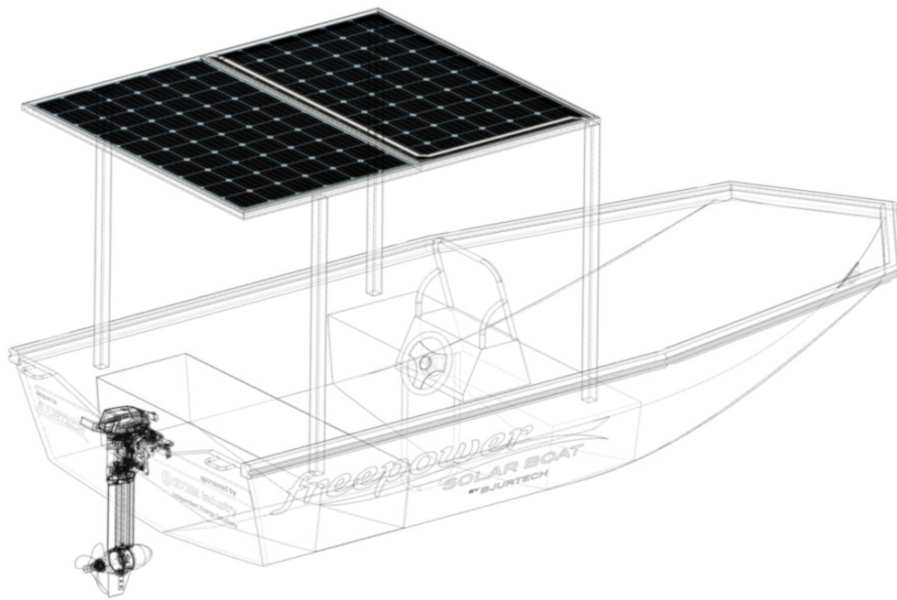


Examensarbete

Energiingenjör – Förnybar energi 180 hp



KONCEPTANALYS OCH DRIFTFALLSOPTIMERING AV "FREEPOWER – SOLAR BOAT"

Energiteknik 15 hp

Halmstad 2019-06-03

David Ahlbäck



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Abstract

This report aims to analyse the concept of Bjurtech AB:s ongoing development project "Freepower - Solar Boat". Main focuses are technical optimization and usability from an end user perspective. Bjurtechs idea is to build an electric-powered 5-meter boat charged by integrated photovoltaic cells. The project's intended pilot market is Sri Lankas coastal fishing fleet. A version for the Scandinavian market is also under consideration and both concepts are analysed in this report. Initially a 4.5-meter prototype was built and tested to try the concept in practise. Methods used are computer simulations in Matlab based on data collected from trail runs with the prototype combined with weather data from Sri Lanka and Sweden. The data and simulations were then used to try to determine whether the concept works for the intended target markets, as well as how the assumed user profiles affect usability and technical deterioration such as battery life. The approach used was to try to determine how to maximize the availability of the system in regards to battery charge level over the whole year at the same time as maximizing distance and boat speed per day. The systems CO₂ emissions were then compared to an equivalent petrol-powered boat with the same amount of running hours over 25 years. The main findings of the study are, provided 12 to 14.5 nautical miles is regarded as a sufficient daily distance at 3 to 3.7 knots boat speed, that the system can deliver a high level of availability all year around for fishing operations in Sri Lanka. Considering the demand for daily availability is not as high for the assumed recreational use in Scandinavian markets the system is deemed to perform at a satisfactory level at these latitudes as well. The CO₂ comparison showed a significant emissions decrease in the case of year around operations in Sri Lanka. In Scandinavia a reduction is obtained if there are a sufficient amount of operating hours per year. An increase of the installed rated power, W_p , was found to be the most cost efficient way of improving overall performance and that the prototypes photovoltaics of 580 W_p should in both the Sri Lankan and Scandinavian case be increased to a minimum of 800 W_p . Finally it was concluded that user awareness of how system operation impacts battery life can be of significant importance for a positive environmental result and long technical lifetime.

Sammanfattning

Denna rapport syftar till att analysera Bjurtech AB:s pågående utvecklingsprojekt "Freepower – Solar Boat". Rapporten fokuserar på de tekniska aspekterna av projektet i kombination med hur prestandan lever upp till driftskrav från den tilltänkta slutanvändaren. Bjurtech:s konceptidé är en 5 meter lång eldriven båt laddad av integrerade solceller. Sri-Lankas kustnära fiskeflotta är projektets initiala pilotmarknad men det finns även planer på en fritidsversion för den skandinaviska marknaden. Båda varianter analyseras i denna rapport. Designen är tänkt att vara så enkel och underhållsfri som möjligt. Versionen för Sri-Lankas marknad baseras på redan existerande lokala båtars design och skall byggas av ett lokalt varv för att förankra projektet med den lokala ekonomin.

Inledningsvis byggdes en 4,5 meter lång prototyp för att testa hur systemet presterade i verkliga förhållanden. Insamlade data från provturer med prototypen, i kombination med väderdata från Sri-Lanka och Sverige, användes sedan för att konstruera en modell i Matlab. Simuleringar utifrån denna modell belyste hur båten presterade utifrån olika tekniska specifikationer och användarprofiler, samt hur användningssätt kan komma att påverka tillgänglighetsgrad och teknisk livslängd på batterier.

Tillvägagångssättet var i huvudsak att maximera systemets tillgänglighet över ett år och möjlig distans och fart per dag i förhållande till batterinivå. Systemets CO₂-utsläpp jämfördes sedan med en motsvarande bensindriven båt med samma antal drifttimmar över 25 år.

Förutsatt att en distans på 12 till 14,5 nautiska mil per dag med 3 till 3,7 knops marchfart är godtagbart, var resultatet att konceptet bedöms fungera väl för fiskeverksamhet året runt i Sri Lanka. Då daglig tillgänglighet inte antas lika viktigt vid en mer fritidsbetonad drift i Skandinavien bedöms lösningen kunna leverera på en tillfredställande nivå även på dessa breddgrader. Systemets miljöpåverkan jämfört en bensindriven båt visade på en avsevärd minskning av utsläpp vid helårsdrift i Sri Lanka. I Skandinavien erhålls en minskning vid ett tillräckligt antal driftstimmar per år. En ökning av den installerade nominella effekten, Wp, visade sig vara det mest kostnadseffektiva sättet att förbättra den övergripande prestandan. Simuleringarna visade på att prototypens installerade effekt på 580 Wp bör ökas till minst 800 Wp. Till sist drogs slutsatsen att användarens medvetenhet om hur driften av systemet påverkar batteriernas livslängd kan vara av stor betydelse, både för den tekniska livslängden och för en minskad miljöpåverkan, jämfört med en bensindriven båt.

Förord

I och med detta examensarbete avslutas min tid vid Högskolan i Halmstad och tre lärorika år på energiingenjörsprogrammet. Mitt intresse för elkraft och teknik kombinerat med min tidigare arbetserfarenhet till sjöss gjorde att jag fick upp ögonen för Bjurtechs spännande Freepower-projekt.

Jag vill tacka Martin Bjurmalm på Bjurtech för gott samarbete och ett intressant och lärorikt projekt. Tack för att jag fått vara med en bit på vägen av Bjurtechs resa. Ett särskilt stort tack till Fredric Ottermo vars goda handledning och ovärderlig hjälp gjort detta examensarbete möjligt. Jag vill även rikta min tacksamhet till examinerare, opponenter och övriga lärare på energiprogrammet som svarat på frågor under arbetets gång och vars tips och kommentarer har förbättrat slutresultatet avsevärt.

David Ahlbäck

Halmstad, maj 2019

Nomenklatur

SOC	State of charge	Batteriets laddningsnivå
DOD	Depth of discharge	Hur djupt batterierna laddas ur
C-rate	Charge/discharge rate	Ampere under i och urladdning av batteri
BMS	Battery managment system	Batteriets styrsystem
NM	Nautisk mil	1852 meter
kn	knop	NM/h
-	fart över grund	Fart relativt havsbotten
-	fart genom vattnet	Fart relativt omgivande vatten

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bjurtechs vision	1
1.2	Det kustnära fisket i Sri-Lanka	1
1.3	Syfte	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Metod och material	3
2.1	Prototyp och tekniska specifikationer	3
2.1.1	Skrov	3
2.1.2	Motor	3
2.1.3	Batteri	4
2.1.4	PV-paneler	5
2.2	Materialens miljöpåverkan	6
2.3	Datainsamling.....	6
2.3.1	Solinstrålningsdata	6
2.3.2	Vind och vågförhållanden.....	8
2.3.3	Provtursdata	8
2.4	Bearbetning av mätdata.....	10
2.4.1	Antaganden	10
2.4.2	Beräkningsmodell	12
2.4.3	Validering av beräkningsmodell	13
2.4.4	Modellens begränsningar	14
3	Resultat och analys	14
3.1	Driftfall Sri Lanka	14
3.1.1	Användarprofiler	17
3.1.2	Resultat Sri Lanka	18
3.2	Driftfall Skandinavien	20
3.2.1	Användarprofiler	20
3.2.2	Resultat Skandinavien	21
3.3	Miljöpåverkan	22
3.3.1	Sri Lanka	22
3.3.2	Skandinavien	23
4	Diskussion	24
5	Slutsatser	26
6	Referenser.....	27
	Appendix	

1 Introduktion

1.1 Bjurtechs vision

Bjurtech AB är en Göteborgsbaserad konsultfirma startad 2016 med huvudfokus på energi, miljö och nautiksektorn. Denna rapport görs inom ramen för Bjurtechs pågående utvecklingsprojekt "Freepower -Solar Boat". Det övergripande syftet med projektet är att minska användandet av fossila bränslen, minska människors miljöpåverkan samt att minska fattigdom. Detta genom att utveckla och lansera en elektriskt driven båt, försörjd av integrerade solcellspaneler, riktad mot det småskaliga fisket i utvecklingsländer. Målgruppen är det kustnära fisket och första versionen planeras vara fem till sex meter lång, utrustad med elektrisk utombordare, solcellspaneler och batteribank. Vartefter som utvecklingen går framåt på området är förhoppningen att skala upp tekniken och bygga större och längre båtar. Marknadsmodellen är att fiskare skall betala motsvarande summa de tidigare använt på drivmedel per fisketur som avbetalning. På så sätt skall investeringen vara betald efter cirka tre år. Därefter har fiskarna inga utgifter för drivmedel samtidigt som behovet av fossila bränslen för att driva deras verksamhet är eliminerat. På marknader där det behövs är ett system med mikrolån tänkt att hjälpa till med lanseringen. Även ett utbytesprogram för batterier är planerat för att maximera båtarnas tekniska livslängd och ta till vara på använda batterierna för andra ändamål (Bjurtech AB, 2019).

För inte undergräva lokala båtbyggare på plats planeras båtarna att byggas av lokala varv på respektive marknad. Detta för att skapa en hållbar affärsmodell integrerad med den lokala ekonomin, samtidigt som lokala aktörer bäst känner till specifika behov och designkrav som kan tänkas finnas på respektive marknader (Bjurtech AB, 2019).

Bjurtech har utfört en marknadsanalys där parametrar som pris på drivmedel, BNP och storlek på marknad har analyserats. Detta har sedan viktats mot kommunikationsmöjligheter och tillgången på lokala affärskontakter. Efter besök på plats och etablerandet av kontakt med intresserade parter har valet av pilotmarknad fallit på Sri-Lanka. Parallellt skall också en fritidsversion för den skandinaviska marknaden utredas (Bjurtech AB, 2019).

1.2 Det kustnära fisket i Sri-Lanka

Sri Lankas fiskeflotta bestod 2016 av ca 50000 fartyg. Av dessa var knappt 25000 glasfiberskrov med utombordare och ca 18000 icke motoriserade traditionella båtar och kanoter. Ytterligare ca 10000 båtar och kanoter av olika kategorier var aktiva inom inlandsfisket i vattendrag och sjöar (Ministry of fisheries, 2017). Glasfiberskroven som används är mellan 5 och 7,4 meter långa och utrustade med utombordare på 8 till 40 hästkrafter. Längden på de traditionella båtarna varierar mellan 5 och 12 meter. En liten minoritet av dessa båtar är utrustade med utombordare på 8 till 10 hästkrafter. Kustfisket bedrivs innanför kontinentalsockeln, vilken ligger på en medeldistans på 22 km från kusten, med en maxdistans på 40 km. Huvudsakliga fångstmetoden är garnfiske med nät som varierar i storlek från 66 till 114 meter i längd och 6,6 till 19 meter i djup. En typisk fiskeoperation utförs av två besättningsmän och innefattar utsättande av allt från 3 till 28 nät beroende på typ och storlek av båt. Ett nät tar mellan en halv och fyra timmar att sätta ut beroende på typ

och nätstorlek (Haputhantri et al., 2007). Det traditionella tillvägagångssättet för mindre båtar är att vid ankomst till valda fiskevatten låta båten driva med vinden och på så sätt använda båtens avdrift för utsättning och utsträckning av nätet. Näten får som regel ligga i och driva i ett par timmar, men beroende på fiskeförhållanden kan ett nät i extremfall ligga i så länge som tio timmar (Pajot, 1978).

1.3 Syfte

Huvudsyftet med denna rapport är att utvärdera hur den tekniska lösningen lever upp till driftskraven på de tilltänkta marknaderna, samt att optimera de tekniska specifikationerna i förhållande till antagna användningsprofiler. Med en Matlab-modell simuleras olika hypotetiska driftsfall och hur de påverkas av väderförhållande i Sri Lanka respektive Sverige. Vidare utvärderas hur de olika användarprofilernas körcykler påverkar batteriernas tekniska livslängd och hur systemets miljöpåverkan ser ut jämfört en motsvarande bensindriven båt.

Genom att modellera systemet och analysera resultatet av simuleringarna hoppas även studien identifiera hitintills förbisedda svårigheter och möjligheter. På så sätt kan förhoppningsvis rapporten vara ett underlag för att förkorta ledtider för projektet och spara in utvecklingstid och pengar på framtida prototyper och provserier.

Målet är att försöka svara på följande frågor:

- Kan den tekniska lösningen leverera prestandan för att bedriva fiske i Sri Lanka?
- Hur väl kan den tekniska lösningen prestera som en fritidsvariant för skandinaviska marknaden?
- Hur skall båten köras för att kunna utnyttjas optimalt över tid i förhållande till batterinivå och batterilivstid?
- Vilken eller vilka delar av systemet ger mest effekt på prestandan vid uppgradering?
- Vilka är de optimala tekniska specifikationerna för Sri Lanka respektive Skandinavien?
- Vad har båten för miljöpåverkan jämfört en motsvarande bensindriven båt?
- Kan några i förväg förbisedda aspekter identifieras?

1.4 Avgränsningar

De fysikaliska aspekterna kring skrov, samt placering och val av propeller och liknande, är inte huvudfokus för denna rapport då det är konceptet med elektrisk framdrift och integrerad laddning som utvärderas. Det måste dock nämnas att dessa aspekter har stor inverkan på hur systemet kan prestera i stort och att resultatet för denna rapport därför skall användas restriktivt för att bedöma andra typer av konfigurationer på området.

På grund av att projektet under vinter och vår 2019 befinner sig i en teknisk utvecklingsfas där målet är att ta fram en slutlig produkt, koncentrerar sig denna rapport i huvudsak på de tekniska delarna av Bjurtechs utvecklingsprojekt. Rapporten berör inte de detaljerade ekonomiska aspekterna då de inte är relevanta att räkna på förrän slutlig teknisk konfiguration är vald, vilket denna rapport är tänkt att vara ett underlag för. Hur avbetalningssystem, lanseringsmodeller och liknande ser ut är inte aktuellt för denna rapport då teknisk användbarhet för slutanvändaren är huvudfokus.

2 Metod och material

2.1 Prototyp och tekniska specifikationer

2.1.1 Skrov

För att ha möjligheten att testa konceptet i praktiken, identifiera designutmaningar samt få tillgång till mätdata byggdes en prototyp. Skrovet som använts är 4,55 meter långt och 1,88 meter brett, tillverkat i 2,5 millimeters aluminium. Vikten på skrovet är 290 kg och har en lastkapacitet på 5 personer eller 520 kg med en max rekommenderad motorvikt på 121 kg. Skrovtypen är CE-klassat enligt kategori C-”kustfarvatten och inomskärs”. Detta innebär att skrovtypen är konstruerat för att framföras i förhållanden med maximalt 11 till 14 m/s vindstyrka och en signifikant våghöjd på två meter. Med signifikant våghöjd menas medelvärde av den totala våghöjden för den högsta tredjedelens vågor i seglingsområdet (Furustam et al., 2013). Så länge ett skrov inte planar kan det grovt förenklat antas finnas ett 1:1-samband mellan skrovets längd i meter och så kallad skrovfart i knop. För detta skrov bör således skrovfarten vara cirka 4,5 knop. Detta är inte på något sätt skrovets maximala fart, men den framdrivande kraft som skulle behövas för att öka farten ytterligare, ökar dramatiskt (Larsson, 2015).



Figur 1. Skrov i grundutförande.



Figur 2. Prototyp efter montering av solcellsmoduler, batteri, motor, styrsystem etc.

2.1.2 Motor

En Torqueedo Cruise 2.0 R utombordsmotor har använts för framdrift. Motorn drar vid nominell drift 2000 W från batteriet. Den ger då 1120 W framdrivande effekt på propellern vilket motsvarar samma framdrivande effekt som en konventionell bensindriven utombordare på 5 hästkrafter. Detta ger en verkningsgrad på 56 % vilket kan jämföras med verkningsgraden på motsvarande bensindrivna utombordare på 5 till 15 procent (Torqueedo, 2019). Motorn har en nominell spänning på 24 till 25,9 Volt med en cut-off spänning på 21 Volt vid användandet av Litium jon batterier samt väger 15,3 kg.

Att en motor på 2000 W kan motsvara 5 hästkrafter då en hästkraft är 746 W och logiskt sett då borde kräva en motor på 3730 W, förklaras av elmotorers mycket jämnare vridmomentkurva (Coletta, 2010). Denna egenskap ger möjligheten att utrusta den eldrivna

utombordaren med en effektivare propeller och kan på så sätt ge lika stor framdrivande kraft som en större förbränningsmotor (Torqeedo, 2019).

2.1.3 Batteri

Det valda batteriet för prototypen är ett litium-jonbatteri av LiFePO_4 typ som anses ha längst livslängd och högst prestanda på marknaden (S. Papezova, 2017). Batteriets specifikationer presenteras i Tabell 1. Prototypen är utrustad med ett batteri på 2560 Wh motsvarande 100 Ah. Slutversionen är tänkt att vara utrustad med två batterier för att komma upp i nominell kapacitet på totalt 5120 Wh motsvarande 200 Ah. Antal cykler, som anges till över två tusen, är ett sätt att definiera batteriets livslängd. Begreppet syftar på antalet gånger batteriet kan laddas ur helt för att sedan laddas upp igen och fortfarande ha en acceptabel prestandanivå (Andrea, 2010). En urladdningscykel kan genomföras i omgångar eller över flera dagar. Genom att till exempel ladda ur 70 procent ena dagen, ladda upp batteriet till 100 procent under natten, och sedan använda 30 procent dagen efter har en fullständig cykel genomförts (Apple, 2019). Enligt tillverkaren skall det aktuella batteriet kunna genomgå 2000 cykler utan nämnvärd kapacitetsförlust.

BMS står för "battery management system" och har till uppgift att skydda och optimera batteriets drift. I BMS-funktionerna ingår bland annat att se till att battericellerna inte blir överladdade, övervaka att batteriets arbetstemperatur är inom tillåtna värden och att stänga av urladdning när cellerna når sin lägsta tillåtna spänningsnivå. Det är på grund av en integrerad BMS som den tillåtna urladdningsnivån kan sättas till 100 % av den tillgängliga kapaciteten (Andrea, 2010).

En Chalmersrapport från 2018, angående livslängden på litium-jonbatterier, visar på att en minskad SOC (State of charge) kan leda till mellan 50 och 130 % längre livslängd. Även DOD (Depth of discharge), omgivningstemperatur, C-rate och en strategisk användning hade en stor påverkan på antalet cykler batterierna kunde prestera (Wikner et al., 2018). En undersökning vid universitetet i Zaragoza kom fram till liknande resultat som Chalmers, där en låg C-rate markant kan påverka batteriets totala livstid i positiv riktning (R. Dufo-López et al., 2017). C-rate syftar till i- och urladdning i ampere i relation till batteriets kapacitet. Om ett batteri på 100 Ah laddas ur med 100 A tar detta en timme och dess C-rate är då 1 C. 2 C för detta batteri skulle vara 200 A, och 0,5 C motsvarar 50 ampere i eller urladdningsström. Två parallellkopplade batterier ökar den totala kapaciteten till 200 Ah för batteribanken men den maximala urladdningsströmmen på 100 A = 1 C är oförändrad för respektive batteri. Enligt grundläggande ellära adderas strömmen från de parallellkopplade batterierna och motorn mottar dubbla strömmen mot vad de enskilda batterierna avger. Om motorn drar 60 ampere laddas de respektive batterierna således ur med 30 ampere var vilket motsvarar 0,3 C.

Ytterligare ett mått på batteriets totala livslängd är kalenderlivet. Det avser den tid batteriet är i användbart skick oavsett om det används eller ej. Davide Andrea går så långt i sin bok som att mena att batterier med LiFePO_4 celler inte verkar ha någon begränsning i kalenderliv (Andrea, 2010). I den spanska studien har den maximala livslängden för batterier av LiFePO_4 typ satts till 30 år även om vissa av deras modeller kommer fram till markant mycket längre livstid än så (R. Dufo-López et al., 2017). Resultat från tidigare nämnda Chalmersrapport

menar däremot att kalenderlivet kan förlängas tre gånger om batterier förvaras med 15 % SOC i stället för 90 % (Wikner et al., 2018). Andra studier bekräftar detta resultat men lägger en ännu större vikt vid sambandet mellan höga förvaringstemperaturer och kapacitetsförlust (Kassem et al., 2012).

2018 var genomsnittspriset på världsmarknaden för litium-jon batterier 176 USD/kWh och enligt BloombergNEFs prognos är det förväntade priset för 2024 94 USD/kWh (Goldie-Scot, 2019).

Tabell 1. Egenskaper för det valda batteriet. Fabrikat och modellnamn redovisas ej av sekretesskäl.

Nominell Spänning	25,6 V
Nominell kapacitet	2560 Wh / 100 Ah
Batterityp	LiFePO ₄ (Litiumjärnfosfat)
Vikt	28 kg
Dimensioner	522 x 233 x 220 mm
BMS	Integrerat
Urladdningsnivå	100 %
I och urladdningseffektivitet	95 - 97 %
Cut-off spänning	20V ±0,05V
Antal cykler (100% DoD)	>2000
Max urladdningsström	100 A (1C)
Max laddningsström	50 A kontinuerligt (100 A Max)
Laddningsspänning	29,2 V Float: 26,5 V
Laddningskaraktäristik	CCCV
Temperaturområde i/urladdning	0 - 45°C / -10-60°C
Skydd	Över/underspänning, överladdning, övertemperatur, urladdning (cut-off)

2.1.4 PV-paneler

Prototypen är utrustad med två stycken solcellspaneler monterade som ett platt soltak över aktern delen av båten. Tillverkaren garanterar 88,5 % märkeffekt efter 15 år och 81,4 % efter 25 år. Det ger med cellerna detaljerade i Tabell 2 en total möjlig nominell effekt på 580 Watt vid installation.

Verkningsgrad och märkeffekt beräknas för solceller vid standardiserade testförhållanden (STC) för att kunna jämföra olika produkter på marknaden. Dessa är 1000 W solinstrålning per kvadratmeter vid 25°C och 1,5 AM (atmosfärstjocklek). NOCT står för "Nominal operating cell temperature" och skall motsvara mer verklighetstroga siffror för modulen och är definierade som 800 W solinstrålning per kvadratmeter med 45°C celltemperatur. Omgivningstemperaturen påverkar verkningsgraden för solcellen (Isabella et al., 2016). För solcellsmodulerna i fråga minskar effektuttaget med cirka 0,39 procent per grad Celsius över 45°C.

Enligt International Renewable Energy Agency var 2017 det europeiska medelpriset 0,5 till 0,6 USD/W för solcellsmoduler (Ilas et al., 2018).

Tabell 2. Specifikationer för den valda solcellsmodulen vid STC, tolerans ± 3 %. Fabrikat och modellnamn redovisas ej av sekretesskäl.

Märkeffekt (+5 W/-0 W)	290 W _p
Kortslutningsström	9,75 A
Tomgångsspänning	39,9 V
Ström vid P_{MPP}	8,86 A
Spänning vid P_{MPP}	32,7 V
Verkningsgrad	18,0 %
Nominell arbetstemperatur -NOCT	45 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
Dimensioner	1640 x 992 x 35 mm
Vikt	19 kg
Celltyp	Monokristallin

2.2 Materialens miljöpåverkan

Eftersom Torqueedo uppger att prototypens motor motsvarar en förbränningsmotor på 5 hästkrafter har en Yamaha F5AMHS på 5 hästkrafter valts som jämförelseobjekt. Yamaha motors har i sin motorguide för 2019 detaljerat bränsleförbrukning vid olika testförhållanden för sina motorer. Testet utfördes med ett 4,31 meter långt och 1,64 meter brett aluminiumskrov på 94 kilo med två personer ombord. Motorns maximala varvtal är 5200 varv/min och har då en förbrukning på 1,6 liter i timmen. Vid 4000 varv/min förbrukade motorn 1,2 liter i timmen (Yamaha, 2019).

En liter bensin utan etanolinblandning motsvarar ur ett livscykelperspektiv 2,81 kg CO₂-ekvivalenter enligt Trafikverkets rapport "Index över nya bilars klimatpåverkan 2014". Med 5 % etanolinblandning blir motsvarande siffra 2,7 kg per liter (Trafikverket, 2015).

I en rapport från 2017 kom IVL (Svenska miljöinstitutet) fram till att antalet kg CO₂-ekvivalenter per kWh för litium-jonbatterier är 86 till 281 kg, med ett mest troligt värde på 190 kg. Denna siffra inkluderar gruvbrytning, materialförädling, komponenttillverkning och slutlig ihopmontering av celler och batteri (Romare et al., 2017).

En monokristallin solcellsmodul på 315 W_p tillverkad i Kina och transporterad till Sverige har ett totalt utsläpp på 1135 kg CO₂-ekvivalenter per modul enligt en analys från 2018. Av dessa är 18 kg från transporten mellan Kina och Sverige (Vanky, 2018).

2.3 Datainsamling

2.3.1 Solinstrålningsdata

Solcellsinstrålningsdata är hämtad från PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) som drivs av Europeiska kommissionens Joint Research Center i Ispra, Italien. PVGIS är ett onlineverktyg för att beräkna och utvärdera solinstrålning och solcellsanläggningars prestanda. Beräknad solinstrålning från Sri Lanka och Sverige kommer från PVGIS-SARAH satelliten med en genomsnittlig mätnoggrannhet på ca 2,5 % vid jämförelser med observerade data från mätstationer på marken (PVGIS, 2019).

PVGIS beräkningsverktyg tar hänsyn till direkt, diffus och reflekterad solinstrålning beroende på molntäcke samt solcellernas effektminskning vid höga temperaturer. Solcellstyp, installerad effekt, lutning och azimuth för solcellerna samt systemförluster kan anges på hemsidan. Solcellstyp och installerad effekt angavs i enlighet med tidigare redovisad tekniska data. Lutning och azimuth sattes till noll grader på grund av att solcellerna är horisontellt monterade på båten. PVGIS rekommenderar 14 % systemförluster som schablonvärde, detta värde är dock menat att innefatta förluster i växelriktare och kablage (PVGIS, 2019). Då systemet har väldigt korta kablar och inte innefattar någon växelriktare har systemförluster bedömts kunna minskas till 10 %. Tidsrelaterad effektminskning samt i- och urladdningseffektivitet för batteri beräknas separat i Matlab-modelleringen.

Solcellernas beräknade effekt anges per timme och data finns tillgänglig som representerar ett genomsnittligt meteorologiskt år eller enskilda år från 2005 fram till 2016. Då den genomsnittliga väderinformationen inte återspeglar variationer i vädret på samma sätt som ett enskilt år har 2016 valts som referensår för beräkningarna.

De platser som analysen fokuserar på i Sri Lanka är valda på grund av att de är bland de större fiskehamnarna på respektive kuster samt att de ligger någorlunda utspridda i vardera väderstreck (Ministry of fisheries, 2016). På så sätt tas det hänsyn till eventuella väderskillnader under året på de olika kusterna.

Som visas i Figur 3 är de valda platserna Puttalam i väster, Jaffna i norr, Trincomalee i öster och Tangalla i söder.

I Skandinavien har Hyppeln i Göteborgs skärgård och Möja i Stockholms skärgård valts för att representera båda kusterna och de två troligaste initiala marknaderna i Sverige. Sommaren 2016 klassificeras av SMHI som statistiskt genomsnittlig och är därför också ett passande referensår för svenska förhållanden (SMHI, 2016).



Figur 3. De fyra hamnar studien fokuserar på i Sri Lanka inringade i svart.
Källa: <http://mapsopen-source.com/sri-lanka-political-map.html>

2.3.2 Vind och vågförhållanden

I en studie utförd på Moratuwa universitetet strax utanför Colombo analyseras den signifikanta våghöjden på Sri lankas kontinentalsockel. Studien fokuserar på sträckan mellan Colombo och Kalmunai, på öns syd och sydostkust, och från kustlinjen ut till 1000 meters djup. Beroende på monsunperiod och geografisk plats varierade den signifikanta våghöjden mellan 0,3 och 1,3 meter (Gunaratna, 2006). Då denna kuststräcka kan antas vara den mest utsatta för väder och vind från Indiska Oceanen, vilket vinddata i Tabell 3 också antyder, antas i denna rapport att den signifikanta våghöjden inte är högre på studerade platser utanför detta område.

Tabell 3. Medelvärden för vinddata. Källa: PVGIS, Typical meteorological year 2007 - 2016.

[m/s]	Jaffna	Trincomalee	Tangalla	Puttalam	Hyppeln	Möja
Medelvind	5,3	4,8	5,9	5,6	5,9	7,1
Medianvind	5,1	4,9	6,2	5,9	5,6	6,6
Maximalvind	12,4	11,9	11,5	12,2	23,3	19,9

2.3.3 Provtursdata

Provturer genomfördes för att få mätdata att basera beräkningsmodellen på. Under den första provturen var målet att ta mätdata för att kunna beräkna effektförbrukning vid olika hastigheter. Mätningarna genomfördes genom att köra fram och tillbaka i en hamnbassäng, belägen på Hyppeln i Göteborgs skärgård, och logga motorns effektförbrukning för varje halv knop upp till maxfart. Vid testtillfället blåste det 1 till 1,5 m/s, därför togs all mätdata både i rak medvind och rak motvind för att sedan sammanställas till ett medelvärde. Även den ström som drogs ur batteriet antecknades. Något värde för 0,5 knop togs ej då det inte gav tillräcklig styrfart under mättillfället. Även en mätpunkt togs för att undersöka vilken hastighet motorn producerade vid 1000 watts effektförbrukning. Båten kördes då fram och tillbaka på motsvarande sätt med 1000 watts förbrukning och hastigheten loggades till 3,65 knop i motvind och 3,75 knop i medvind. Mätresultatet presenteras i Tabell 4.

Tabell 4. Mätdata provtur 1

Effektförbrukning [W]				
Ampere	Knop	Medvind	Motvind	Medeleffekt
-	1	40	45	42,5
-	1,5	85	90	87,5
3	2	160	190	175
10	2,5	300	310	305
18	3	470	500	485
30	3,5	800	810	805
(40	3,7	1000	1000	1000)
55	4	1350	1350	1350
99	4,5	2200	2250	2225

En andra provtur kördes som en ren systemkontroll som huvudsyfte men gav en del insikter om hur båten beter sig i vindhastigheter på upp till 10 m/s. Sträckan som kördes var mellan Hyppeln och Rörö i Göteborgs skärgård under eftermiddagen den 2 mars. Vindstyrkan var 8 till 10 m/s från SSV. Mätresultaten presenteras i Tabell 5 och loggades med Navionics GPS app. Hastigheterna som beskrivs är således över grund och inte genom vattnet och kan därför påverkas av eventuell ström. Första halvan av provturen kördes med nästan rak medvind och andra halvan med nästan rak motvind. Trots den ganska kraftiga vinden var differens på medelhastighetens endast 0,68 knop mellan med- och motvindsfallet.

Tabell 5. Mätdata provtur 2. Hastighet i knop är över grund.

	Hyppeln → Rörö	Rörö → Hyppeln	Total/medelvärden
Tid	24 min	29 min	53 min
Distans	1,33 NM	1,37 NM	2,7 NM
Medelhastighet	3,45 kn	2,77 kn	3,11 kn
Maxhastighet	5,95 kn	4,9 kn	-

En tredje och längre provtur genomfördes för att ta mätvärden jämförbara med datorsimuleringar. På grund av att prototypen endast är utrustad med ett batteri, och båten är tänkt att vara utrustad med två, kopplades ena solcellspanelen ur för att få korrekt relation mellan batteristorlek och laddningseffekt. Målet med provturen var att köra båten på ca 1000 watts effekt i två timmar. På denna tid tillryggälades sträckan Hyppeln Björkö hamn tur och retur samt lite extra körning för att få de fulla två timmarna loggade. Var femtonde minut noterades vind, fart, motorns effektförbrukning, laddning från solcellen samt batterinivå. Distans och tid loggades återigen med Navionics GPS app. Väderförhållande var sol och blå himmel med varierande sydlig vind med relativt kraftiga vinddrivna vågor under hela turen. Vindhastighet registrerades från sjöfartsverkets mest närbelägna mätstation, Måvholmsbådan, via sjöfartsverkets ViVa-app. Mätdata redovisas i Tabell 6 och Tabell 7.

Tabell 6. Mätdata provtur 3. Data loggad var femtonde minut från båtens kontrollpanel, ViVa-app och Navionics GPS-app. Knop är över grund.

Tid	Vind [m/s]	Fart [kn]	Motorns effektförbrukning [W]	Laddningseffekt från solcellspanel [W]	Batterinivå [%]	Färdriktning
11:15	5,7	3	1000	160	99	OSO
11:30	6	3	1000	150	90	SO
11:45	6,3	3	850	160	82	OSO
12:00	8	2,4	900	160	73	S
12:15	8	3,5	1000	180	64	NV
12:30	6	4	900	200	55	NNV
12:45	5,5	3,8	1000	200	44	NV
13:00	5,5	4,2	1000	201	34	NV
13:15	4,2	3,2	1000	170	24	S

Tabell 7 Mätdata provtur 3. Tid, distans och medelhastighet från Navionics GPS-app. Knop är över grund.

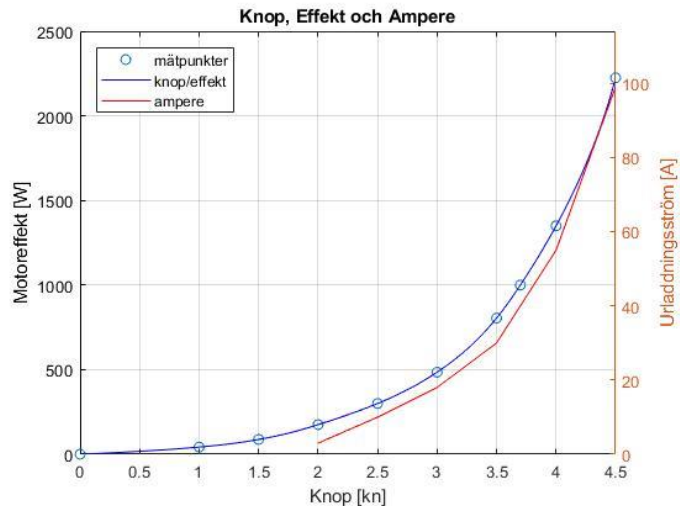
	Hyppeln → Björkö	Björkö → Hyppeln	Total/medelvärden
Tid	11:14 - 12:15	12:15 - 13:19	2h, 5 min
Distans	2,5 NM	3,8 NM	6,3 NM
Medelhastighet	2,49 kn	3,53 kn	3,01 kn
Maxhastighet	4,88 kn	5,62 kn	-

2.4 Bearbetning av mätdata

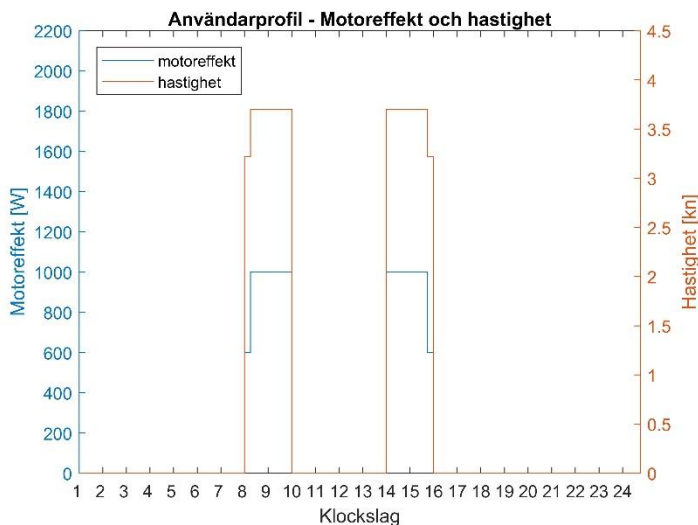
2.4.1 Antaganden

Tillryggalagd sträcka och längd på en fisketur i Sri Lanka eller utflykt i svenska skärgården är av naturliga orsaker väldigt svår att uppskatta och kan antagligen variera stort. En rimlig dagstur för fiskarna med motsvarande båtstorlek i Sri Lanka kan antas vara cirka två timmar ut till fiskevattnen, ett godtyckligt antal timmar på plats för att arbeta med fisket, och cirka två timmar tillbaka. Samma modell kan även antas vara en rimlig användarprofil för en fritidstur en svensk sommardag i skärgården. En stor skillnad mellan de båda marknaderna är antagligen att båtens tillgänglighet för drift varje dag kan vara en viktig aspekt för yrkesfiskare, men mindre viktig för en svensk fritidsanvändare.

Under första provturen lades extra vikt vid att undersöka hastigheten runt 1000 W. Detta gjordes av flera anledningar. Mätdata från Tabell 4 är plottad i Figur 4 och här syns tydligt hur urladdningsströmmen ur batteriet och effektbehovet ökar kraftigt vid högre hastigheter. 1000 watts effektförbrukning har under utvecklingsarbetet ansetts som en god medelväg mellan hastighet och drifttid då effektförbrukningen från 3,6 knop till 4,5 ökar med över 100 %. 40 ampere urladdningsström ger även en skonsam C-rate på 0,4, eller 0,2 vid parallellkoppling, för batteriet vilket som tidigare nämnts är gynnsamt för batteriets livslängd.



Figur 4. Plottad-mätdata från provtur 1. Interpolerat knop/effektförhållande samt urladdningsström.



Figur 5. Antagen grundläggande användarprofil.

Med dessa resonemang som bakgrund har en generell användarprofil antagits till fyra timmars drifttid, två timmar i vardera riktningen, med en paus emellan. Effektuttaget för motorn kommer således sättas till omkring 1000 W som utgångspunkt för att sedan, liksom tidsparametern, varieras för att undersöka hur distans, hastighet och batteriets SOC påverkas. I Figur 5 visualiseras användarprofilen genom motoreffekten då detta är den storhet föraren av båten reglerar, samt den teoretiska hastigheten detta ger i knop enligt knop/effektförhållandet i Figur 4.

Ett villkor har satts att batteriet skall ha 50 % SOC för att lämna kaj. Detta för att det är ur praktisk synvinkel orimligt att kräva full laddning för användning vid daglig drift samt för att det är positivt för batteriets livslängd att inte ladda till 100 % (Wikner et al., 2018). Samtidigt kan det vara riskabelt att lämna kaj med för lite laddning på grund av den uppenbara risken att batteriet körs tomt. 50 % eller 2560 Wh laddning har därför satts som grundvillkor till att börja med.

Beräkningsmodellen syftar till att maximera drifttid över ett år. Dock är det rimligt att anta att slutanvändaren kommer ha lediga dagar där båten ligger still även om det finns möjlighet att åka ut. Därför kommer simuleringar göras både för att maximera antalet driftdagar över

ett år, samt med villkoret att båten ligger still var sjunde dag oavsett om batterivillkoret är uppfyllt eller ej.

2.4.2 Beräkningsmodell

Avgörande för konceptets användbarhet är att det är tillgängligt för användning. Modelleringen har därför tagit utgångspunkt i att modellera batteriets SOC beroende på tillgodosedd effekt från solcellerna och användarprofilens effektanvändning. Detta har beräknats på följande sätt

$$\text{SOC}(h + 1) = \text{SOC}(h) + \mu (P_{\text{PV}}(h) - P_{\text{motor}}(h)) \quad [\text{Wh}] \quad (1)$$

där h är den beräknade timmen under året, P_{PV} är effekttillskottet från solcellspanelerna, P_{motor} är effekten motorn drar och μ är i- och urladdningseffektiviteten för batteriet. Den tillgängliga PVGIS-datan är beräknad per timme. För att kunna detaljstyra önskad användarprofil noggrannare kan P_{motor} dock definieras som medelvärdet av varje timmes fyra 15 minutersperioder. Hur detta görs beskrivs mer utförligt i appendix.

I- och urladdningseffektiviteten, i Ekvation 1 angett som μ , ska enligt batterileverantör vara 95 till 97 procent. Variabeln μ förändras beroende på om det är laddnings eller urladdningsförfarande genom

$$\mu = \begin{cases} 0.97, & P_{\text{PV}} - P_{\text{motor}} > 0 \\ \frac{1}{0.95}, & P_{\text{PV}} - P_{\text{motor}} \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

där 0.97 är laddningseffektiviteten och 0.95 är urladdningseffektiviteten.

För att Ekvation 1 inte skall beräkna värden under 0 eller över 5120 Wh har villkor satts så att detta är max och minimumvärden. Som tidigare nämnts har även ett variabelt villkor satts för batterinivån för att lämna kaj samt möjligheten att båten skall ligga still var sjunde dag. Dagar detta villkor inte uppfylls eller båten ligger still registreras och subtraheras från årets totala antal dagar. Detta indikerar antal dagar båten är i drift per år och kommer härmed refereras till som båtens tillgänglighet som $T_{d/\text{år}}$.

Nästa steg har varit att använda knop/effektförhållandet, interpolerat och plottat i Figur 4, tillsammans med användarprofilens effektuttag, P_{motor} , som anger effektanvändning över tid. För att beräkna distansen vid olika effektpåslag och tidslängder används förhållandet

$$S = v \times t \quad [\text{NM}] \quad (3)$$

där v är knop, t är timmar och S är sträcka i nautiska mil, vilket anger den teoretiska tillryggalagda distansen uträttat under en åttatimmarsoperation definierad enligt användarprofilen. En enkel konvertering kan göras från distans i nautiska mil till kilometer genom att multiplicera med 1,852.

Den dagliga batteriurladdningen enligt $\sum P_{\text{motor}} \Delta t$ multipliceras med antalet tillgängliga dagar, $T_{d/\text{år}}$, för att få fram totala mängden urladdade Wh per år. Här är $\Delta t = 0.25$ h för att

skala om profilupplösningen från kvarter till timmar. Detta divideras med totala batterikapaciteten, $E_{\text{kap}} = 5120 \text{ Wh}$, för att få fram antalet urladdningscykler per år, N , som

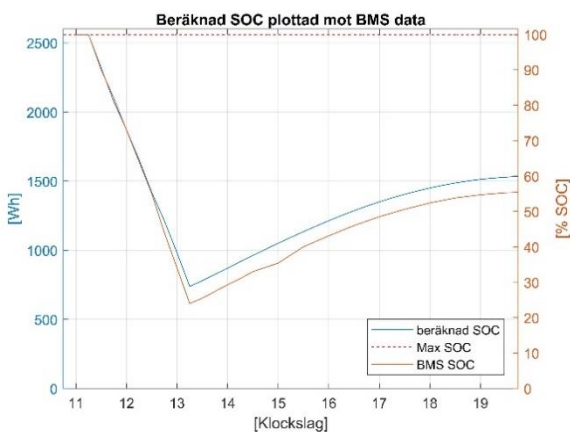
$$N = \frac{\sum P_{\text{motor}} \Delta t T_d / \text{år}}{E_{\text{kap}}} \quad [\text{cykler/år}] \quad (4)$$

för att kunna uppskatta den totala livslängden på batterierna.

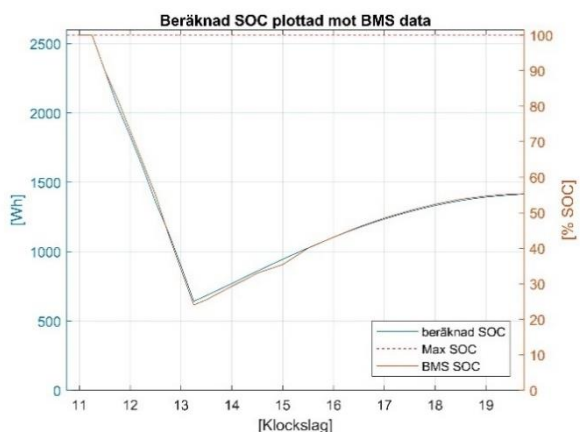
Solcellernas effektdegradering över tid beräknas vid 5, 10, 15, 20 och 25 års ålder genom att lägga till en förlustkoefficient till P_{PV} , i procent i Ekvation 1 för respektive år, enligt tillverkarens uppgifter.

2.4.3 Validering av beräkningsmodell

Den tredje provturen, detaljerad i Tabell 6, genomfördes med den antagna användarprofilen i åtanke. Anledningen till att provturslängden valdes till två timmar var att inhämta reella data att kontrollera beräkningsmodellen mot. Som tidigare nämnts var endast ena solcellspanelen inkopplad för att få korrekt förhållande mellan batterikapacitet och laddningseffekt. Mätvärdena mellan 11:15 och 13:15 från provtur 3 är kompletterad med loggade värden för solinstrålning och batterinivå mellan 13:15 och 20:00 från båtens kontrollsystem. Detta för att kunna följa hela i och urladdningsförloppet från provtursstart till solnedgång. Figur 7 visar SOC mellan 10:45 och 20:00 under den aktuella provturen. Att kurvorna mer eller mindre är helt lika är föga förvånande då beräkningarna utförts med data från samma källa. Önskvärt hade varit att använda PVGIS data för motsvarande datum för att få en verklig validering av både beräkningsmodell och indata, dessvärre är den informationen inte tillgänglig vid skrivandet av denna rapport. Resultatet ger dock en bekräftelse på att modellen räknar rätt när korrekt indata matas in.



Figur 6. SOC från provtur 3 plottad utan i och urladdningskoefficient.



Figur 7. SOC från provtur 3. Notera att maximal batterikapacitet är 2560 Wh.

Tillfälle gavs också att kalibrera in värden för i och urladdningseffektiviteten μ . Tillverkaren angav endast 95 till 97 % effektivitet utan att specificera värden för i respektive urladdning. Beräknad SOC utan μ -koefficienten är plottad mot SOC från batteriets BMS i Figur 6. Efter ett antal försök bestämdes laddningseffektivitet till 97 % och urladdning till 95 % då dessa värden resulterade i att beräkningen bäst motsvarade batteriets egna värden enligt Figur 7.

Provtur tre bjöd även på möjligheten att jämföra den av modellen beräknade distansen mot den faktiska distansen i verkliga förhållanden. Som tidigare nämnts används knop/effektförhållandet från Figur 4, vilket multipliceras med drifttiden enligt Ekvation 3, för att beräkna distans. Dessa värden är dock under ideala förhållanden utan nämnvärd påverkan från vind, ström och sjögång. För att få fram en korrektionsfaktor för väderpåverkan har den GPS-loggade distansen under provtur 3 dividerats med den av modellen beräknade distansen enligt

$$V_{kk} = \frac{S_{GPS}}{S_{beräknad}} \quad (5)$$

där kvoten V_{kk} kallas för vädrets korrektionskoefficient. Den GPS loggade distansen S_{GPS} enligt Tabell 7 var 6,3 NM och $S_{beräknad}$ uppgick till 7,5 NM. Kvoten blev därav 0,84 och kommer i resultatet att multipliceras med produkten från Ekvation 3 för att få en mer trovärdig distansberäkning.

2.4.4 Modellens begränsningar

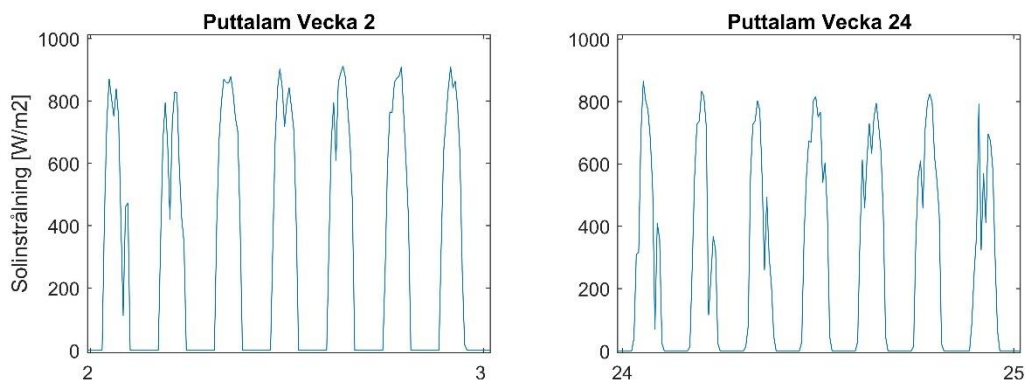
Eftersom beräkningsmodellens hastighet och distansberäkningar är baserade på mätdata från provtur ett, är resultatet också knutet till det skrov och den motor som använts. Skrovformen, liksom propeller och motor, har stor inverkan på effekten som behövs vid olika hastigheter. Därför är dessa parametrar inte allmängiltiga. Batterikapacitet och solcellsmodulernas effekt har däremot inga motsvarande begränsningar och kan därför behandlas som fria variabler i simuleringarna.

Modellen har heller inte tagit höjd för variation i lastvikt som kan tänkas uppstå vid fiskeverksamhet. Samtliga provturer genomfördes med två personer i båten samt ankare, kätting och övrig standardutrustning. Prototypens överbyggnad för montering av solcellsmoduler är av en tyngre konstruktion än de tänkta för slututförandet och kompenserar i viss mån avsaknaden av ett andra batteri. Inga längre provturer har genomförts med någon större extra last för att undersöka vilken påverkan det ger. Under kortare turer med tre eller fyra personer ombord har dock ingen större skillnad i förväntad hastighet registrerats. Lastpåverkan har därför försumrats då väder och vind har bedömts ha en större effekt på hastighet och distans.

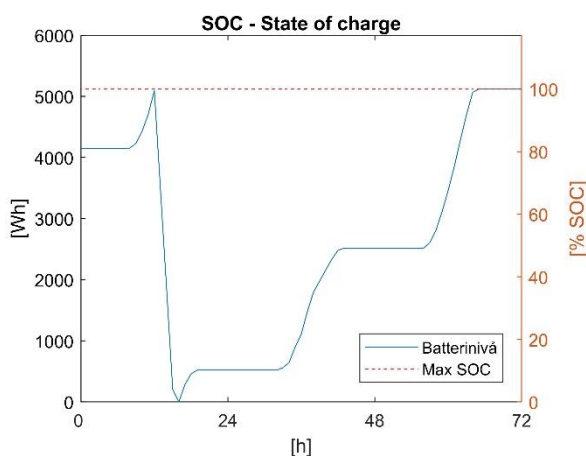
3 Resultat och analys

3.1 Driftfall Sri Lanka

Mängden solinstrålning över året är väldigt fördelaktig runt Sri Lanka då de säsongsbundna variationerna är väldigt små. Monsunperioder och lokala väderförhållanden påverkar dock de fyra olika undersökta platserna lite varierande. Figur 8 visar solinstrålningen för Puttalam på Sri Lankas västkust under ett genomsnittligt år under vecka 2 respektive vecka 24. Denna graf syftar endast till att visa den jämna solinstrålningen över året. Som tidigare nämnts kommer driftfallen beräknas på solinstrålningen från 2016 för att återspegla lokala vädervariationer där instrålningen kan variera stort från dag till dag.



Figur 8. Solinstrålning [W/m²] ett genomsnittligt år i Puttalam, Sri Lanka. källa: PVGIS

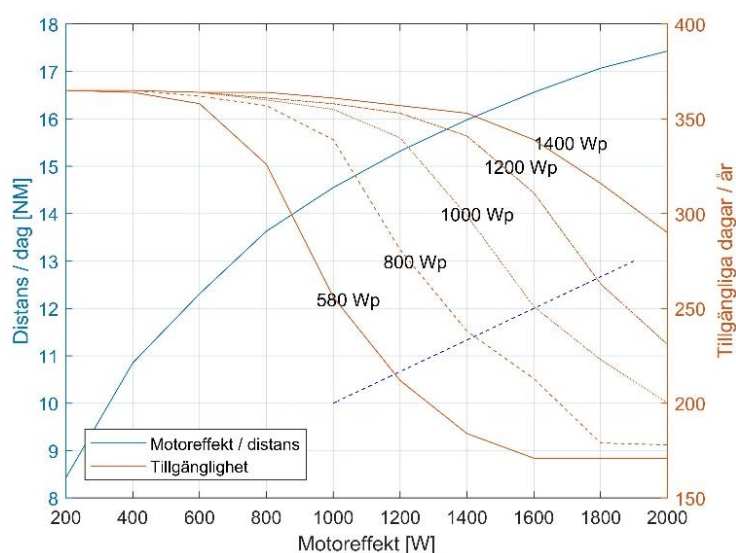


Figur 9. L och urladdningsförfarande under 72 timmar, Puttalam, Sri Lanka.

olika effektpåslag plottats mot tillgängligheten i dagar per år. Med andra ord visar grafen hur många dagar per år båten är tillgänglig för drift med 50 % SOC:s startvillkor vid olika marchfartseffekter. Utöver för 580 W_p är tillgänglighetskurvorna för 800, 1000, 1200 och 1400 W_p installerad solcellseffekt även inkluderade. Den blå streckade linjen indikerar den ungefärliga punkten för respektive tillgänglighetskurva där laddningskapaciteten blir för låg i förhållande till den använda motoreffekten per dag, och batteriet därför helt töms allt oftare. Dessa dagar uppfyller fortfarande kriteriet om 50 % SOC för att lämna kaj, och

Med de solcellsmoduler på totalt 580 W som är monterade på prototypen skulle ett helt urladdat batteri i Puttalam laddas upp så som visas i Figur 9. Uppenbart är att det inte är ett idealt driftsätt ur tillgänglighetssynpunkt att tömma batteriet då det tar minst två hela dagar att ladda till maxnivå igen. Det enklaste sättet att reglera detta blir genom att optimera användarprofilen mot de tekniska förutsättningarna.

Därför har i Figur 10, med utgångspunkt i den grundläggande användarprofilen och tidigare nämnda batterivillkor, den uppnådda distansen vid

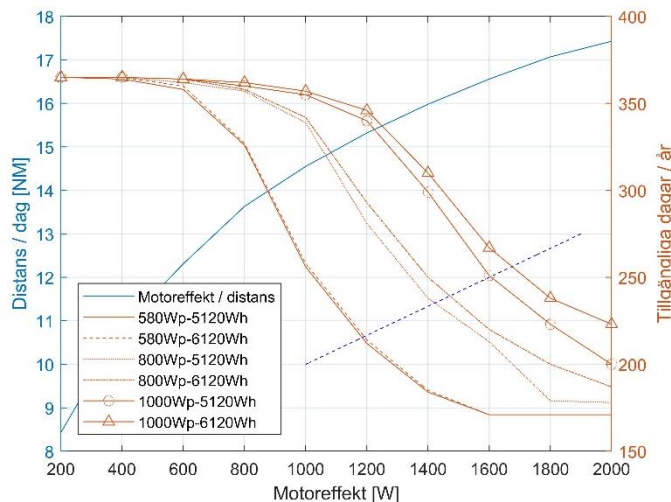


Figur 10. Tillgänglighet kontra effektförbrukning / distans. Beräknat med 2016 års solinstrålning i Puttalam, Sri Lanka.

räknas på så sätt som en tillgänglig dag, men den tillryggalagda distansen på vänstra y-axeln är inte helt tillförlitlig för alla dagar till höger om linjen då man i realiteten hade behövt minska använd effekt eller drifttid för att inte ladda ur batteriet helt.

Figur 10 visar att 580 W_p installerad effekt är något underdimensionerat med den antagna användarprofilen, då båten vid 1000 W effektförbrukning vid marchfart endast är tillgänglig 256 dagar för bruk. Dock får redan vid 800 W_p, båten en tillgänglighet på 339 dagar vid 1000 W effektförbrukning. Ökas den installerade solcellseffekten ytterligare finns det inte väldigt mycket mer att hämta upp till alla årets 365 dagar. Vid 1000 W_p är tillgängligheten 355 dagar vid oförändrad marchfartseffekt och möjligheten öppnas att också öka effektuttag och samtidigt bibehålla en hög tillgänglighetsgrad. Det skall läggas märke till att Motoreffekt/distansförhållandet i Figur 10 inte är linjärt utan avtagande med effekttökningen, vilket är väntat och beror på knop/effektförhållandet i Figur 4. Detta medför att varje ökning i distans och fart kostar relativt mycket i antal förlorade tillgängliga dagar. Med 1000 W_p ökar till exempel den tillryggalagda distansen med 5,2 % mellan 1000 och 1200 W motoreffektsförbrukning medan tillgänglighetsgraden går ner från 97,2 till 93,1 %. För nästa steg, mellan 1200 och 1400 W förbrukning, ökar distansen per dag endast med 4,3 % och tillgängligheten går ned till 81,9 %. Härmed framstår tydligt att en avvägning mellan hög tillgänglighet över året och en hög hastighet och distans per dag alltid måste göras. Detta regleras av föraren utifrån de tekniska gränser systemet sätter.

Noterbart är även att under rådande förhållanden framträder sambandet mellan använd motoreffekt och installerad solcellseffekt som 1:1 för att uppnå en tillgänglighet på över 350 dagar för samtliga W:W_p.



Figur 11. Tillgänglighet för 580 och 800 W_p. Beräknad för 5120 respektive 6120 Wh batterikapacitet i Puttalam.

Tydligt är att den installerade solcellseffekten har en stor inverkan på tillgängligheten över året. För att undersöka vilken inverkan en ökning i batteristorlek kan ha har i Figur 11 tillgänglighetskurvorna plottats för 580 W_p, 800 W_p och 1000 W_p vid prototypens batteristorlek på 5120 Wh respektive 6120 Wh. Startvillkoret för batteriet har bibehållits på 2560 Wh och användarprofilen på totalt 4 timmar är oförändrad.

Vid 580 W_p har batterikapacitetsökningen näst intill obetydlig effekt. Vid 800 och 1000 W_p ökar antalet tillgängliga dagar med 1 till 10 beroende på var på kurvan värdena avläses. Den eftersträvarsvärda effekten att flytta punkten där kurvan viker av nedåt åt höger uppnås däremot inte i något av fallen.

Batterivillkoret på 50 % SOC för att lämna kaj har även varierats för att undersöka hur det påverkar tillgängligheten över året. Simulering med prototypens ursprungliga

hårdvarukonfiguration, 580 W_p och 5120 Wh, ger som tidigare nämnts 256 tillgängliga dagar. Sänks startkravet på 50 % SOC till ca 35 %, eller 1800 Wh, ökar tillgängliga antalet dagar endast till 259. En motsvarande ökning på tre dagar sker även vid motsvarande simulering med 800 W_p. På grund av dess försumbara inverkan på tillgängligheten har därför 50 % SOC behållits som startvillkor för att bibehålla den säkerhetsmarginal det ger.

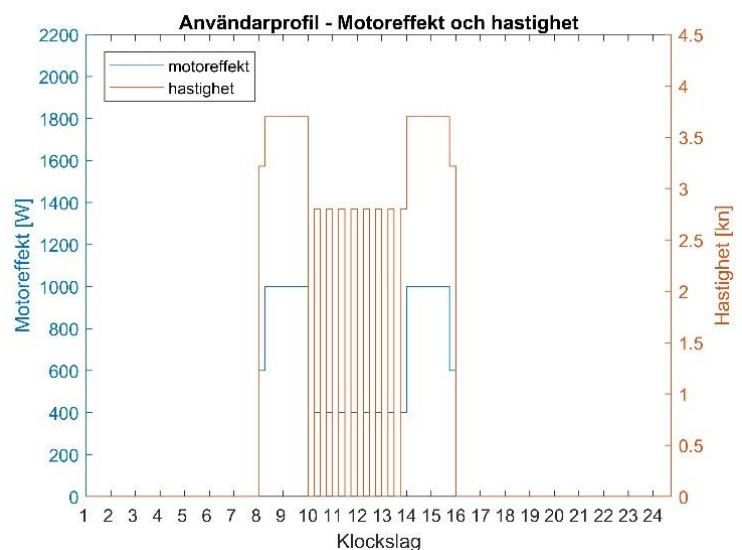
I sammanhanget skall nämnas att vid den aktuella användarprofilen, hade bibehållandet av 2560 Wh som startvillkor och en batterikapacitetsökning av batteriet till 6000 Wh, resulterat i att batteriet aldrig kommer upp till 100 % SOC. Detta skulle som Wikner och Thiringer skriver i sin rapport ha en positiv inverkan på batteriets livslängd (Wikner et al., 2018).

3.1.1 Användarprofiler

Användarprofilen antagen i Figur 5 simuleras med prototypens tekniska specifikationer i Tabell 8 under **driftfall A**. Ett rimligt antagande är även att lägga in en vilodag i veckan även för yrkesfiskare. Dessa värden, med oförändrade systemspecifikationer, finns i samma tabell under -1d/vecka.

Motsvarande beräkningar med 800 W_p simuleras under **driftfall B**. Distansen förblir oförändrad då effektförbrukning och drifttid fortfarande är 1000 W respektive 4 timmar. **Driftfall C** simulerar den antagna användarprofilen illustrerad i Figur 12 där det antas att det är tvunget att köra med motorn för att sträcka ut näten vid garnutsättning.

Antagen effektförbrukning är satt till 400 W under halva tiden av fiskeoperationen. Det ger en total drifttid på sex timmar där fyra timmar som innan körs i 1000 W samt de två extra timmarna i 400 W. Det totala antalet battericykler är beräknat genom att interpolera battericykler per år och summera antalet för varje år för de respektive tidsperioderna.



Figur 12. Driftfall C.

Tabell 8. Simulering av driftfall A, B och C i Puttalam, Sri Lanka. Driftfall B har samma distans som A.

1000 W effektförbrukning motsvarar 40 A urladdningsström. 40/2 ger 0,2C batteriurladdning						
Puttalam						
Driftfall A -4h drifttid						
Distans/dag	14,55 NM	26,92 km				
Distans/dag* V_{kk}	12,12 NM	22,44 km				
Solcellsdegradering/år	År 0	År 5	År 10	År 15	År 20	År 25
	580 W _p	-3,8 %	-7,6%	-11,45 %	-15 %	-18,6 %
$T_{d/\text{år}}$	256	246	237	227	218	209
Battericykler / år	190	183	176	168	162	155
Battericykler totalt	190	932	1826	2682	3504	4293
$T_{d/\text{år}}$ -1d/vecka	240	234	227	218	209	197
Battericykler / år	178	174	168	162	155	146
Battericykler totalt	178	880	1732	2554	3343	4091
Driftfall B – 4h drifttid	800 W _p					
$T_{d/\text{år}}$	339	332	324	311	298	285
Battericykler / år	252	246	240	231	221	212
Battericykler totalt	252	1245	2457	3630	4755	5833
$T_{d/\text{år}}$ -1d/vecka	297	295	291	283	277	268
Battericykler / år	220	219	216	210	205	199
Battericykler totalt	220	1097	2183	3245	4280	5287
Driftfall C – 6h drifttid	800 W _p	<0,1C-0,2C				
Distans/dag	20,15 NM	37,31 km				
Distans/dag* V_{kk}	16,79 NM	31,09 km				
$T_{d/\text{år}}$ -1d/vecka	272	263	247	240	231	223
Battericykler / år	244	236	222	215	208	200
Battericykler totalt	244	1200	2338	3427	4481	5497
	1000 W _p					
$T_{d/\text{år}}$ -1d/vecka	300	296	295	288	282	276
Battericykler / år	269	266	265	256	253	248
Battericykler totalt	269	1337	2664	3962	5233	6483

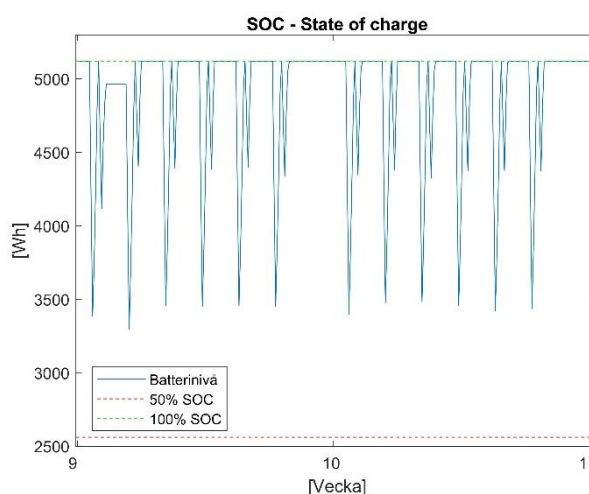
3.1.2 Resultat Sri Lanka

Det skall poängteras att vid villkoret att ligga still var sjunde dag är 52 av de otillgängliga dagarna per år valda av egen vilja. Driftfall B med pausvillkoret ger till exempel 297 tillgängliga dagar. Adderas de självvalda stillaliggande dagarna uppnås 349 dagar, endast 16 dagar mindre än 365. Många av de 16 dagarna korresponderar dessutom väl med dagar med låg solinstrålning som kan antas är på grund av dåligt väder. Då fiskebåtar av aktuell storlek kan

antas stanna vid kaj vid allt för dåligt väder hade samma förhållanden gällt för en motsvarande bensindriven båt.

I det aktuella driftfall B med 800 W_p installerad solcellseffekt och 1000 W motoreffekt, samt villkoret att ligga still var sjunde dag, uppnås 2183 battericykler på 10 år och 2719 på 12,5 år. Detta är inte ett helt orimligt antal för batterierna att klara av med tanke på de skonsamma urladdningscyklerna och den låga C-ratingen. I Wikner och Thiringers rapport anges att de uppgivna cykelantalet ofta kan överskridas vid rätt typ av bruk och att 10 till 15 år en högst realistiskt livsläng (Wikner et al., 2018). Batteritillverkarens uppgifter om 2000 cykler utan nämnbart slitage, och Davide Andreas uppfattning att LiFePO₄ celler inte har någon nämnvärd effektreduktion över tid, ger också stöd för detta (Andrea, 2010). I så fall kan för detta driftfall ett batteribyte vara tillräckligt om systemets tekniska livslängd sätts till 25 år.

Förutsatt att 12,12 till 14,55 NM är en acceptabel distans per dag framstår Driftfall B med en dags stillaliggande i veckan som det fördelaktigaste driftfallet för Sri Lanka. Noteras skall också att under flertalet av dagarna med hög solinstrålning finns batterikapacitet som kan tillåta en högre hastighet eller längre distans vilket kan ses i Figur 13. Detta hade dock ökat antalet battericykler över tid och som Figur 9 visar hade också tillgängligheten påverkats vid för stor urladdning av batteriet.



Figur 13. SOC för Driftfall B vecka 9 och 10, Puttalam, Sri Lanka. Notera y-axelns gradering.

Simulering av driftfall B med en dags stillaliggande är också utfört för Jaffna, Trincomalee och Tangalla i Tabell 9. Skillnaden i antalet tillgängliga dagar beror på väderförhållandena på de olika kusterna. Puttalam, Jaffna och Trincomalee verkar ha ett jämförbart väder med endast 7 och 11 dagars differens i tillgänglighet. Tangalla på sydkusten verkar däremot ha ett mindre fördelaktigt klimat vilket resulterar i 27 färre tillgängliga dagar räknat på 2016 års förhållanden.

Tabell 9. Driftfall B med en dags paus i veckan simulerat för Jaffna, Trincomalee och Tangalla, Sri Lanka.

Driftfall B						
Solcellsdegradering/år	År 0	År 5	År 10	År 15	År 20	År 25
	800 W _p	-3,8 %	-7,6%	-11,45 %	-15 %	-18,6 %
-Jaffna						
$T_{d/\text{år}}$-1d/vecka	290	290	288	278	272	259
Battericykler / år	215	215	213	206	202	193
Battericykler totalt	215	1072	2141	3185	4203	5186
-Trincomalee						
$T_{d/\text{år}}$-1d/vecka	286	281	272	263	254	242
Battericykler / år	212	208	201	195	188	179
Battericykler totalt	212	1050	2069	3056	4010	4923
-Tangalla						
$T_{d/\text{år}}$-1d/vecka	270	263	258	247	239	229
Battericykler / år	200	195	191	183	177	170
Battericykler totalt	200	987	1950	2881	3778	4642

3.2 Driftfall Skandinavien

Solinstrålningsförhållanden skiljer sig radikalt mellan Skandinavien och Sri Lanka, därför har användarsäsongen avgränsats till mellan första april och den sista september. Den grundläggande användarprofilen från Figur 5 är fortfarande intressant att analysera då den kan tänkas vara en ganska vanlig utflykt eller fisketur i skandinaviska vatten. Detta görs i Tabell 10 med 50 % SOC som startvillkor. Villkoret att ligga still var sjunde dag anses dock inte vara relevant i detta fall. Resultatet för Möja i Stockholm är ej inkluderat i listan då det var i det närmaste identiskt.

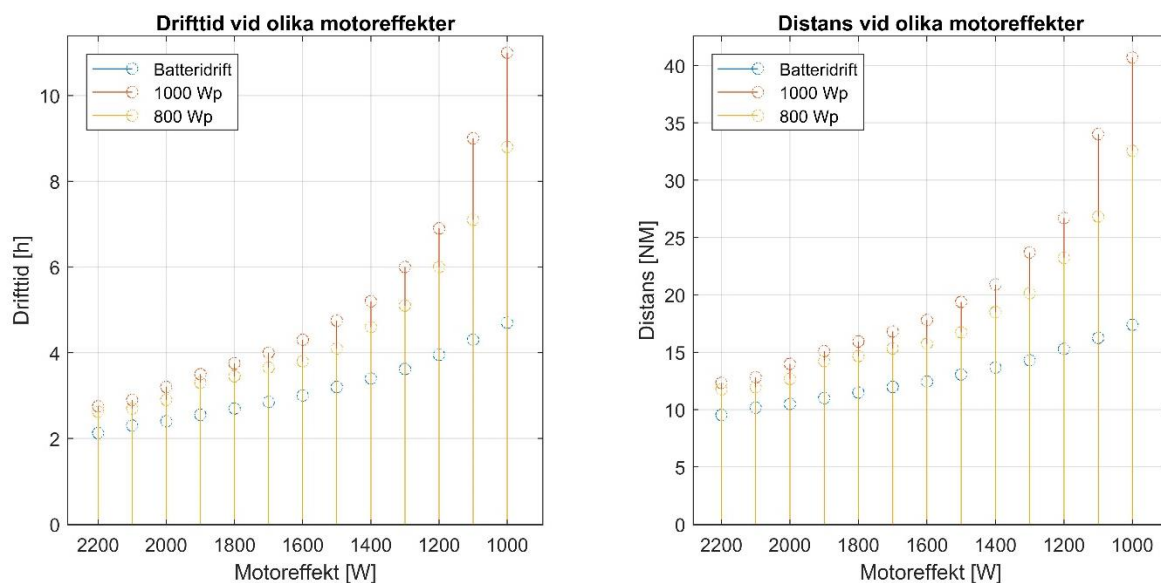
3.2.1 Användarprofiler

Tabell 10. Simulering från 1 april till 30 september med 2016 års väderdata, Hyppeln, Göteborgs skärgård.

Hyppeln – Göteborg						
Distans/dag	14,55 NM	26,92 km				
Distans/dag* V_{kk}	12,12 NM	22,44 km				
Solcellsdegradering/år	År 0	År 5	År 10	År 15	År 20	År 25
	580 W _p	-3,8 %	-7,6%	-11,45 %	-15 %	-18,6 %
$T_{d/\text{säsong}}$ — av 182	100	96	93	89	86	83
Battericykler / säsong	74	71	69	66	64	62
Battericykler totalt	74	363	712	1048	1372	1686
	800 W _p					
$T_{d/\text{säsong}}$ — av 182	131	127	124	120	116	112
Battericykler / säsong	97	94	92	89	86	83
Battericykler totalt	97	478	942	1393	1829	2249

Även här framstår prototypens 580 W_p som något underdimensionerat. Frågan är dock om en användarprofil med kontinuerlig drift över hela säsongen, annat än i undantagsfall, är relevant för den skandinaviska marknaden. I stället kan det vara intressant att maximera effekt, distans och drifttid över en dag.

I Figur 14 plottas antal timmar möjlig körning vid olika motoreffekter innan batteriet är tomt samt vilken distans detta ger. Solinstrålningen är från den 27 juni, en av de solintensivaste dagarna på Hyppeln 2016. Drifttid och distansen är plottad för 800 respektive 1000 W_p installerad effekt samt för endast batteridrift. På grund av modellens samplingsfrekvens på 15 minuter per timme, har varje punkt i grafen en maximal osäkerhet på ± 15 minuter.



Figur 14. Tid och distans kontra motoreffekt. Notera x-axlarnas orientering.

3.2.2 Resultat Skandinavien

Figur 14 är i huvudsak till för att visualisera systemets prestanda. Tio timmars drifttid för en öppen båt med en marschfart runt 3,5 knop är knappast ett troligt scenario. Grafen visar dock på vilken potential systemet har i extremfall. Distansen är beräknad på idealfallet ingen vind eller sjö. Multiplieras resultatet med V_{kk} fås distansen vid sämre väderförhållanden. Det skall även nämnas att kontinuerlig drift vid 2200 W bör undvikas då motorns nominella effekt är 2000 W.

Eftersom ett standardiserat driftfall är svårare att uppskatta för Skandinavien blir även uppskattning av battericykler svårare. Ett rimligt antagande är att det inte kommer överstiga det som är angett i Tabell 10. Därför blir kalenderliv och hantering under vinterförvaring mer aktuella parametrar. Med den tidigare nämnda spanska studien i åtanke skulle ett batteripaket kunna hålla båtens hela tekniska livslängd då kalenderlivet ansågs vara 30 år (R. Dufo-López et al., 2017). Även om detta skulle vara sant ur rent batterikemiskt perspektiv kan andra faktorer som rost och annat slitage förväntas förkorta batteriets livslängd.

3.3 Miljöpåverkan

För att jämföra systemets miljöpåverkan med en motsvarande bensindriven båt summeras batteriers och solcellers utsläpp i CO₂-ekvivalenter under tillverkning och transport. Dessa utsläpp jämförs sedan med bensinmotorernas totala utsläpp i CO₂-ekvivalenter från bensinförbränning. Utsläpp för skrov och motortillverkning har inte inkluderats då de har antagits vara på motsvarande nivå i båda fallen. Med bakgrund av tidigare resonemang angående batterilivslängd har ett batteribyte antagits, både för drift i Sri Lanka och Skandinavien, för att uppnå en teknisk livslängd på 25 år.

3.3.1 Sri Lanka

Prototypens CO₂ utsläpp har beräknats genom att multiplicera IVL:s siffror på antal kg CO₂/kWh för batteritillverkning med två gånger totala batterikapaciteten på 5,12 kWh och addera utsläppen för solcellspaneler. Driftfall B med en dags stillaliggande i veckan ansågs som det mest passande driftfallet för Sri Lanka. Då detta driftfall har en total installerad effekt på 800 W_p, och utsläppssiffrorna gäller paneler på 315 W_p styck, skalas detta värde upp med en faktor på 1,26.

Enligt Yamaha förbrukade deras 5 hk motor 1,2 liter per timme vid 4000 varv/min och 1,6 vid 5200 varv. Då det är tänkt att jämföras med driftfall B där den elektriska motorn går på halv effekt bör förbrukningen dras ner något även för bensinmotorn. Förhållandet att energiförbrukningen skjuter i höjden vid högre varvtal och hastigheter är lika för el och bensinmotorer men det skall även vägas in att Yamahatestet är utfört med en mindre och lättare båt. Därför sätts bensinförbrukningen till 1 liter i timmen för att försöka återskapa likvärdiga driftförhållande.

Driftfall B ger fyra timmars drifttid per tillgänglig dag vilket multipliceras med 1 liter per timme. Detta multipliceras sedan med bensinens CO₂/liter koefficient. Tillgängliga dagar minskar per år på grund av solcellsdegraderingen. Därför har tillgängligheten för varje år beräknats och summeras till totalt 7129 dagar för 25 år. Använda siffror och resultat redovisas i Tabell 11 vilket visar på en minskning av CO₂ utsläpp över 25 år på mellan 71 och 76 ton CO₂-ekvivalenter beroende på vilka ingående faktorer som väljs.

Tabell 11. Beräknat på Driftfall B med en dags stillaliggande i veckan, Puttalam, Sri Lanka, 2016.

Utsläpp Prototyp					
Li-ion	kg CO ₂ /kWh	Batteristorlek	kg CO ₂ / 315W _p panel	skalfaktor	Ton CO ₂ från tillverkning
minst	86				3,74
troligast	190	5,12 x 2	1135 x 2	1,26	4,81
mest	281				5,74
Utsläpp motorbåt					
Bensin	kg CO ₂ /l	drifttid h/dag	– l bensin/h	$T_{d/25\text{år}}$	Ton CO ₂ efter 25 år
Ren bensin	2,81	4	1	7129	80,13
5% etanol	2,7	4	1	7129	76,99

Fler påverkande faktorer skulle kunna läggas till. Till exempel ytterligare transporter och batteriåtervinning. Rimligt hade även varit att ha med ett eller flera motorutbyten. Påverkan från återvinning har inte räknats med då ett batteriutbytesprogram är tänkt att förlänga batterilivstiden och IVL-rapporten endast anger 15 kg CO₂/kWh för batteriåtervinning (Romare and Dahllöf, 2017). Dessa faktorerers ringa bidrag i relation till batteritillverkning och förbränningsmotorns utsläpp har därför försumrats.

3.3.2 Skandinavien

På grund av svårigheten att avgöra antalet drift dagar i Skandinavien finns det inte någon lika självklar jämförelse som för Sri Lanka. Därför beräknas i stället antalet timmar som måste köras för att konceptet med solceller och batteri skall löna sig gentemot förbränningsmotorn. Fallet med 800 W_p används igen så siffrorna för prototypens tillverkningsutsläpp från Tabell 11 är oförändrade. Då daglig drift inte är av samma vikt som i Sri Lanka kan det även tänkas att ett driftfall där det körs på högre effekt är troligt. Därför räknas antalet timmar i Tabell 12 både för 1000 W, motsvarande 1 l /h, och för 2000 W. Elmotorns effekt på 2000 W antas motsvara Yamahamotorns förbrukning vid 5200 varv/min på 1,6 l/h (Yamaha, 2019). 5 % etanolinblandning är antaget som enda alternativet och segelsäsongen är som tidigare definierad som 1 april till 30 september. Prototypens CO₂- utsläpp från Tabell 11 divideras med mängden utsläpp per timme från Yamahamotorn. Detta ger totala antalet drifttimmar vid respektive effektförbrukning som behövs för att prototypens CO₂-utsläpp ska motsvaras av förbränningsmotorns.

Tabell 12. Antalet timmars körning som krävs för att minska CO₂-utsläpp för eldrift, i förhållande till bensindrif över 25 år, med sex månaders segelsäsong per år. Timmar per vecka är beräknad under de 26 veckor som är definierade som segelsäsongen.

effekt	l / h	bensin kg CO ₂ / l	kg CO ₂ / h
1000 W	1	2,7	2,7
2000 W	1,6	2,7	4,32

1000 W	h / tot	h / år	h / vecka
mest	2125	85	3,2
trolig	1779	71	2,7
minst	1385	55	2,1
2000 W	h / tot	h / år	h / vecka
mest	1328	53	2
trolig	1112	44	1,7
minst	865	34	1,3

I Tabell 12 syns även tydligt hur förbränningsmotorns förbrukning ökar vid högre effekt. Vid jämförelse mellan maxförbrukningar behövs endast 1,3 till 2 timmar köras i veckan för att konceptets sol och batterilösning skall löna sig. Vid 1000 W blir motsvarande siffra 2,1 till 3,2 timmar. Drifttiden framstår tydligt som den avgörande parametern för att få ett positivt resultat.

4 Diskussion

Det kan härmed konkluderas att konceptet i stort kan leverera prestandan som krävs för den tänkta driften i Sri Lanka. Med antagandet att 12 till 14,5 NM eller 22,5 till 27 km är en godtagbar distans under en dag, visar resultaten att systemet kan hållas i drift, året runt, med en hög tillgänglighetsgrad.

100 % tillgänglighet och en ökning av hastighet och distans är eftersträvarsvärt ur ett rent tekniskt perspektiv. Med detta synsätt är dock risken stor att den tekniska kapaciteten överdimensioneras i förhållande till användarens behov. Detta hade lett till onödigt stor miljöpåverkan vilket hade motverkat hela syftet med projektet. Dessutom hade slutprodukten blivit dyrare, därför har optimering av de tekniska komponenterna i förhållande till användarprofil prioriterats.

För att klara fyra timmars drift vid 1000 W motoreffekt och bibehålla en hög tillgänglighet krävs minst 800 W_p installerad solcellseffekt. Med en dags planerat stillaliggande i veckan blev antalet dagar som ej uppfyllde startvillkoren 16 stycken som bäst och 43 som sämst. Förhållanden tycks vara mer gynnsamma på väst, nord och östkusten medan resultatet från sydkusten tyder på något svårare klimat. Studien kan inte dra allt för långtgående slutsatser av detta då endast väderdata från 2016 har använts och det rimligtvis varierar från år till år.

Studien har fokuserat på analys av åttatimmarsprofilen i Figur 5 med fyra timmars aktiv körtid då den sågs som ett rimligt scenario både för Sri lankas och skandinaviska användare. Fyra timmars drift är också en rimlig drifttid i förhållande till batterikapaciteten i prototypen och en effektförbrukning på 1000 W. Denna motoreffekt ger 3 till 3,7 knops marchfart beroende på väderförhållanden. Lägre marchfart än så kan inte anses som godtagbar medan högre hade minskat tillgängligheten över året.

Drifttid vid olika effektförbrukningar i Figur 14 kan ses som representativ även för Sri Lanka. Som Figur 13 visar hade både högre effekt och längre drifttid varit möjligt många av dagarna under året. Alternativt finns möjligheten att sänka maxladdningsnivån till 80 % under de solintensivaste perioderna för att vara mer skonsam mot batteriet och ändå ha kapacitet för en oförändrad användarprofil. Ytterligare ett alternativ är en ökning av batterikapaciteten vilket också skulle kunna förlänga batterilivslängden på grund av den minskade DOD. Om detta är kostnadseffektivt med tanke på priset per kWh, och om miljöpåverkan ökar eller minskar, kräver dock vidare analys.

Uppenbart är däremot att den mest kostnadseffektiva prestandahöjande åtgärden är ökning av den installerade solcellseffekten. Figur 10 visar tydligt hur en ökning på endast 220 W_p ökar tillgängligheten med 75 dagar per år medan Figur 11 endast visar en försumbar förändring vid ökning av batterikapaciteten på 1000 Wh. Ett längre och större skrov hade gett möjlighet för ytterligare solcellsmoduler. Samtidigt hade rimligtvis större batterier och motor behövts för att skala upp hela systemet för att motsvara skrovstorleken. Detta hade gett en större klimatpåverkan under konstruktionen, men på grund av den större bränsleförbrukningen hos båtarna den då har potential att ersätta, skulle klimatvinsten i slutändan bli stor.

Prototypens klimatpåverkan från två batteriuppsättningar och två solcellspaneler över 25 år beräknades till mellan 3,7 och 5,7 ton CO₂-ekvivalenter. Jämfört med en motsvarande bensindriven båts utsläpp i helårsdrift under samma tidsperiod, 76 till 80 ton CO₂-ekvivalenter, kan en storskalig implementering ge en stor total utsläppsreduktion. Poängteras bör även den positiva påverkan på lokala utsläpp då svavelutsläpp och liknande från bensinförbränning reduceras. Vid en mer fritidsbetonad användning i Skandinavien skall det betonas att ett tillräckligt antal drifttimmar krävs för att byte från bensindrif till batteridrif skall ge en positiv effekt.

Solcellernas effektdegradering visade sig orsaka en relativt stor förlust i tillgängliga dagar över den antagna livslängden på 25 år. För att systemet ska bibehålla sin prestanda över hela livslängden bör därför solceller med så liten effektreducering som möjligt prioriteras. Ett alternativ är att överdimensionera solcellerna och installera 1000 Wp från början men kostnadseffektiviteten och miljöpåverkan för den lösningen bör jämföras med det första alternativet.

Vindpåverkan under drift visade sig vara mindre än förväntat. Mindre än 0,7 knops differens mellan med- och motvind i 10 m/s får anses som liten. Någon större skillnad i hastighet har inte märkts vid olika lastvikter i fint väder. Vågorna har framstått som parametern som påverkar farten mest och en högre lastvikt hade troligtvis gjort sig märkbar i hög sjö. Användandet av ett större skrov hade däremot rimligtvis förmildrat driftskillnader på grund av lastvikt. Vidare analys krävs dock för att komma fram till någon definitiv slutsats på området.

Att användarprofilen är helt avgörande för tillgänglighetsgraden kan framstå som en självklarhet. Det måste dock läggas stor vikt vid användarens förståelse för hur batteriets livslängd påverkas vid olika driftfall och typer av hantering. Högre förståelse hos slutanvändaren ger möjlighet till en bättre teknisk optimering, mindre batteri och färre batteribyen, och i förlängningen en lägre kostnad och miljöpåverkan.

5 Slutsatser

- Förutsatt distansen 12 till 14,5 NM (22,5 till 27 km) per dag och 3 till 3,7 knops marchfart är godtagbart bedöms konceptet fungera för fiskeverksamhet året runt i Sri Lanka.
- Under sommarhalvåret bedöms konceptet fungera tillfredställande även för den skandinaviska marknaden.
- Med prototypens batteristorlek är minst 800 W_p installerad solcellseffekt ett kriterium för föregående två punkter.
- En ökning av installerad solcellseffekt framstår som bästa sättet att öka prestandan både ur kostnadseffektivitet- och miljöpåverkanssynpunkt.
- Användarens medvetenhet om driftsättets påverkan bedöms som en avgörande faktor för den tekniska livslängden då höga C-rates och djupa urladdningscykler påverkar batteriets livslängd.
- Helårsdrift resulterar i en reduktion på 71 till 76 ton koldioxid (motsvarande 92 till 95 %) jämfört med motsvarande drift med en bensindriven båt över 25 år. I Sverige krävs 1,3 till 3,2 timmars drift i veckan under sommarhalvåret under samma period för ett positivt resultat.
- Oförutsedda resultat var solcellernas effektreduktions stora påverkan över tid för optimeringen av systemet. Därför rekommenderas att solcellspaneler med så låg effektdegradering över tid som möjligt prioriteras.

6 Referenser

Andrea, D., 2010. *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*. Boston: Artech House.

Apple., 2019. *Why lithium-ion?* <https://www.apple.com/batteries/why-lithium-ion/>. hämtad 2019-05-08.

Bjurtech AB., 2019. *Freepower Solar boat*. <https://www.bjurtech.com/>. hämtad 2019-03-02.

Coletta, V.P., 2010. *Physics Fundamentals*. Lakeville: Physics Curriculum & Instructions, Inc.

Furustam, K.-J., Isomeri, M., Johansson, M., Kärnä, S., Laxen, M., 2013. *CE-handboken, Om fritidsbåtsdirektivets tillämpning*, Transportstyrelsen.

Goldie-Scot, L., 2019. *A behind the scenes take on lithium-ion battery prices*. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> hämtad 2019-05-08.

Gunaratna, P., 2006. *Assessment of wave climate off the southern coast of Sri Lanka*. ERU - Research for industry, The Institution of Engineers, Sri Lanka.

Haputhantri, S., 2007. *A data sampling strategy for coastal herring of Sri Lanka*. National Aquatic Resources Research and Development Agency, Sri Lanka.

Ilas, A., Ralon, P., Rodriguez, A., Taylor, M., 2018. *Renewable power generation costs in 2017*. International Renewable Energy Agency (IRENA): Abu Dhabi, UAE.

Isabella, O., Smets, A., Jäger, K., Zeman, M., van Swaaij, R., 2016. *Solar Energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. Cambridge: UIT Cambridge Limited.

Kassem, M., Bernard, J., Revel, R., Péliissier, S., Duclaud, F., Delacourt, C., 2012. *Calendar aging of a graphite/LiFePO₄ cell*. Journal of Power Sources 208, 296-305.

Larsson, L., 2015. *Varför är en lång båt snabbare än en kort?*, Search Magazine . https://www.searchmagazine.se/artiklar/varf%C3%B6r-%C3%A4r-en-l%C3%A5ng-b%C3%A5t-snabbare-%C3%A4n-en-kort_313.htm. hämtad 2019-04-16.

Ministry of fisheries, 2017. *Fisheries Statistics 2017*. Ministry of fisheries and Aquatic Resources Development (Ed.), Colombo.

Pajot, G., 1978. *Fishing Gear and Methods for Off Shore Fishing in Sri Lanka*. National Aquatic Resources Research and Development Agency, Sri Lanka.

PVGIS, 2019. *Overview of PVGIS data sources and calculation methods*. Europeiska kommissionen, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html. hämtad: 2019-04-24.

R. Dufo-López, Leonar, S.M., Bernal-Agustín, J.L., Artal-Sevil, J.S., Domínguez-Navarro, J.A., 2017. *Comparison of li-ion battery ageing models applied in photovoltaic stand-alone systems*. University of Zaragoza, Spanien.

Romare, M., Dahllöf, L., 2017. *The life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions from lithium-ion batteries*. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.

S. Papezova, V.P., 2017. *Endurance LiFePO₄ battery testing*, Agronomy Research 2017 Vol.15 No.Special Issue I pp.1152-1161 ref.11.

SMHI, 2016. *Sommaren 2016*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/sommaren-2016-den-hamnade-i-det-statistiska-mittfaltet-1.107576>. hämtad 2019-05-05.

Torqueedo, 2019. *One HP is one HP. Isn't it?* <https://www.torqueedo.com/en/technology-and-environment/performance-and-efficiency.html>. hämtad: 2019-04-19.

Trafikverket, 2015. *Index över nya bilars klimatpåverkan 2014*, Trafikverket.

Vanky, K., 2018. *Miljökrav på solceller: En utredning om koldioxidutsläpp från kristallina kisel-solceller*. Uppsala universitet.

Wikner, E., Thiringer, T., 2018. *Extending battery lifetime by avoiding high SOC*. Chalmers tekniska högskola.

Yamaha, 2019. *Yamaha-engine-guide-blue-2019*. <https://www.yamaha-motor.eu/content/dam/se-assets1/yms-documents/water/Yamaha-engine-guide-blue-2019.pdf>. hämtad 2019-05-15.

Appendix

Profilhantering i Matlabmodell:

Användarprofilen illustrerad i Figur 5 skrivs i Matlab som

$$pr = 5$$

$$P_{\text{start}} = [0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.7];$$

$$P_{\text{day}} = [0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9 \ 1];$$

$$P_{\text{zero}} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0];$$

$$P_{\text{mid}} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0];$$

$$P_{\text{end}} = [0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.7];$$

där varje decimaltal multiplicerat med motorns nominella effekt på 2000 W och därmed definierar den valda motoreffekten. Det skall noteras att det endast är det femte elementet i varje vektor i som används i detta fall då endast en kolumn används åt gången i beräkningsiterationerna. Koden ovan kan därmed beskriva tio olika användarprofiler åt gången. Vilka element som beräknas väljs i figur 5 som $pr = 5$ i början av koden. De valda elementen sammanställs i grupper om åtta femtonminuterssegment till tvåtimmarssjok som

$$h_1 = [P_{\text{start}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr)];$$

$$h_2 = [P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr) \ P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr) \ P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr) \ P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr)];$$

$$h_3 = [P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr) \ P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr) \ P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr) \ P_{\text{zero}}(pr) \ P_{\text{mid}}(pr)];$$

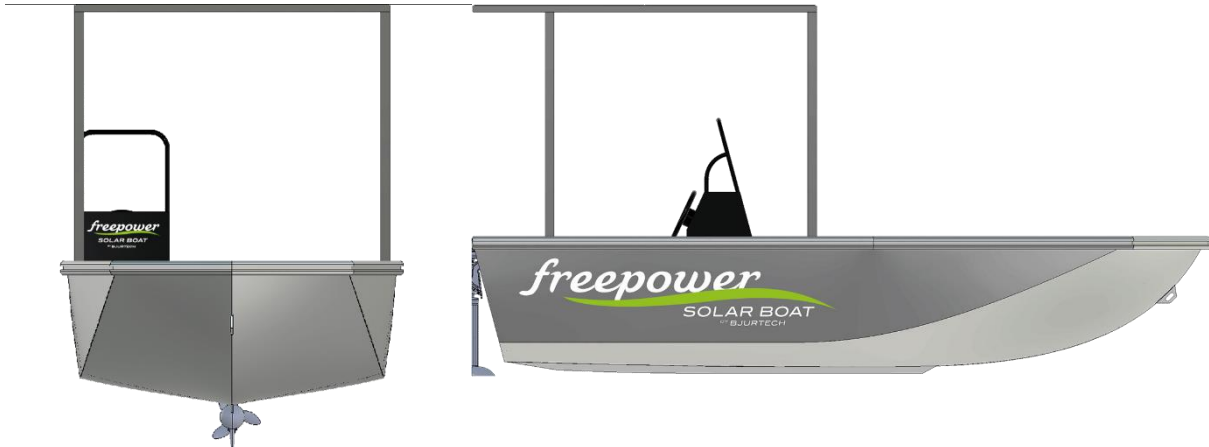
$$h_4 = [P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{day}}(pr) \ P_{\text{end}}(pr)];$$

varefter de fyra tvåtimmarsperioderna sammanställs till en åttatimmars användarprofil som reglerar effektuttaget ur motorn som P_{motor} varje dygn.

Som kan ses i Figur 5 är det i detta fall endast h_1 och h_4 som har något effektuttag. I driftfall C, illustrerat i Figur 12, har däremot 400 W effektförbrukning lagts till varannan kvart i h_2 och h_3 genom att ändra det femte elementet i P_{mid} från 0 till 0,2.

Detta tillvägagångssätt används för att snabbt kunna undersöka flera olika användarprofiler och ger flexibiliteten att simulera olika användningsmönster på femton minuters detaljnivå. Om det önskas att simuleras längre drifttid än åtta timmar behövs endast ytterligare en h_n läggas till för tio timmar, två stycken för tolv, etc.

Freepower – Solar boat





David Ahlbäck



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se