputrab, E. Coveriaa, P. (2014) Renewable Energy Sources Optimization: A Micro-Grid Model Design. Energy Procedia 52 (2014) 316 – 327
- Newell B. and E. B. Shields. (2012) USMC Expeditionary Energy Office Report on Expeditionary Energy Data Collection within Regional Command Southwest, Afghanistan. USMC Expeditionary Energy Office, September 2012.
- Rehman, S. & , Al-Hadhrami, L. M. (2010) Study of a solar PV–diesel–battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha, Saudi Arabia Energy Volume 35, Issue 12, December 2010, Pages 4986–4995, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544210004615>
- Savin, H. (2015) Black silicon solar cells with interdigitated back-contacts achieve 22.1% efficiency Nature Nanotechnology 10, 624–628
- Severson, B. Leger, A.S. (2013) Feasibility Study of Photovoltaic Panels in Military Temporary Housing Structures <http://www.erd.usace.army.mil/Portals/55/docs/FeasibilityStudyofPhotovoltaicPanelsinMilitaryTemporaryHousingStructuresbySEVERSON.pdf>
- Sol & Energiteknik SE AB (2013) Solceller- producera egen el. Huskvarna 18 januari 2013.
- UNDP (2015a) Green Energy Pamphlet. UNDP Office of Information Systems & Technology, Global ICT Advisory Unit.
- UNDP (2015b) Preliminary Solar Site Survey Form UNDP Office of Information Systems & Technology, Global ICT Advisory Unit. 12 February 2015
- UNDP (2015c) Preliminary Solar Site Survey Form. UNDP Office of Information Systems & Technology, Global ICT Advisory Unit. 12 February 2015
- UNDP (2015d) Progress Report On Deployment of Solar Energy Solution To Country Offices Affected By Ebola. UNDP Office of Information Systems & Technology, Global ICT Advisory Unit. 18 February 2015.
- UNDP (2015e) PCMM Procedures- Power Consumption and Monitoring Solution UNDP Office of Information Systems & Technology, Global ICT Advisory Unit. 29 July 2015
- UNDP (2014) Solar power solutions for Country Offices Procedures- Business case and Wiki on ICT solar power solutions delivery model. UNDP Office of Information Systems & Technology, Global ICT Advisory Unit, 26 September 2014
- UNHCR (2015) ‘From Street Lights to Micro-grid, Mission Report’, UNHCR Innovation, Engineers without Borders, unpublished, 2015.
- Upadhyay, A. (2015) 1st Airport In World To Go 100% Solar Is In India. CleanTechnica, August 21st, 2015, <http://cleantechnica.com/2015/08/21/1st-airport-world-go-100-solar-india/>

von Schultz, C (2015) Solceller som är perfekt för nordiska vintrar. Ny Teknik 21 maj 2015
http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/solenergi/article3909573.ece

Hemsidor

<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/homer.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
<http://www.homerenergy.com/>
<http://thezerobase.com/>
<http://batteryuniversity.com/>
http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png
<http://solargis.info/>
<http://www.gatr.com/>
http://gosolarrving.com/products/Go%20Solar_PowerFilm_ProductBrochure.pdf
<https://weather-and-climate.com/>
http://www.fischeritalia.it/wp-content/uploads/2013/07/TDB_01_SOLARFLAT_F_SEN_AIP_V1.pdf
<http://www.remotemonitoringsystems.ca/rms200/rms-200-introduction.php>
<http://www.primuswindpower.com/wind-power-products/air-40-turbine/>
<http://www.gsol.dk/en/>
<http://www.pvcycle.org/>
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa#>
<http://www.cosmosolar.com/en/products/solar-water-heaters>
<https://www.youtube.com/watch?v=n7FszlCB3Q0>
<http://www.victronenergy.se/inverters-chargers/easysolar>
<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/about_pvgis/about_pvgis.htm
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/doc/paper/Gracia_2014.pdf
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/imaps/index.htm>
<http://www.drehtainer.com/products/defence.html>
<http://www.estechologies.nl/en/case-defense-project-mali/>
<http://www.zonel.nl/en/over-zonel/>
<http://www.estechologies.nl/en/case-defense-project-mali/>
http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-CB4A5726-F050CF45/fronius_international/hs.xsl/83_25274_ENG_HTML.htm#.Vm2ACrgrLIU
https://www.teslamotors.com/sv_SE/POWERWALL
https://www.teslamotors.com/sv_SE/gigafactory
<http://solarlab.se/solpanel/solcell-fakta>

Bilaga 1 - Frågetemplat

Solar power deployment

Name the **location** where the solar power system was/is deployed. If several deployments/different system, please chose the one you think you have the most mature experiences from.

Name the **time** when the system was/is deployed, .e.g. how many weeks/months and when

If several deployments/different systems, please name the location and time for the other ones for possible follow up questions.

Planning

- What kind of planning was conducted prior to deploying the solar power system?
 - Was a site survey conducted?
 - If not, why?
 - If so, what information did it contain?
 - Was solar irradiance assessed?
 - If not, why?
 - If so, what did it show?
 - Was an estimated load profile conducted?
 - If not, why?
 - If so, what did it show?
 - Was any return of investment calculations made?
 - If not, why?
 - If so, what was the estimated break even?
 - Was a risk assessment conducted for the investment?
 - Did planning involve combined energy solutions, e.g. wind power?
 - Was any environmental considerations factored in, such as choice of battery system and/or management of hazardous waste
 - If not, why?
 - If so, what?
 - Was any training performed for personnel in charge of operating the system?
 - If not, why?
 - If so what did it contain?
 - Was any other specific planning conducted not mentioned above
 - If so what?

System

- What type/s of solar power system has been used?
 - What solar vendor and type of panels/ modules was chosen and why?
 - What sizes/shapes of solar panels have been used?
 - What kind of inverters have been used?
 - What kind of charge controller have been used?
 - What types of batteries have been used and what considerations were made when choosing batteries
 - In addition to solar panels, has any type of portable and/or briefcase solutions for Solar been used?
 - If not, why
 - If so, what types and for what purposes?
 - How long did it take to establish the system and what kind of resources were required??

Performance and monitoring

- Was/is the solar power connected to
 - The grid?

- A battery system?
 - Both?
- What estimated efficiency was assessed prior to deployment of the system?
- What was the real life performance?
- How was power consumption monitored?
- How was the system's performance monitoring conducted?
- What kind of experiences with energy storage do you have?
- Has any "on the job training" for operating and maintaining the system been conducted in the field
- Has any actions towards behavioral change/ awareness campaign regarding energy efficiency and/or energy conservation
 - If not, why
 - If so, what kind of training?
- Have you experience any specific performance or maintenance problems with the system?
 - If so, what kind of problems

Innovations in solar power

- Do you have any experiences with thin film solar power?
 - If yes, what are those experiences
 - Do your organization have plans in the future for using thin film solar?
 - If no, what is the reason?
- Do you have any experiences with lithium ion batteries?
- Is there any other innovation regarding solar power that you are considering?

Bilaga 2 - Exempel på ifylld riskbedömning (UNDP)

	A	B	C	D	F
	Risks	Like- lihood	Impact		Mitigation
1	Improper Technical Installation Wrong assembly and wiring at the site could fry the inverters and batteries making the system unusable	low	High		1. Delivered as plug and play solution (power management part assembled and configured at vendor facilities) with few cables to be connected between the units; 2. Vendor engineer travel at the site for QA, installation oversight and commissioning;
2	Unstable Grid Unstable grid may cause an on-grid solar system to shut off and should do so on in some cases. However some inverters may not be able to handle grid conditions in developing countries	Low	High		3. Request capacity of inverters from contractor and get guarantees
3	Damage from Natural Disasters West Africa prone to lightening . Season storm may damage panels or reduce their efficiency from flying objects, requiring replacement.	Medium	High		4. Ensure redundant and best of breed lightening protection ; 5. Implement a preventive maintenance plan; 6. Plan for 5% panel replacement per year;
4	Weather Conditions Weather conditions may change from day to day and year reducing the output.	Medium	Medium		7. Maintain a generator backup with sufficient fuel storage;
5	Compromising Building Integrity Roof needs to be able to hold the panels including the wind load.	Medium	High		8. Site survey and the building engineer must review site preparation and civil work plan; 9. Bracket of the panels must be solidly anchored to the roof while not compromising its integrity and causing water leaks;
6	Faulty Utilization of System The CO is forced by faulty utilization of the Solar system to discharge the battery below 50% of capacity, reducing the longevity of batteries which will increase the cost of the system.	Medium	Low		10. Add batteries to avoid discharging below 50%; 11. Replace batteries sooner than 10 years; 12. Implement proper monitoring and alarm systems;
7	Improper Space for Solar Panel Lack of space with proper sun exposition.	Medium	High		13. Conduct a thorough site survey ; 14. Accept lower performance;
8	Improper Battery Room Battery room too hot and subject to flooding and other environmental hazards.	Medium	High		15. Accept lower batteries performance; 16. Choose a dry and well ventilated room;
9	Improper Power Load Assessment Under estimate power load required for normal utilization and peaks.	Low	Medium		17. Conduct through site survey and evaluation of current electrical set-up and generator; 18. Use the grid or generator to fill the gap;
10	Lack of Users Expertise Regular maintenance not done properly and safety measures not implemented.	Medium	Medium		19. Training will be given to the CO staff; 20. Local partner will be on standby; 21. Preventive plan and safety plan will be maintained 22. Implement remote monitoring and alarm systems done by experts (vendors);

Bilaga 3 - Räkneexempel avseende kostnader för diesel och solenergi för UNDPs solcellsinvestering i Västafrika

Calculations Diesel generator vs. solar power

Example: Ebola countries

Hours Running FULL LOAD 40 kw	8	2920 (365*8)
CO Diesel Usage Liters	121	44092

Cost per Country in USD 2012 pump price	Cost per year
Liberia	147.6 53874
Guinea	163.35 59622.75
CDR	179.08 65364.2
Sierra Leone	126.84 46296.6

Pump price for diesel fuel (\$US per liter)		
Country	2004-08	2012
Liberia	0.96	1.22
Guinea	0.95	1.35
CDR	1.27	1.48
Sierra Leone	0.94	1.05

Straight Line Deprectiation Solar kit

Cost Off grid solar power kit	71680 \$
Salvage	0 \$
Lifespan (years)	20
Annual depreciation	3584 \$

Cost (\$US) per Kwh diesel generator 2012

(Price * liter per hour)/kw	
liberia	0.47
guinea	0.51
CDR	0.56
Sierra Leone	

Instalation cost (\$US) per kw of solar system

71680/40000	1.792
-------------	-------

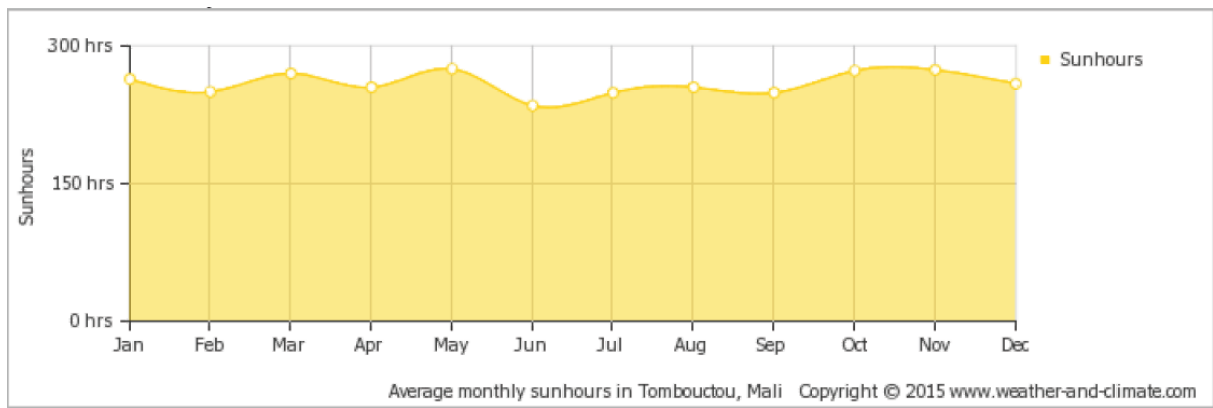
Cost (\$US) per Kwh solar panel life span 20 years

upfront cost (sc	71680
lifespan	20 years

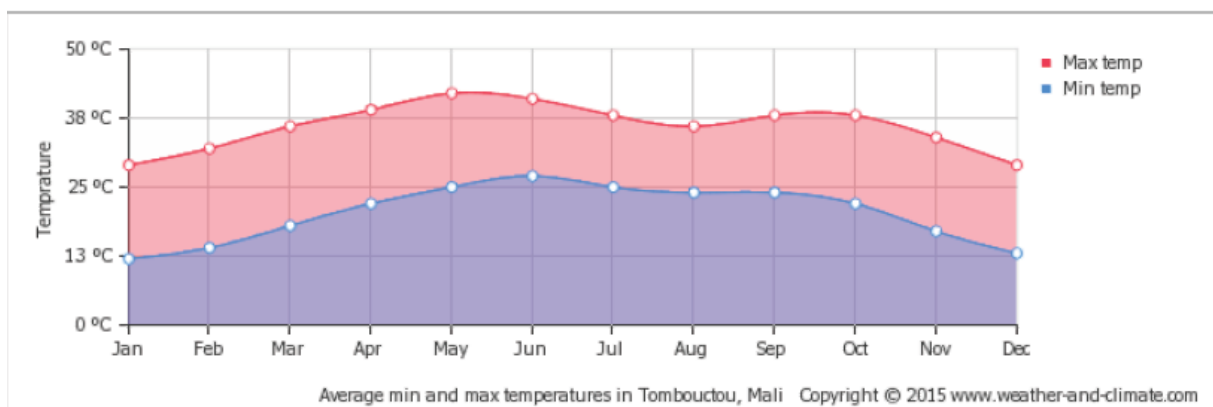
Cost Kwh = upfront cost / (20 years X 365 days (8h a day) X 40 kw output)

Cost per Kwh	0.245479452
--------------	-------------

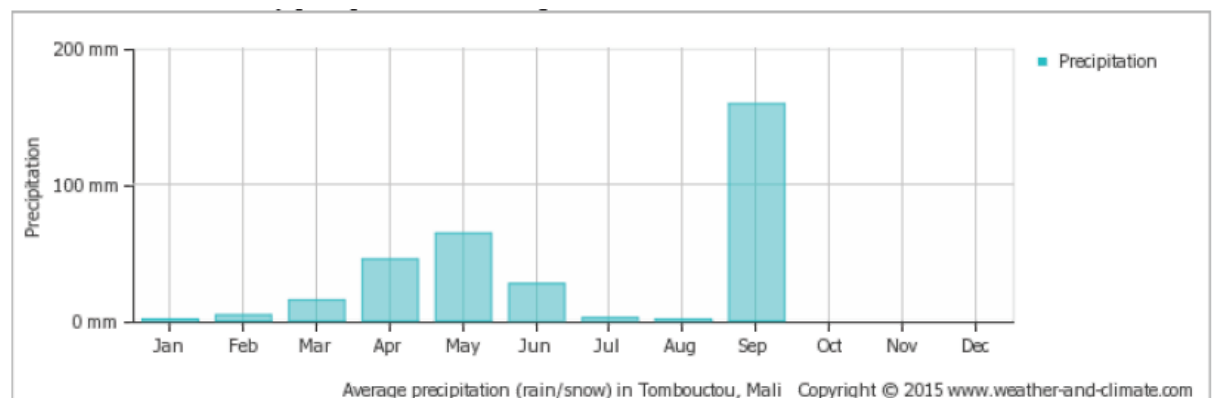
Bilaga 4 - Exempel på relevant klimatdata för en solcellslösning



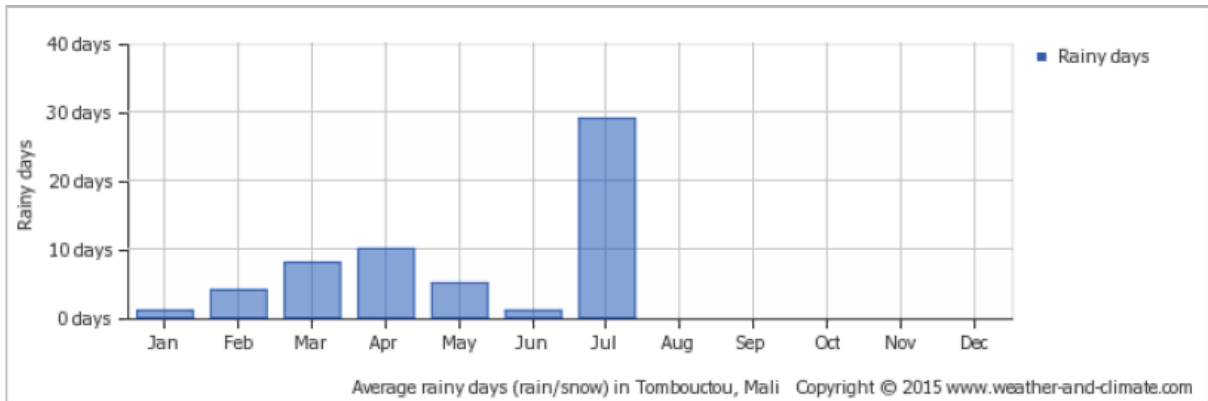
Figur 4.1. Exempel på genomsnittligt antal soltimmar på ett år.



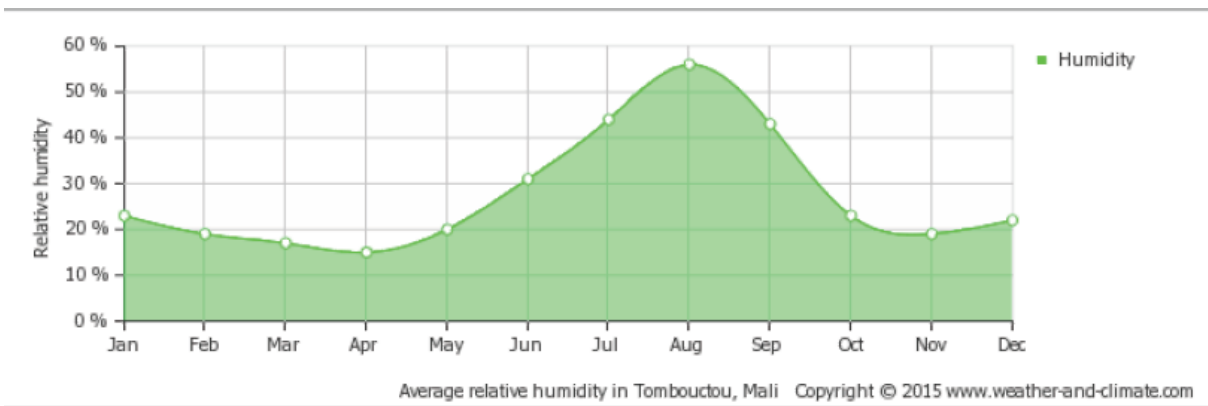
Figur 4.2. Exempel på genomsnittlig min och max-temperaturer under ett år.



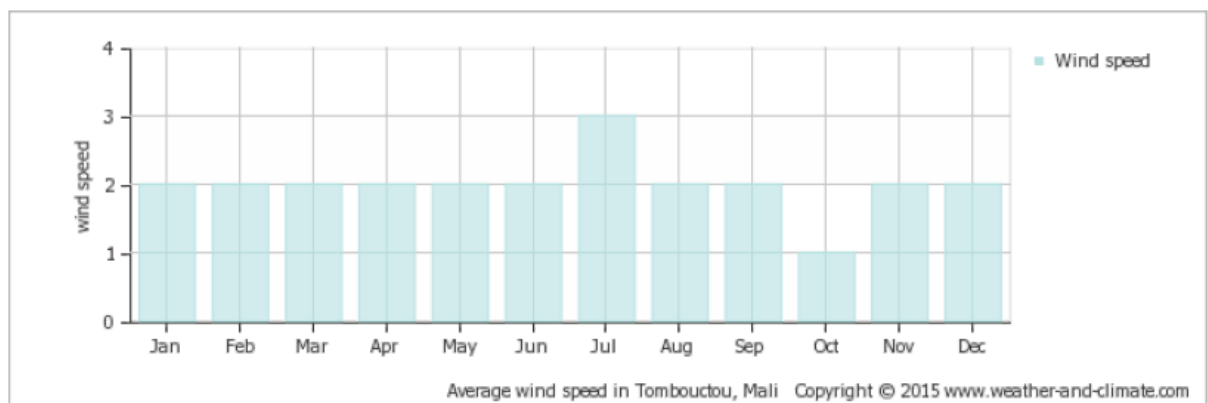
Figur 4.3. Exempel på genomsnittlig nederbörd per månad över ett år.



Figur 4.4. Exempel på genomsnittligt antal regndagar på ett år.



Figur 4.5. Exempel på genomsnittlig luftfuktighet över ett år.



Figur 4.6. Exempel på genomsnittlig vindhastighet under ett år.

Bilaga 5 - Kontakter tagna i studien

Organisation	Kontaktperson	Information
UNDP	Gerald Demeules Global ICT Advisor Office of Information Systems & Technology/Bureau of Management gerald.demeules@undp.org Tel: +45-4533-6120 Mob: +45-2475-7141	Se kapitel 6.1
Amerikanska försvarsdepartementet	Desmond T. Keyes, Army G-4, G-45/7, Program Manager (Branch Chief), Army Operational Energy, 703.692.5128 – work, 240.273.8105 – mobile, desmond.t.keyes.civ@mail.mil Jonas Bateman Energy Advisor, CTR (Barbaricum LLC) US Army Rapid Equipping Force, Fort Belvoir o.(703) 704-2050 c.(757) 603-5658 jonas.g.bateman.ctr@mail.mil	Se kapitel 6.6
Holländska armén	Kennard Hofland, K.Hofland@mindef.nl Staff officer Force Support Engineering Engineers Centre of Expertise / Education and Trainings centre Royal Netherlands Army Ministry of Defense T +31 (0)73 6882012 M +31 (0)6 11085751 K.Hofland@mindef.nl	Se kapitel 6.3
Kanadensiska armén	Capt Pierre Frenette MMM,CD G6 35 Brigade Department of National Defense / Government of Canada Pierre.frenette@forces.gc.ca Tél: 418 694-2700 poste 2610 / RCCC: 665-2610/ BBerry: 418 561-0653	Se kapitel 6.2
MSB	MSB/WFP	Se kapitel 6.4
UNMISS	Fernando Gryzbowski	Se kapitel 6.5
NRC (Norwegian Refugee Council)	Annika Hampson Project Manager - Shelter Norwegian Refugee Council + 962 (0)79 011 7841 annika.hampson@nrc.no www.nrc.no	Skypemöte genomfört. Planerar anläggning i Jordanien som ska försörja flyktingläger och närliggande byar med el. Solar i flyktingläger http://www.nrc.no/?did=9190121#.VXqobc-qpBc http://www.nrc.no/?did=9194591#.VXqoo8-qpBc
UNHCR	Paul Mccallion, energy expert MCCALLIO@unhcr.org	Telefonmöte genomfört. UNHCRs verksamhet avseende hållbara energilösningar är framför allt fokuserad på

		bränsleeffektiva spisar och mindre solcellslösningar som solvattenpumpar, soldriven gatubelysning (lanterner), soldrivna mobiltelefonladdare m.m. Viss erfarenhet från solenergi för att driva fältkontor finns också. UNHCR kommer vidare att medverka i ett solcellsprojekt i Azraq, Jordanien tillsammans med bl.a. den Jordanska regeringen. Solcellprojektet kommer att var på 1MW och försörja såväl flyktingläger som tre närliggande byar med el.¹⁰² UNHCR har även i samverkan med IKEA Foundation har tagit fram en s.k. Refugee Housing Unit (RHU) vilket är en prefabricerad container-lösning bestående av tre delkomponenter; ram, vägg/takpaneler och en solpanel. Solpanelen genererar el för belysning och laddning av t.ex. en telefon under 4 timmar per dag. RHU testades i norra Irak samt i Dollo Ado, Etiopien där antropologer arbetade tillsammans med flyktingpopulationen för att säkerställa att RHU-lösningen skulle fungera under omständigheterna samt kännas värdig att använda. Fram till hösten 2015 har lösningen använts i bl.a. Etiopien, Irak, och senast på Lesbos, Grekland.¹⁰³
UNOPS (United Nations Office for Project Services)	Mr. Finn Lundorf Senior Technical Advisor HQ Procurement Group Marmorvej 51, 2100 Copenhagen O, Denmark Tel: +45 4533 7635 Skype: finn.lundorf Email: finnL@unops.org	Har en <i>Solar Power Catalogue</i> for a variety of uses and can be used in a range of geographical locations. http://www.greeningtheblue.org/news/unops-launches-solar-power-catalogue UNOPS Contractor NAI; Harsham och Baharka IDP camps in Erbil http://www.slideshare.net/YousefOdeh1/nai-solar-project-in-erbil-47821454
NATO	ACO: Lloyd Chubbs NATO ES CoE: Raza Razarauskilene	NATO begränsat egna erfarenheter (endast nationerna)
Belgiens armé	Johan Laire, Johan.Laire@mil.be	Har inga egna erfarenheter än
Storbritannien	Jim MacMenemy DESTECH-TechOfficeCCE1@mod.uk	PowerFOB; försök med 16 kw paneler samt 4 kw paneler i Cypern och Kenya
UNDFS	Sungmin Patricia Kim, UNDFS/ES / SSS / LSD Department of Field Support kim19@un.org	FNs fredsfrämjande har som mål att år 2020 ha 50 % förnyelsebar energianvändning i insatserna. För närvarande drivs den mesta av verksamheten med dieseldrivna generatorer men det finns bl.a. viss utrustning via systemkontrakten, däribland en hygien-container med medföljande solpaneler för uppvärmning av vatten (figur) samt soldrivna vattenpumpar.

102

Lahn & Grafham, 2015

103

Dearden, 2015

		 Solpanel på hygiencontainer för uppvärmning av vatten.¹⁰⁴ UNIFIL, UNMIT, MINUSTAH, MONUSCO har erfarenheter. En av de insatser som hunnit långt avseende solenergi är UNIFIL, Libanon. Insatsens högkvarter och huvud-camp, Green Hill i södra Libanon drevs år 2011 till 15 % med förnyelsebar energi. Såväl statiskt monterade som roterande solpaneler har testats, där den senare varianten har fördelen att den kräver mindre underhåll.¹⁰⁵
UNEP	Antonio Perera Programme Manager Haiti, PCDMB Antonio.Perera@unep.org	Haiti Sustainable Energy project http://haitisustainableenergy.org/
EDA (European Defence Agency)	Sharon MCMANUS Sharon.MCMANUS@eda.europa.eu	Mäter på systemet i Mali mellan oktober 2015 och januari 2016 Smart Energy camp Mali https://www.eda.europa.eu/docs/default-source/procurement-library/14-esi-op-101-tender-specifications-updated-dates.pdf Cypern https://www.eda.europa.eu/info-hub/news/2015/01/09/go-green-eda-brings-solar-energy-to-airbase-in-cyprus

¹⁰⁴ Se <http://www.cosmosolar.com/en/products/solar-water-heaters>

¹⁰⁵ Se <https://www.youtube.com/watch?v=n7FszLCB3Q0>

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se