EXAMENSARBETE INOM TEKNIK,
GRUNDNIVÅ, 15 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2020

Klimatsmart båtsemester

Analys av tekniska lösningar för elektrifiering av Albin 25

EMIL LARSSON

EMIL WEGBERG

KTH
SKOLAN FÖR TEKNIKVETENSKAP

Sammanfattning

Studiens syfte var att undersöka om det var möjligt att modifiera och elektrifiera den dieseldrivna familjemotorbåten Albin 25 med förnybara energikällor och på så sätt minska klimatavtrycken för en typisk svensk båtsemester i skärgården, med bivillkoret att resenärernas semesterupplevelse inte skulle kompromissas. Analysen utfördes genom att modellera en genomsnittlig båtsemester och beräkna de energibehov som då uppstod för transporten av båten samt resenärernas essentiella och komfortbehov. Vidare studerades vilka förnybara energikällor som kunde integreras i båten för att kunna tillgodose dessa energibehov. Resultaten visar att flera möjliga lösningar finns, där en kombination av solpaneler och vindkraftverk kopplade till ett batteri från en elektrisk bil visade störst potential. Denna lösning höll måttet för 14 dagars semester för fyra personer både i Stockholms och Göteborgs skärgård, med en total kostnad för båt och modifikationer på cirka 355–430 tkr.

Abstract

The purpose of this project was to study the possibility of modifying Albin 25, a diesel driven leisure boat, and make it run entirely on renewable energy to reduce climate impact of a classic Swedish boating holiday in the eastern and western archipelago, without compromising the comfort and experience of the passengers. The “average Swedish boating holiday” was modelled and analyzed to calculate the energy demands for both transport and comfort of four passengers. Different renewable energy sources were then studied in order to find a combination which could fulfill these energy needs. The results show a multitude of possible solutions, primarily a combination of solar panels and wind turbines connected to the battery of an electric car. This particular solution could maintain 14 days of travel for four passengers both on the east and west coast, with a total cost of around 355-430 thousand SEK.

Arbetsfördelning

Båda författarna bidrog till samtliga kapitel men ansvarade för respektive huvudområden som kan ses nedan.

Emil Larsson

- Introduktion
- Bakgrund
- Programmering, grafer
- Illustrationer

Emil Wegberg

- Metod
- Matematiska beräkningar
- Programmering, vindeffekt

Gemensamt

- Resultat
- Diskussion
- Slutsats

Innehåll

1. Inledning 5
2. Bakgrund 6
3. Metod 11
3.1 Beräkning av massa 11
3.2 Beräkning av erforderlig motoreffekt 12
3.2.1 Den analytiska ansatsen 12
3.2.2 Den approximativa ansatsen 13
3.3 Energibehov och -tillförsel 15
3.3.1 Solpaneler 16
3.3.2 Vindkraftverk 16
3.3.3 Bränsleceller 17
3.3.4 Batteri 18
3.4 Miljöpåverkan 18
3.5 Analys av konceptlösning 19
4. Data 20
4.1 Massberäkning 20
4.2 Förbrukning ombord 20
4.3 Sol- och vindstatistik 21
4.4 Miljöpåverkan 22
4.5 Komponenters kostnader 22
5. Resultat 23
5.1 Erforderlig motoreffekt 23
5.2 Tillförsel av energi 24
5.2.1 Solpaneler 24
5.2.2 Vindkraftverk 24
5.2.3 Bränsleceller 25
5.3 Slutgiltig totallösning 27
6. Diskussion 30
6.1 Batteridiskussion 31
6.2 Energikälldiskussion 32
6.3 Priset 34
6.4 Infrastrukturella påverkningar 35
6.5 Miljöpåverkan 36

6.6 Osäkerheter kring beräkningar 37
7. Slutsats 40
Referenser 41
Bilaga 1 – Analys av konceptval 44
Bilaga 2 - Körscheman 46
Bilaga 3 – Uträkningar 49
3.1 Beräkning av energitillförsel för Solpaneler, Vindkraftverk och Bränsleceller 49
3.2Kod för beräkning av snitteffekten för vindkraften 51

1. Inledning

Sverige är världens tredje mest båttäta land, där en tredjedel av landets befolkning färdas med fritidsbåt minst en gång per säsong [1]. Totala antalet fritidsbåtar i landet ligger kring 800 000, varav cirka 70% av båtarna byggdes innan 1980 [1].

Mellan åren 1968–1978 tillverkades båten Albin 25. Med syftet att vara en ekonomisk familjebåt byggd i modern plast slog den igenom stort, och har kommit att utgöra arketypen av en klassisk svensk fritidsbåt de senaste 50 åren.

Popularitеten förefaller än idag vara relativt hög då det till och med finns klubbar och organisationer som exklusivt dedikerat sig till just denna båtmodell. Marknadsvärdet idag för begagnade exemplar ligger i spannet 50–100 tkr, vilket kan jämföras med likvärdiga nyproducerade båtar som kostar närmare en miljon kronor [2].

Allteftersom analys av miljöpåverkan blir viktigare i alla skeden i vardagen väcks dock frågan huruvida dessa äldre, dieseldrivna båtar håller måttet mot moderna miljökrav. Bilindustrin går mer och mer mot att elektrifiera nya fordon. Kan båtindustrin visa samma engagemang när 70% av alla fritidsbåtar är tillverkade innan 1980 [1]?

Syftet med denna rapport är att modellera utsläpp, konsumtion och miljöpåverkan av en Albin 25 under en två veckor lång båtsemester i svensk skärgård, där passagerarna utgör en familj med två vuxna och två barn. Med denna modell som baslinje ställs sedan frågan hur dessa resultat kan förbättras med minimal påverkan av semesterupplevelsen för passagerarna. Dessa förbättringar undersöks genom modifikation av fordonet, bland annat via byte av motor, installation av solpaneler och andra lösningar av teknisk karaktär.

Vidare utvidgas projektet genom att evaluera vad kostnaderna för dessa modifikationer i teorin skulle bli och sätta detta i relation till hur rimligt detta pris skulle vara för den svenska medelfamiljen. Studien aspirerar även visa, om än med en enklare karaktär, rimligheten för modifikationerna såtillvida hur disponeringen av utrymmet ämnas användas och vilken teknisk kompetens detta kräver för att genomföras. Avslutningsvis analyseras de koldioxidekvivalenter den modifierade lösningen ger upphov till och sätts i perspektiv emot den gamla vilket ämnar ge mer underlag till huruvida detta är en lösning som borde implementeras i samhället eller inte.

2. Bakgrund

Fritidsbåtarbåtar släppte år 2018 ut 176 200 ton koldioxid, eller en tredjedel så mycket som hela flygsektorn [3]. Ändå har båtars bidrag till världens utsläpp gått obemärkt förbi i dagens klimatdebatt, där långt fler framsteg görs inom bil- och flygindustrin. Sverige är världens tredje båttätaste land [1] och samtidigt ett av de mest progressiva länderna när det gäller att bekämpa miljöförändringarna [4], så frågan kan ställas varför just båtsektorn hamnat i skymundan?

När det gäller båtindustrin har vissa framsteg gjorts, bland annat lagstiftning gällande till exempel båtbottenfärg [5] och tömning av avfall [6]. Även färdmedlen förbättras med tiden, men båtvärlden har visat sig ta en klimatfråga i taget och erbjuder därmed inte lika många alternativ som bilindustrin, inte minst på grund av att båttillverkare saknar resurserna som finns att finna hos världens bilföretag.

Båtindustrin är förvisso kluven mellan motorbåtar och segelbåtar, men segelbåtarna utgör omkring 10% av Sveriges båtbestånd och förklarar därmed inte bristen på utveckling inom just miljöanpassade färdmedel [1]. De helt elektriska båtarna som finns på marknaden är antingen mindre jollar med motorer anpassade för små dagsturer utan övernattningsmöjlighet, eller större fritidsbåtar och yachter som ligger långt över de flesta nybörjares budget, till exempel företaget Silent Yachts [7].

Upp emot 70% av Sveriges fritidsbåtar byggdes innan 1980 [1], och detta medför en stor marknad för begagnade båtar. Istället för att fokusera på nyproducerade klimatanpassade fartyg kan det därför vara intressant att se över möjligheterna att modifiera den befintliga flottan, och stegvis ersätta äldre motorer och drivmedel med hållbar teknik.

Några alternativ som har dykt upp är svenska Greenstar Marine [8] och nederländska Bellmarine [9] som tillverkar elektriska motorer och batterier som kan ersätta motorn i en befintlig båt. Möjligheterna för resor längre än en dagstur med denna teknik är dock begränsade och beroende av stabil energitillförsel. Om en befintlig båt ändå önskas uppgraderas utan att uppfinna hjulet på nytt bör sökandet därför utvidgas och se bortom båtindustrin. Med företag som Greenstar Marine är motorn i sig inte ett oövervinnligt hinder, det svåra är att snarare säkra energitillförseln under en hel semester. Greenstar Marine tillverkar litium- och blybatterier anpassade till sina motorer med primära syftet att driva en segelbåt kortare sträckor för att sedan laddas upp under segling genom att ställa om motorn till generatordrift. Vid endast motordrift ökar dock behovet av antal

batterier snabbt i relation till körsträckan och beroende på vilka andra modifikationer som görs på båten kan andra mer kraftfulla eller effektiva batterier behöva beaktas för att uppnå önskvärda resultat.

Bilbatterier har genomgått enorma framsteg senaste årtiondet tack vare den ökande efterfrågan på fossilfria drivmedel och nästa alla stora biltillverkare har på något sätt gått över till att elektrifiera sina nyare modeller [10]. Ett alternativ för den nye båtägaren vore alltså att införskaffa ett befintligt bilbatteri, begagnat eller från en biltillverkare beroende på hur flexibla de är, och på så vis förlänga energibanken för semestern.

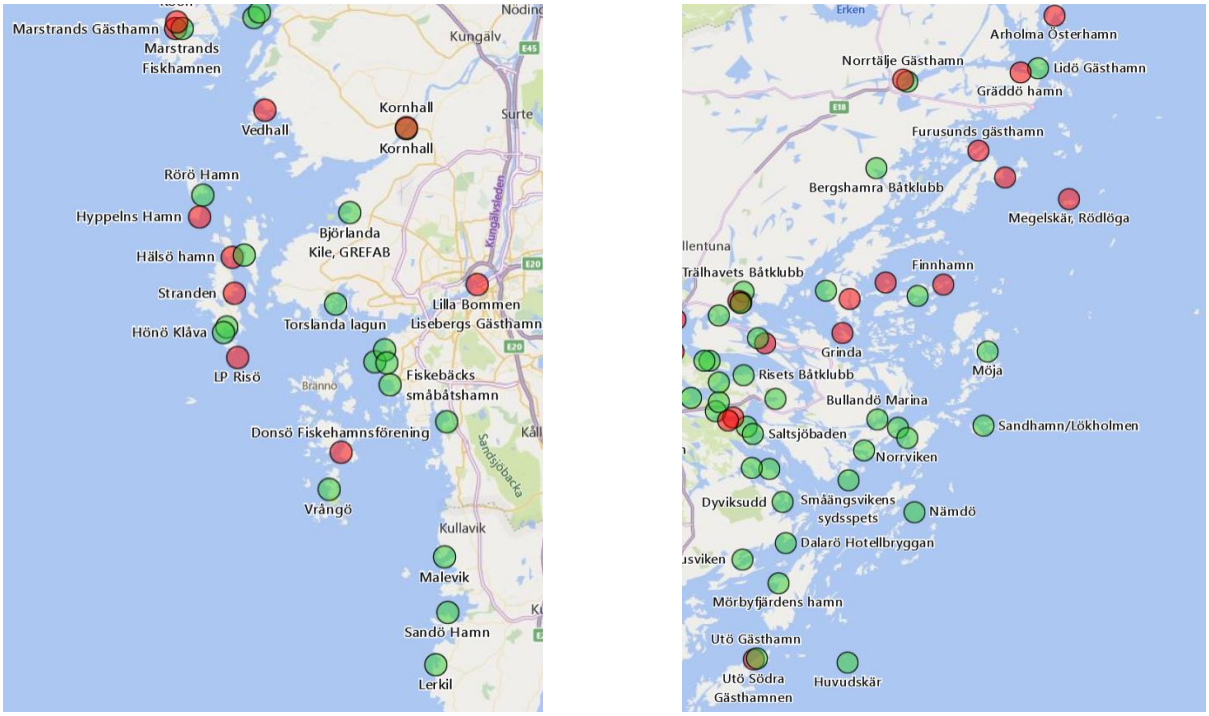
Oavsett hur lösningen ser ut med drift och drivmedel kommer våra semestrare behöva fylla på resurserna och ladda batterierna någon gång under 2 veckors resande. Här finns någorlunda goda valmöjligheter då vår moderna livsstil med smarta telefoner, trådlöst internet och avancerade navigeringsverktyg drivit utvecklingen av portabla solpaneler, vindkraftverk och bränsleceller för just användning vid marint bruk. Dessa tekniker är dock inte kraftfulla nog att driva själva farkosten även om de täcker energibehovet av den ovan nämnda ”hotellasten”. Därmed måste fokuset än en gång vändas bort från båtindustrin och hitta mer kraftfulla alternativ som fortfarande tar i beaktande att sol och vind förekommer med riklig mängd i Sveriges skärgårdar.

Solpaneler utvecklade för långvarigt hemmabruk skulle kunna vara en lösning. Precis som bilbatterier har dessa sett ett stort uppsving i utvecklingen senaste årtionden både tack vare den ökande miljömedvetenheten hos teknikföretag och inte minst tack vare rymdindustrin som utvecklat teknologin för världens sattelitflotta. Drömmen om helt utsläppsfria fordon har även inspirerat tävlingar som World Solar Challenge [11] där deltagarna tävlar med 100% soldrivna bilar, och stiftelsen Solar Impulse Foundation som flugit Jorden runt i ett soldrivet flygplan [12], och många andra organisationer som pressar utvecklingen av hållbar teknik.

Elproducenter så som Vattenfall [13] och Eon [14] har anammat utvecklingen och erbjuder flera alternativ för hemmet, tillsammans med företag traditionellt orelaterade till sektorn så som Ikea [15]. Dessa hemmabrukspaneler har utvecklats för att tåla väder och vind och uppfylla ett långvarigt effektbehov och skulle därmed potentiellt kunna vara en utmärkt energikälla för båtsemestern, förutsatt att de både storleksmässigt och prismässigt går att anpassa till en mindre familjebåt.

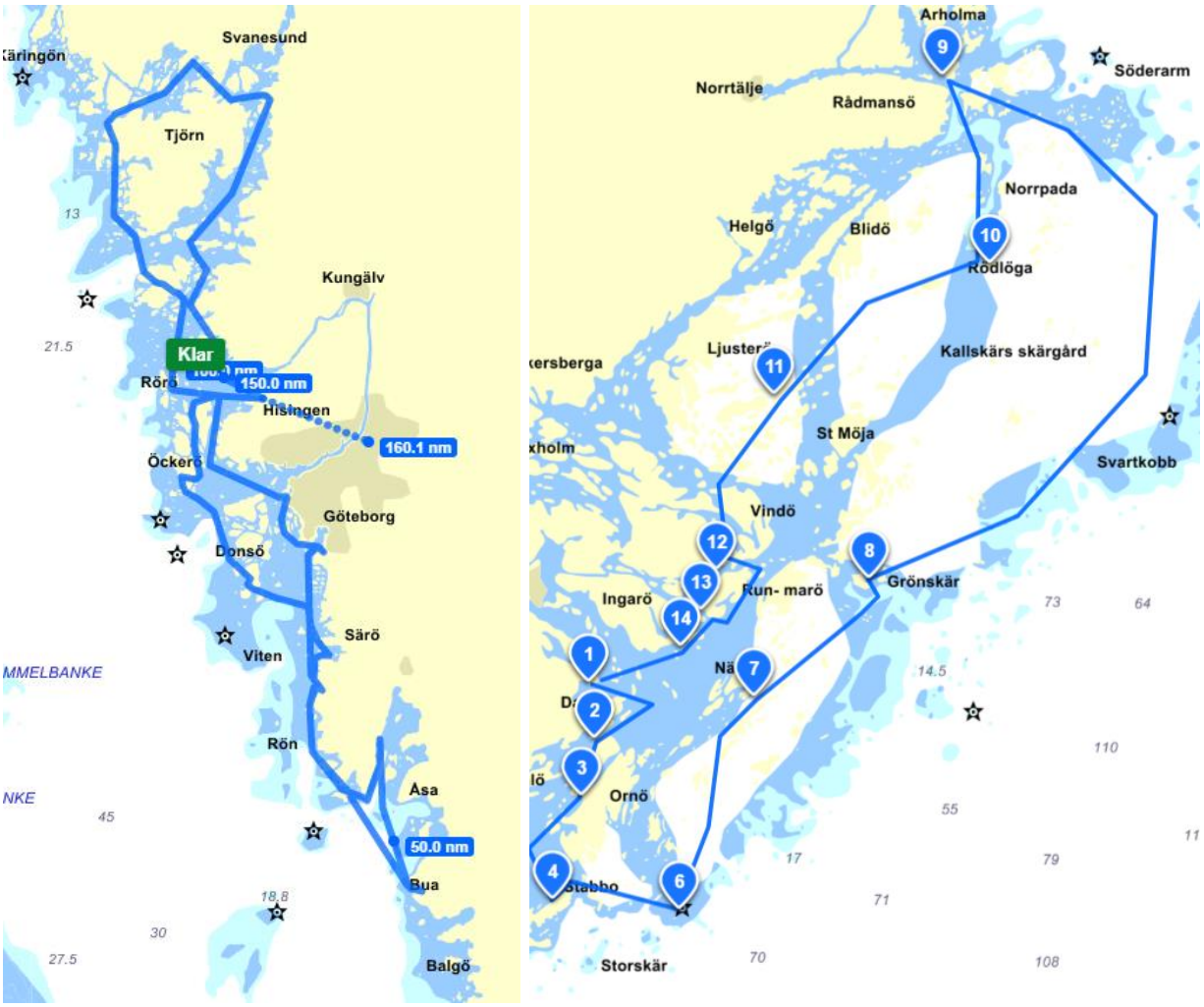
Som komplement till solpaneler skulle även mindre vindkraftverk eller bränsleceller kunna installeras, dock har båda dessa sina för- och nackdelar. Ett vindkraftverk ger ingen nettovinst vid drift om vinden kommer framifrån, men kan till skillnad från solpaneler hållas aktiva nattetid. Bränsleceller är ej begränsade av väderförhållandet till havs, men kräver etanol för att generera energi som i sin tur kräver plats, pengar och ökad klimatpåverkan vid framställning.

Resenärerna medför även andra nödvändiga begränsningar som avgör hur båtrutten kan planeras, till exempel stopp för att fylla på förnödenheter och tömning av avfallstank. Med 4 personer ombord skulle den inbyggda tanken behöva tömmas ungefär varannan eller var tredje dag [16]. Detta är dock ett väletablerat problem och stationer för de essentiella levnadskraven finns utspridda längs hela svenska kusten (se *Figur 1&2)* [17], men en två veckor lång semester bör utgå från närhet till dessa stationer så att inte resenärerna i onödan måste göra plötsliga ruttbyten som drar på energiresurserna.



Figur 1 och *2*: Karta över sugtömningsstationer i Göteborgs respektive Stockholms skärgård, där aktiva sugstationer visas i grönt och inaktiva i rött.

Under en 14 dagar lång semester kan resenärerna täcka cirka 150 sjömil. *Figur 3* och *4* visar två exempelrutter där stationerna i figur 1 och 2 aldrig är mer än en eller två dagar bort.



Figur 3 och *4*: Exempelrutter i Göteborgs och Stockholms skärgård som täcker ca 150 sjömil, eller 14 dagars semester. Förutom i Kallskärs skärgård finns sugtömningsstationer inom 1–2 dagar över hela rutterna.

Utmaningen som behandlas i denna rapport är alltså att undersöka om båten Albin 25 kan modifieras för att bli mer klimatanpassad med hjälp av befintliga teknologiska lösningar. Detta med utgångspunkten att en familj på två vuxna och två barn ska kunna förse samtliga nödvändiga och bekvämlighetsmässiga behov endast med hjälp av förnybara resurser utan att semesterupplevelsen ändras drastiskt. Även olika körbeteenden och dess effekt på energiåtgången analyseras.

Med utgångspunkten att modifikationerna inte ska förstöra semesterupplevelsen ställdes följande krav på vad som definierar en ”klassisk svensk båtsemester”:

- Antal resenärer: Två vuxna och två barn
- Total restid: 14 dagar
- Ungefärlig reseträcka: 150 sjömil
- 2–3 timmar körtid per dag
- Tömma avfallstank var tredje dag
- Bekvämligheter: 4 telefoner, dator, surfplatta, GPS, navigationsdator, kylskåp

3. Metod

Detta kapitel ämnar förklara och demonstrera tillvägagångsätten som användes vid evaluering av båten och dess komponenter. Grundidén för studiens metod var att uppskatta hur mycket energi en elmotor förbrukade vid drift av båten och med denna information beräkna hur mycket energi som krävde tillföras för att hålla den vid drift över en 14 dagars period. Genom att beräkna möjlig energitillförsel från olika energikällor i form av batterier, solkraft, vindkraft och bränsleceller skapades sedan ett underlag för olika möjligheter av hur båtens koncept kunde utformas. Detta underlag evaluerades via en konceptuell analys vilken tog hänsyn till båtkonceptets prestanda, miljöpåverkan och pris och vars syfte var att ta fram den bästa möjliga version av båten för miljön och kunden. Notera att specifika data som siffror och liknande är sparsamt använt i detta kapitel och kan istället läsas mer konkret och koncist under kapitel *4. Data* och *5. Resultat*.

3.1 Beräkning av massa

Vid modifikation av farkosten uppstod förändringar i massa vilket var en mycket central del för beräkning av motorns krävda effekt och vidare även vilket energibehov konstruktionen fick. Som underlag för dessa beräkningar användes manualen för Albin 25 vilken gav information om båtens deplacement olastad utan resenärer, vatten och utrustning men upptankad med dieselmotorn installerad [16].

Dieselmotorn som användes var en Albin AD-21 vilken hade en egen användarmanual från vilken dess massa hämtades [18]. Med kännedom om bränsletankens volym och bränslets densitet kunde även dess massa enkelt beräknas. Dessa två termer subtraherades bort ifrån totala massan eftersom de vid modifikation av båt ej skulle tillämpas.

Vidare användes statistiskt underlag för vad en familjs sammanlagda massa med två vuxna och två barn kunde tänkas vara baserat medelvikten för svenska folket [19]. Massa för elmotor, batteri, solpaneler, vindkraftverk och bränsleceller gavs genom specifikationer från tillverkarna. Slutligen uppskattades även massan för utrustning, förnödenheter och bekvämligheter som vanligen tas med på en båtsemester samt uppfyllde de specificerade kraven se *2. Bakgrund*.

3.2 Beräkning av erforderlig motoreffekt

I sitt originalskick är Albin 25 utrustad med en dieseldriven motor kapabel att genera en effekt upp till 22 hästkrafter (ca 16.5 kW) [16]. Vid byte till elmotorn Greenstar Marine P10 krävdes därför en evaluering av hur mycket av denna effekt som krävdes att återskapa med en elmotor. Anledningen till att inte omedelbart återskapa samma effekt med en elmotor grundade sig i att den energiförbrukning detta skulle kräva var betydligt mer krävande att återskapa med elektriska medel relativt fossila bränslen. Det var därför nödvändigt att ställa upp en analys som visade vilken effekt motorn var tvungen att leverera för olika hastigheter och massor. Detta betraktades både analytiskt och approximativt.

3.2.1 Den analytiska ansatsen

Effekten motorn var tvungen att generera var direkt beroende av motståndskraften som bildades i vattnet då båten förflyttades genom denna fluid. Motståndskraften definieras då enligt:

$$R = C_T \frac{1}{2} \rho V^2 S \tag{1}$$

Där C_T är motståndskoefficienten, ρ vattnets densitet, V båtens hastighet relativt vattnet och S båtens ”våta area” [20]. Det insågs därmed att motorns effekt var beroende framförallt av två förändringsbara faktorer, båtens hastighet och massa. Hastighetens påverkan var enkelt att se från motståndsekvationen men massans inverkan var däremot inte lika tydligt då denna påverkade C_T:s förändring. C_T definieras enligt:

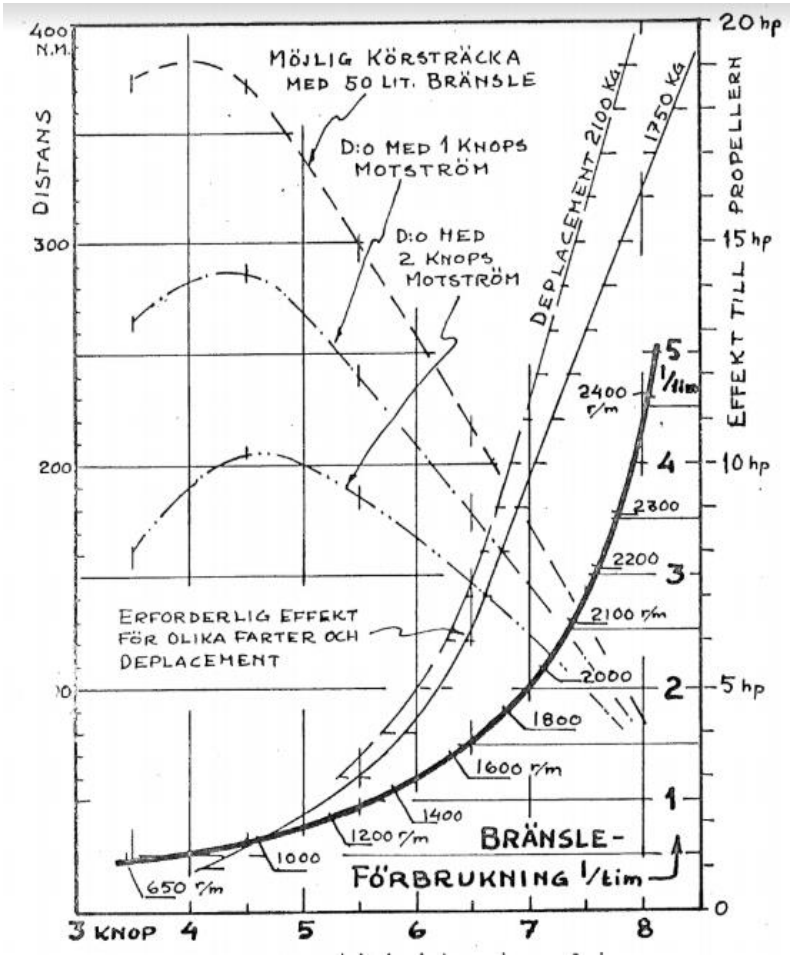
$$C_T = (1 + k)C_F + C_{RS} + \Delta C_F + C_{AA} \tag{2}$$

Där $(1 + k)C_F$ är visköst form- och friktionsmotstånd, C_{RS} är vågbildningsmotstånd, ΔC_F är yttråhetstilläget och C_{AA} är luftmotståndet [20]. Med vetskapen om detta insågs alltså att då båtens deplacement (massa) förändrades så differentierade även formmotståndet eftersom båten sjunker djupare under ytan och det var därmed bevisat att massan påverkar motorns effekt.

Att utföra dessa beräkningar var dock inte möjligt att göra rent analytiskt på grund av den det ännu ej lösta problemet för Navier-Stokes ekvationer, utan hade krävt en minst semiempirisk ansats vilken i sig krävde en fysisk modellering av båten [20]. Detta innebar att beräkna motståndskraften på båten rent teoretiskt skulle vara en mycket omfattande procedur och därmed valdes inte denna metod för att beräkna motorns effekt. Däremot togs dessa samband i åtanke för att förstå och skapa en uppfattning om hur fluiden kring farkosten påverkade båten.

3.2.2 Den approximativa ansatsen

För att underlätta beräkningarna och undvika fysisk modellering användes istället data från redan utförda tester från tillverkaren där båtens effektbehov mätts upp för olika hastigheter och deplacement [16]. Resultaten från dessa tester blev därför det huvudsakliga underlaget för effektanalyser se *Figur 5*.



Figur 5: Empiriska data över effekt som funktion av hastighet och deplacement.

Även med dessa resultat givna fanns ett problem eftersom största deplacementet dessa data inkluderade underskred de deplacement som tagits fram från massberäkningarna och som effektanalysen syftade inkludera. Därmed krävdes istället approximationstekniker för att uppskatta hur effektbehovet ändrades relativt deplacementets differens. För att genomföra dessa approximationer användes två olika tekniker i syfte att undersöka problemet från flera synvinklar samt kunna jämföra resultaten med varandra och på så ge mer underlag för huruvida approximationerna föreföll rimliga.

Den första tekniken grundade sig i att jämföra effektskillnaden mellan de två effekt/deplacement -kurvor som var givna och sedan extrapolera dessa resultat för de deplacement som ansågs intressanta. Här betraktades ett antal olika hastigheter inom varje givet deplacement för vilka $\Delta P_i(V_i, m_i)$ uppmättes. Med denna skillnad känd för varje hastighet samt vetskapen om skillnaden i deplacement mellan samma hastigheter beräknades effekten för det högre deplacementet enligt:

$$P(m_i, V_j) = P_{0i} + \Delta P_i = P_{0i} + \left(P(V_i, m_j) - P(V_i, m_k)\right) \tag{3}$$

Den andra tekniken vilken utgick ifrån samma effekt/deplacement -kurvor var att studera effekten per massenhet. Kvoten som detta bildade för varje punkt antogs sedan vara approximativt konstant eller aningen lägre för större massor med samma hastighet det vill säga:

$$\frac{P(m_i, V_j)}{m_i} \approx \frac{P(m_k, V_j)}{m_k} \tag{4}$$

Genom detta antagande kunde sedan erforderlig effekt som funktion av massan beräknas. Denna analys genomfördes med bivillkoret att båtens vattenlinje inte fick sjunka för djupt i vattnet vid ökad massa eftersom de strömningsmekaniska påverkningarna då skulle differentiera till den grad att den empiriska data vilken var tillhandahållen inte längre skulle vara relevant.

Vid beräkning av djupet på båtens vattenlinje gjordes en approximativ förenkling vilken antog att båtens våta area förblev konstant för olika deplacement. Detta medförde att djupet kunde beräknas med Arkimedes princip enligt:

$$\rho g V = \rho g h S = m g \tag{5}$$

$$=> h = \frac{m}{\rho S} \tag{6}$$

Arean S approximerades med data givet från båtens manual och villkoret för maximalt djup sattes till $\Delta h(m) = h(m_i) - h_0 \leq 5\ cm$. Där h_0 var båtens djup vid standarddeplacement.

För att uppskatta effektbehovet jämfördes slutligen resultaten från båda dessa approximationer där det ”sämsta” resultatet användes för att minska risken om att energiförbrukningen var högre än uppskattat.

3.3 Energibehov och -tillförsel

Med en uppskattning av vilka effekter motorn behövde genera för olika hastigheter och massor kunde nu beräkningar för energibehov ställas upp. Energiförbrukningen som uppstod i syfte att transportera båten beräknades genom att analysera olika motoreffekter över ett bestämt tidsintervall som motsvarade den tänkta restiden per dag. Genom att laborera både med olika hastigheter, deplacement och restider kunde beräkningsmodeller tas fram som visade energiförbrukningar över hela semestern som kombination av olika körbeteenden och båtkoncept.

Energiförbrukningen ombord för resenärerna var också tvungen att tas i åtanke. Här ställdes approximativa beräkningsmodeller upp i syfte att simulera energianvändningen för resenärernas dagliga energianvändning. Modellerna tog hänsyn till dels till essentiell utrustning så som GPS, kylskåp och laddning av mobiltelefon men även bekvämlighetsaspekter såsom laptops, surfplattor och trådlös router. Genom att uppskatta utrustningens olika effekter och användning per dag gavs en uppfattning om hur mycket energi som förbrukades ombord.

För att kontinuerligt kunna hålla båten vid drift utvärderades olika koncept för tillförsel av energi där hänsyn togs till energi per massenhet, volym, rimlighet, miljöpåverkan och pris. Energikällorna som evaluerades var solenergi, vindenergi och bränsleceller.

3.3.1 Solpaneler

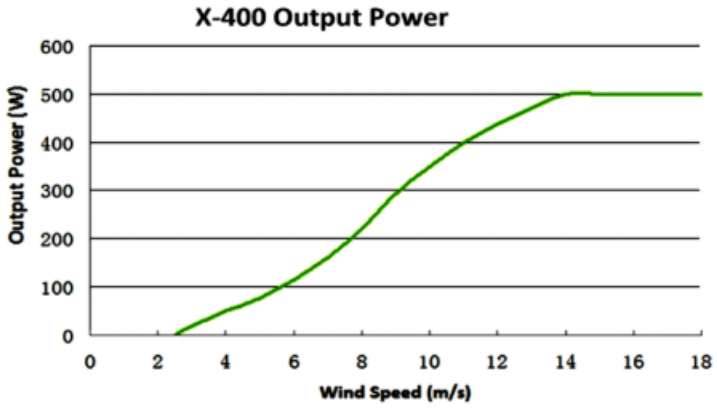
Vid val av solpaneler söktes utrustning med så hög effekt som möjligt för att kunna utnyttja den dagliga strålningsenergin till fullo. För att kunna göra solpanelerna kompatibla med batteriet som skulle laddas av dessa användes en regulator vilken säkerställde att inte för hög ström flödade genom batteriet, medans det omvända problemet att undvika få för låg ström löstes genom att seriekoppla paneler vilket ökade spänningen och kretsen och i sin tur strömmen.

För att tillföra en ansenlig mängd energi från solpanelerna krävdes ett i relation till båten ganska stort utrymme vilket studerades genom att se vilka befintliga ytor på båten kunde utrustas med paneler, men även genom att utforska enklare konstruktionsmodifieringar av båten vilka gjorde det möjligt att utnyttja ytor som initialt varken ansågs lämpliga eller möjliga.

Energitillförseln från solpanelerna beräknades genom att approximera snitteffekten av vad solpanelerna kunde leverera. Denna effekt sattes konstant till en tredjedel av den märkta maxeffekten för att kompensera för olika solintensiteter under dagen. Tidsintervallet per dag för panelernas förmåga att generera energi sattes konstant som medelvärdet för antal soltimmar för juni, juli och augusti månad.

3.3.2 Vindkraftverk

För att uppskatta energigenereringen av vindkraftverken betraktades inledningsvis manualen för den valda modell som användes i denna studie där empiriska data över effekten för olika vindhastigheter var given se *Figur 6* [21]. Vidare studerades statisk från SMHI över vindhastigheter för respektive skärgård vid olika positioner som användes vid modellering [22]. Denna statistik visade olika vindhastigheter under flera års tid med mätintervall som sträckte sig mellan $1-6\ h$, och genom denna data beräknades ett medelvärde vilket antogs gälla dygnet runt vid beräkning av genererad vindenergi. Genom kännedom om en snitthastighet och tidsintervall kunde energitillförseln beräknas med hjälp av effekten för denna hastighet enligt *Figur 6.* För att uppskatta hur trolig denna representation av energitillförsel var gjordes även en viktad effektanalys i Matlab där vindstatistik importerades och snitteffekt per dag beräknades med villkoret att alla hastigheter under tröskelgränsen sattes till noll. De två resultaten jämfördes sedan för att vidare evaluera hur mycket vindenergi fanns att tillgå och inför konceptvalsanalyserna togs ett medelvärde mellan dessa två resultat för att kunna räkna med.



Figur 6: Graf över effekten vindkraftverket genererade för olika hastigheter. Grafen visar energigeneration från ca 3 m/s men den faktiska tröskelgränsen för att ladda batterierna ligger på 5 m/s enligt tillverkarens uppgifter.

3.3.3 Bränsleceller

Med bränsleceller upphörde alla inverkningar av väderomständigheter men istället tillkom ett av de ursprungliga problemen med båten, tillförsel av bränsle. Vidare krävdes en ansenlig mängd bränsleceller och i proportion ännu mer bränsle för att detta koncept skulle ge en rimlig mängd energi. Detta innebar summan av alla bränsleceller med tillhörande bränsle utgjorde en ganska betydande massa.

Olika utformningsmöjligheter av detta koncept gavs i form av att kombinera antal bränsleceller med hur mycket bränsle varje cell fick till sitt förfogande. Större mängd bränsle gjorde att effekten kunde tas ut över längre tid medan fler celler gav större effekt på kortare tid. En kort optimeringsanalys ställdes därför upp för att hitta den mest effektiva mängden celler och bränsle.

3.3.4 Batteri

En mycket central del vid elmotordrift var givetvis val av batteri eftersom detta determinerade vilken energireserv som var möjlig att lagra upp. Ett batteripaket med för låg kapacitet minskade möjligheterna att kunna utnyttja energikällornas fulla potential eftersom källorna inte var kraftfulla nog att genera ström direkt till motorn utan istället var tvungna att ladda upp ett batteri som löste denna uppgift. Om batteriets lagringskapacitet ständigt nåddes medförde detta att energin som samlades in inte kunde lagras och därmed gick till spillo. Med den energiförbrukning som räknades fram föreföll det dock tydligt att det skulle krävas ett väldigt kraftfullt batteri relativt den traditionella marina marknadens utbud som generellt är anpassat efter tillfällig batteridrift inne i marinor. Samtidigt som ett sådant batteri med större lagringskapacitet hade en betydligt högre massa vilket i sig bidrog till en högre effekt från motorn och därmed också en högre energiförbrukning.

Vidare fanns även ett problem med installation av ett större batteripaket eftersom utrymmet på båten som fanns till förfogande för dessa angelägenheter inte var av överdrivet utan krävde en genomtänkt strategi för att kunna placera ut.

De batterival det avslutningsvis stod mellan var dels några klassiska litiumbatterier från Greenstar [8] som inom sitt marknadsområde var mycket kraftfulla, dels betraktades även batteripaketet från en Nissan Leaf elbil [23] vilket hade en tre gånger större massa men lika mycket mer kapacitet.

Slutgiltiga valet av batterier gjordes med underlaget från konceptanalysen där samtliga värderingfaktorer av alla båtkoncept vägdes mot varandra och däribland även batterival.

3.4 Miljöpåverkan

För att kvantifiera miljöpåverkan hos varje koncept användes måttenheten kilogram koldioxidekvivalent per kilowattimme, eller $kgCO2eq/kWh$, vilket är ett vanligt förekommande mått inom miljövetenskapen. För att få fram detta värde undersöks först mängden utsläpp av CO_2-ekvivalenter vid tillverkning och installation av komponenterna, samt totala energiproduktionen över hela dess livstid. Slutligen erhålls kvoten mellan dessa enligt

$$Klimatpåverkan = \frac{Utsläpp\ CO2 - ekvivalenter}{Total\ energiproduktion}\ [kgCO_2eq/kWh]$$

3.5 Analys av konceptlösning

Med kännedom om den energi som fanns tillgänglig och den som krävdes kunde en optimeringsanalys inledas med syfte att hitta så fördelaktigt koncept som möjligt. De faktorer som togs in i bedömning var nettoenergi, hastighet, körsträcka, miljöpåverkan, hållbarhet och pris.

Analysen genomfördes genom att ta fram olika koncept för båten där en eller flera energikällor kombinerades med olika batterityper. Detta gav båten olika deplacement vilket påverkade transportens energiförbrukning medan förbrukningsenergin ombord antogs vara konstant oavsett koncept. Varje koncept evaluerades sedan med avseende på olika hastigheter där körscheman ställdes upp med kombinationer av hastigheter och körtider. Genom denna process togs den optimala nettoenergiförbrukningen för varje koncept fram innan dessa jämfördes med varandra.

När alla koncept som var framtagna rankades deras olika egenskaper där det ansågs fördelaktigt att ha en hög nettoenergi, hastighet, körsträcka och hållbarhet samt låg miljöpåverkan, körtid och pris. Energin, hastigheten och körtidens resultat framgick direkt genom energianalyserna medan hållbarheten och miljöpåverkan evaluerades genom att uppskatta koldioxidekvivalenterna per kilowattimme. Priset estimerades direkt från försäljaren av produkter som fanns tillgängliga. - Vidare gjordes även en övergripande bedömning om hur rimlig varje lösning ansågs att implementera vilket också påverkade val av koncept.

Med alla dessa parametrar i behåll gjordes sedan en bedömning av vilket koncept som framstod mest fördelaktig och detta valdes sedan som slutgiltig design.

4. Data

Detta kapitel ämnar redovisa de specifika indata vilka var mest relevanta för arbetet.

4.1 Massberäkning

Tabell 1: De numeriska värden som antogs gälla vid beräkning av båtens deplacement.

Objekt	Massa [kg]
Tom båt (inklusive motor och dieselbränsle)	1600
Dieselmotor	235
Bränsle Diesel (75 liter)	66
Elmotor, Greenstar Marine	50
Litiumbatterier (2 st)	100
Batteripaket	272
Solpaneler (10 kvm)	108
Vindkraftverk (1 st)	7.8
Resenärer	280
Bränslecell (per cell)	8.5
Etanol (per dunk)	8.4
Utrustning och bekvämligheter	200
Vatten (65 liter)	65

4.2 Förbrukning ombord

De komponenters effekt som användes ombord som användes ombord uppskattades från dessa källor [8] [24] [25] [26] [27]. De sammanställda värdena kan läsas i *Tabell 2.*

Tabell 2: Energiförbrukande komponenter under båtsemestern.

Objekt	Effekt (W)	Estimerad användning per dag (h)	Energi per dag (kWh/dag)	Energi per 2 veckor (kWh/14 dagar)
Elmotor, Greenstar Marine P10	10 000	2–3	*	*
Kylskåp	16	24	0.37	5.2
4 st mobiler	20	3	0.06	0.8
1 st Ipad	12	2	0.024	0.3
1 st dator	81	4	0.32	4.5
Trådlös router	12	8	0.1	1.3
GPS	8	3	0.024	0.3

*Se *5.1 Erforderlig motoreffekt* och *Bilaga 2*.

4.3 Sol- och vindstatistik

Datan som visas i tabell 3–5 berör Göteborgs och Stockholms skärgård och hämtades från SMHI [28] [22].

Tabell 3: Medelvärde av antal soltimmar och globalstrålning på svenska öst- och västkusten.

Plats	Månad	Snitt antal soltimmar	Globalstrålning [kW/m^2]
Stockholm	Juni	292	177
	Juli	260	160
	Augusti	221	126
Stora högarna	Juni	294	184
	Juli	298	182
	Augusti	267	145
Göteborg	Juni	250	170
	Juli	233	161
	Augusti	204	129

Tabell 4 och *5*: Medelvindhastighet på öst- respektive västkusten.

Plats	Period	Medelhastighet (m/s)
Utö	1985–1994	5.9
Sandhamn	1965–1969	5.8
Grönskär	1942–1960	6.7
Svenska Högarna	2010–2020	7.1
Söderarm	1951–2020	7.4
Skarpö	1976–2020	4.1

Plats	Period	Medelhastighet (m/s)
Vinga	1949–2020	7.2
Trubaduren	1978–2007	6.8
Nidinge	1969–2020	7.1

4.4 Miljöpåverkan

Källor för utsläppsdata anges för varje komponent i tabell 6.

Tabell 6: Miljöpåverkan från produktion av huvudkomponenterna i de olika båtalternativen, mätt i utsläppt koldioxidekvivalenter per genererad energi över hela den förväntade livstiden.

Komponent	**Utsläpp från produktion och användning [kgCO_2eq/kWh]**
Motor, Greenstar Marine [29]	0,016–0,033
Batteri, Greenstar Marine [30]	61–106
Bilbatteri, Nissan Leaf [30]	61–106
Solpanel [31]	0,042
Vindkraftverk [32]	0,01
Metanol [33]	0.99
Diesel [32]	0.29

4.5 Komponenters kostnader

Tabell 7: Priser för olika komponenter som användes vid modellering.

Komponent	**Pris (tkr)**
Båt 1st [2]	50–100
Batteri, Greenstar Marine 2st [8]	100
Bilbatteri, Nissan Leaf 1st [34]	75–100
Motor, Greenstar Marine 1st [8]	150
Solpaneler 6st [35]	50
Vindkraftverk 2st [21]	24
Metanol 33–100 L [36]	2.4–7.2
Bränslecell 1-3st [36]	60–180

5. Resultat

Detta kapitel ämnar visa vad för specifika värden som erhölls efter att ha följt beräkningarna från metoden. För att tillvägagångssättet dessa resultat togs fram eller explicita uträkningar hänvisas läsaren till *3.Metod* respektive *Bilaga 3*.

5.1 Erforderlig motoreffekt

De effekter som beräknades fram genom empiriska underlag och approximationer kan ses i *Tabell 8* redovisat för olika deplacement. Skrovets beräknade djup kan läsas här vilket inte fick överskrida 5 cm relativt skrovdjupet vid deplacementet 2100 kg. Det går även att läsa effekten per massenhet som en referens.

Tabell 8: Beräknade motoreffekter vid olika hastigheter och deplacement samt vad skrovdjupet och effekten per massenhet för dessa.

Deplacement [kg]	**Hastighet [knop]**	**Effekt [kW]**	**Skrovdjup [cm]**	**Effekt per massenhet [W/kg]**
2100	4	0.75	17	0.36
2100	5	1.9	17	0.90
2100	6	3.7	17	1.8
2100	7	8.4	17	4.0
2450	4	0.9	20	0.36
2450	5	2.2	20	0.90
2450	6	4.7	20	1.9
2450	7	9.6	20	3.9
2800	4	1.0	22	0.36
2800	5	2.5	22	0.90
2800	6	5.7	22	2.0
2800	7	11	22	3.9

0

5.2 Tillförsel av energi

5.2.1 Solpaneler

Den uppskattningsvis genererade energin solpanelerna tillförde beräknades enligt:

$$E_{solpaneler} = \sum_{antal\ dagar} n_{paneler} \cdot P_{snitt\ solpanel} \cdot t_{medelsoltimmar\ per\ dag} \quad (7)$$

Där 6 stycken paneler användes samt antaganden om en snitteffekt på $133\ W$ och medelsoltid på $8\ h$ per dygn. Detta medförde en daglig energitillförsel på $5.3\ kWh$ och $74.2\ kWh$ per två veckor.

5.2.2 Vindkraftverk

De potentiella energitillgångar för vindkraften som med medelvinhastigheten som underlag beräknades enligt:

$$E_{vindkraft} = \sum n_{vindkraftverk} \cdot P_{snitthastighet} \cdot t_{dygn} \quad (8)$$

Där 2 stycken vindkraftverk användes och antaganden om en medelvindhastighet på $6\ m/s$ vilket i sin tur genererade en snitteffekt $P_{snitthastighet}$ på $100\ W$. Vidare antogs även tiden för möjlig energigenerering t_{dygn} vara $24\ h$ per dygn. Tröskelgränsen för att kunna generera vindenergi var $5\ \frac{m}{s}$. Energitillförseln med den viktade snitteffekten beräknade enligt:

$$E_{vindkraft} = \frac{n_{vindkraftverk}}{n_{dygn}} \sum_{antal\ dygn} \left(\sum_{antal\ intervall\ per\ dygn} P(v_{medel\ intervall}) \cdot t_{intervall} \right) \quad (9)$$

Där 2 stycken vindkraftverk användes och antal dygn varierade från olika datainsamlingar beroende på antal mätintervall och mätperiod se *tabell 4* och *5* för det sistnämnda. Effekten P var beroende av medelvindhastigheten $v_{medel\ intervall}$ vilken antogs gälla under tiden $t_{intervall}$ där summan av alla $t_{intervall}$ per dygn uppgick till $24\ h$.

Resultaten från dessa beräkningar blev enligt *Tabell 9* och *Tabell 10*. Dessa tabeller syftar till att visa spannet av vindhastigheter genom miljöerna båten färdas medan det värde som räknades med vid konceptvalsanalysen kan läsas efteråt. Värt att notera är att dessa värden gäller för endast 1 vindkraftverk så vid sammanställningar av energi gäller dessa värden gånger n vindkraftverk.

Tabell 9: Potentiell energitillförsel för ett vindkraftverk som funktion av platsens medelvindhastighet över flera års tid respektive medeleffekten per dygn. För medelhastigheter under 5 m/s sätts energin till 0. Platserna i denna tabell gäller destinationer i Stockholms Skärgård.

Plats	**Energi per dygn som funktion av medelhastighet (kWh)**	**Energi per dygn som funktion av beräknad snitteffekt (kWh)**
Utö	2.4	2.3
Sandhamn	2.4	2.3
Grönskär	3.3	2.7
Svenska Högarna	3.6	3.3
Söderarm	4.2	3.3
Skarpö	0	1.1

Tabell 10: Potentiell energitillförsel för ett vindkraftverk som funktion av platsens medelvindhastighet vöer flera års tid respektive medeleffekten per dygn. För medelhastigheter under 5 m/s sätts energin till 0 Platserna i denna tabell gäller destinationer i Göteborgs Skärgård.

Plats	**Energi per dygn som funktion av medelhastighet (kWh)**	**Energi per dygn som funktion av beräknad snitteffekt (kWh)**
Vinga	3.6	3.1
Trubaduren	3.5	3.2
Nidinge	3.6	3.2

Med dessa värden som underlag antogs vindenergin per dygn uppgå till 2.4 kWh per vindkraftverk vilket medförde att vid koncepetanalysberäkningarna där 2 stycken vindkraftverk användes blev energinsumman per dygn 4.8 kWh och 67.2 kWh per två veckor.

5.2.3 Bränsleceller

Den energi som producerades via bränsleceller beräknades enligt:

$$E_{bränsleceller} = \sum n_{celler} \cdot P_{cell} \cdot t_{per\ dygn}(n_{bränsledunkar\ per\ cell}) \qquad (10)$$

Där antal använda celler varierade mellan $1-3$ stycken for olika energiklasser i konceptanalysen. Effekten per cell P_{cell} var $105\ W$ och användningstiden per dygn uppgick till $24\ h$ under förutsättning av 3.3 dunkar användes per dunk vilket motsvarade ca $33\ liter$ metanol. De olika sammansättningarna och dess energitillförsel kan ses i *Tabell 11*.

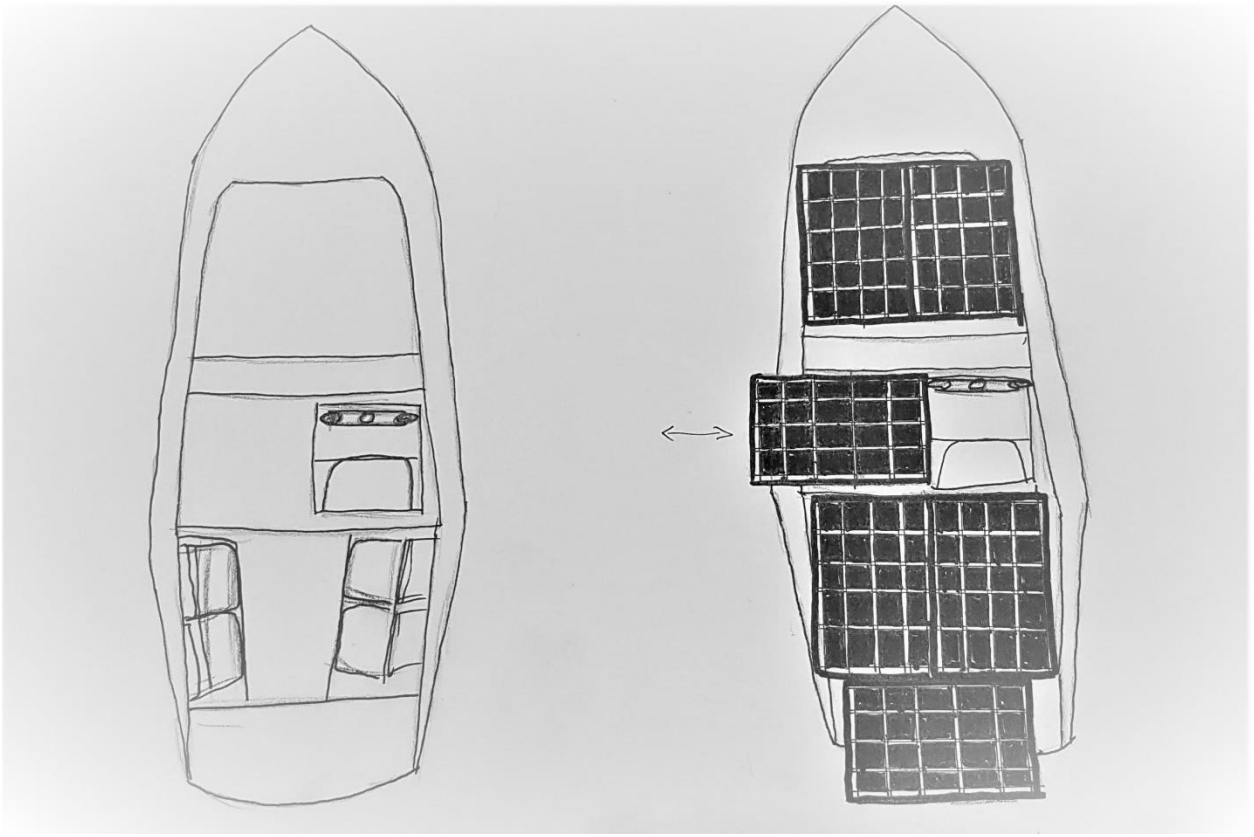
Tabell 11: Energitillförsel för bränsleceller.

Antal celler	**Energi per dygn (kWh)**	**Energi per 14 dagar (kWh)**
1	2.3	32
2	4.6	64
3	6.9	97

5.3 Slutgiltig totallösning

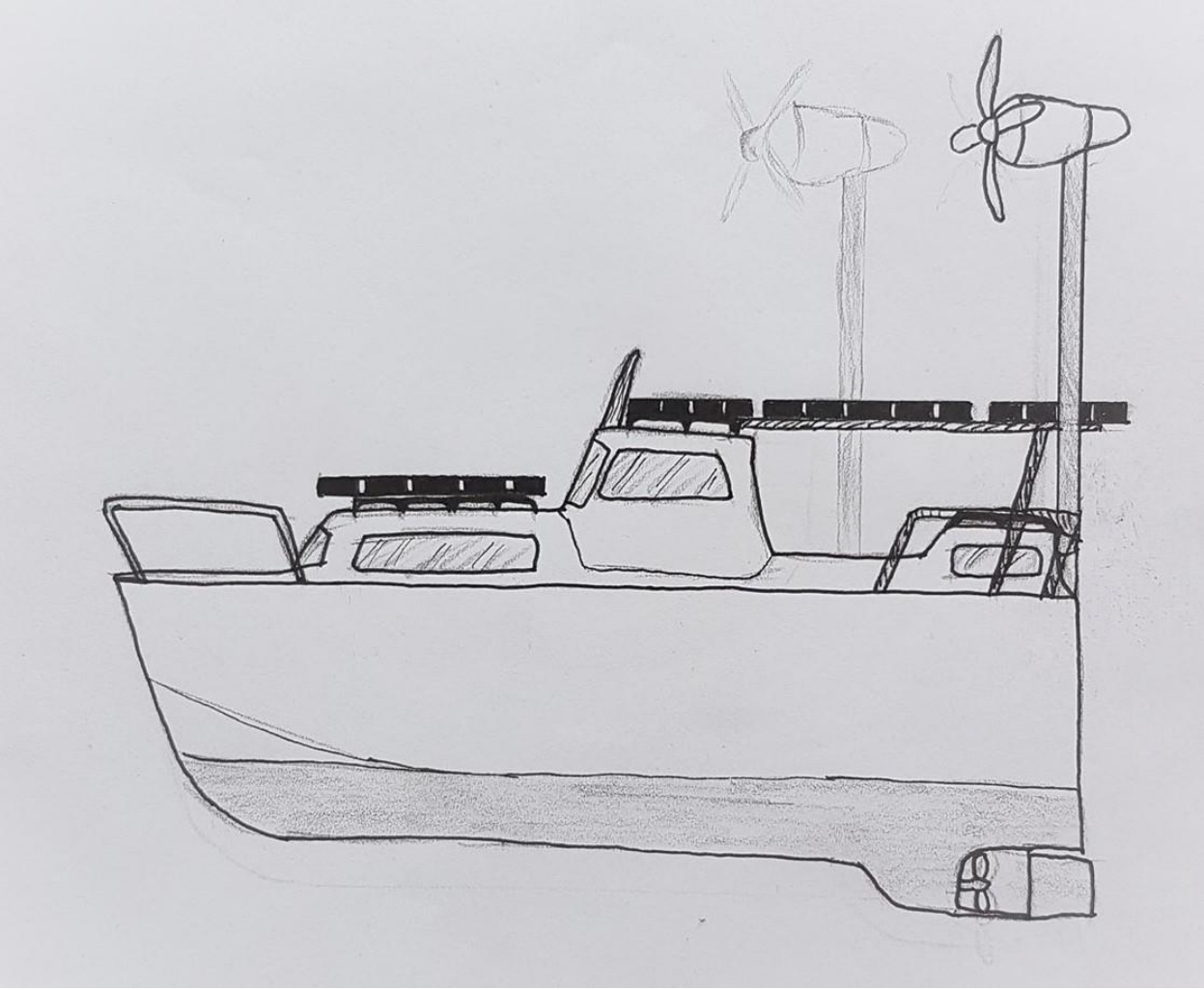
Med alternativen som tagits fram enligt *Bilaga 1* och *2* med avseende på energikrav, totalt deplacement, införskaffningspris samt driftskostnader erhölls flera möjliga lösningar för att klara semesterkraven. Samtliga lösningar utgick från att elmotorn P10 från Greenstar Marine användes.

Ett av de alternativ som gav bäst säkerhetsmarginal för att klara 14 dagars drift samt höll nere kostnaderna var att installera bilbatteri med kapaciteten 30 kWh som laddas med 6st solpaneler enligt planlösningen i figur 7. Dessa gav ett dagligt energitillskott på 5.3+4.8 kWh enligt *Tabell 12*.



Figur 7: Planlösning för Albin 25 utan solpaneler till vänster samt med ca. 10 kvm solpaneler till höger.

För att få plats med samtliga paneler krävdes en utbyggnad av taket på styrhytten enligt *Figur 7* och *8*. Vindkraftverken kunde fästas på relingen, som i denna lösning av estetiska skäl placerades i aktern.



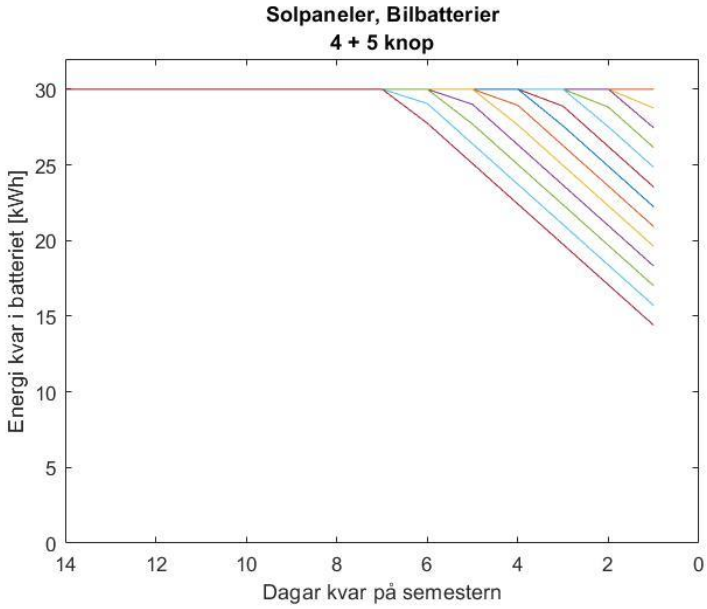
Figur 8: Sidovy av för Albin 25 med 10 kvm solpaneler samt två vindkraftverk.

Olika körscheman undersöktes och för denna lösning erhölls bäst marginal vid 2 timmars drift per dag vid 4–5 knop enligt *Figur 9*. Även 5–6 knop undersöktes men med betydligt mindre marginal, se Bilaga 2.

Vidare kunde laddningsförmågan stärkas med två vindkraftverk monterade på akterns reling. Detta medförde ytterligare 4.8 kWh i snitt per dag enligt *Tabell 12*.

Totalt förväntas alltså i snitt 10.1 kWh tillkomma per dag, med en väntad drift- och bekvämlighetsförbrukning på ca 1 kWh.

Kostnaden för denna lösning inklusive inköp av båt hamnade då på 355–430 tkr, exklusive eventuella kostnader för installation, med en daglig driftskostnad på 0 kr.



Figur 9 och 10: Energiresurserna i ett 30 kWh bilbatteri över hela semestern. Vänstra figuren visar energiförbrukningen då de första 7 dagarna körs med 4 knop och efterföljande 7 dagarna med 5 knop. Högra figuren visar energiresurserna då antalet dagar med 4 knop varierar mellan 7 och 14 dagar. Det framgår därmed att mer energi sparas ju långsammare vi kör.

Tabell 12: Energitillförsel, deplacement samt kostnader för slutgiltiga lösningen med bilbatteri, solpaneler samt vindkraftverk.

Modell	**Utrustning**	**Tillförd energi per dag (kWh)**	**Deplacement (kg)**	**Produktionsutsläpp ($kgCO_2eq/kWh$)**	**Pris (tkr)**	**Driftkostnad per 14 dagar (kr)**
Sun and Wind Bilbatteri	Vindkraftverk, Solceller och Nissan Leaf batteripaket	10.1	2291	61.3–106.3	355–430	0

6. Diskussion

Med dagens befintliga lösningar för hållbar energiproduktion tycks det vara fullt möjligt att anpassa en gammal Albin 25 för att passa in ett mer hållbart samhälle. Som synes i *Bilaga 1* och *2* upptäcktes flera möjliga lösningar för att klara två veckors semester med mer eller mindre marginal. Speciellt bränslecellslösningarna gav ingen nettoenergiförlust enligt figurer 13, 14, 17–19 samt 22, bilaga 2. Däremot ses i *Bilaga 1* att driftskostnaden för dessa lösningar ökade snabbt på grund av etanolen som används som bränsle.

I slutändan valdes lösningen med sol- och vindkraftverk och rekommenderat körschema 4–5 knop som maxhastighet. Figur 16 i *Bilaga 2* visar att batterierna därmed aldrig hamnar under 50% laddning (15 kWh) vilket ger mycket god marginal för eventuella nödlägen som kräver extra körtid. Läggs dessutom två vindkraftverk till ökas denna marginal ytterligare med 4.8 kWh i snitt per dag. Med den stora tillgängligheten på både solpaneler och vindkraftverk samt frånvaron av daglig driftskostnad föreföll denna lösning vara den som bäst uppfyllde önskemålen om hållbarhet.

Med denna lösning verkar samtliga krav både vad gäller de tekniska aspekterna samt bekvämligheter kunna uppfyllas. Körschemat som krävde minst energi, 4–5 knop per dag i två timmar, täcker upp till 140 sjömil på två veckor. Något som bör påpekas är dock att en elmotor går mycket tystare och med mindre vibrationer jämfört med dieseldrivna motsvarigheter, vilket i sin tur kan förbättra semesterupplevelsen och öka uthålligheten hos resenärerna. Om detta leder till att de orkar med en extra timmes körning om dagen kan vi 210 sjömil uppnås på två veckor, allt enligt vad resenärerna önskar och orkar med.

Med rutterna i *Figur 3* och *4* befinner sig resenärerna aldrig mer än 1–2 dagar från närmsta aktiva sugtömningsstation. Övriga bekvämligheter så som laddning av telefoner och dator täcks utan problem av energitillförsel från både solpaneler och vindkraftverk.

6.1 Batteridiskussion

En av de svårare frågorna att reda ut i konceptanalysen var hur rimligt det ansågs att integrera ett stort bilbatteri i båten eftersom utrymmet var tämligen begränsat i förhållande till batteriets storlek. Detta eftersom batteriet också utgör en betydande massa vilken vid olämplig placering skulle kunna komma att påverka båtens formmotstånd i vattnet vilket via kedjereaktion även skulle påverka energiekvationerna. Det som talade för ett bilbatteri var att de generellt byggs av flera mindre celler som hade kunnat delas upp och spridas ut där utrymme gavs. Elmotorn från Greenstar Marine är betydligt mindre än den ursprungliga dieselmotorn, och dieseltanken uppfyller inte längre något syfte och bör tas bort. Med noggrann placering skulle därmed detta batteri kunna integreras för att uppnå maximal prestanda vilket dock är något som lämnas för framtida förbättringar och inte behandlas ingående i detta arbete.

Litiumbatterierna från Greenstar Marine var mycket enklare att allokera utrymme för och är dessutom batterier som är anpassade för just marint bruk vilket gör de automatiskt lämpligare ur en säkerhetsynpunkt när man behandlar el och vatten tillsammans. Lösningsförslaget med dessa batterier ansågs som det andra mest lämplig valet men deras lättare vikt och smidigare hantering kompenserade inte för den bristande lagringskapaciteten. Det hade heller inte fungerat att integrera fler batterier för att motsvara bilbatteris lagringsförmåga eftersom detta hade gjort båten tyngre och väldigt mycket dyrare.

En stor fördel med bilbatteriet är att om väderförhållandena skulle medföra dålig energitillförsel finns en stor energibank för att säkert kunna ta sig till land. Med en hastighet på 4 knop kan båten i teorin färdas 120 sjömil utan någon tillförsel alls av energi. Detta kan jämföras med Litiumbatteriet som med samma hastighet kan färdas 36 sjömil under samma förhållanden. Om en situation skulle uppstå där det upptäcks att ingen energi tillförts på 2 dagar finns alltså en mycket större säkerhetsmarginal hos bilbatteriet relativt litiumbatteriet.

Avslutningsvis vad gäller batteridiskussionen kan också nämnas att en ytterligare fördel hos bilbatteriet var att det inte bara hade fungerat som en direkt energikälla åt motorn utan också som en energikälla åt hotellasten. Eftersom batteriets utspridning i en mening gör det väldigt flexibelt hade 1–2 kWh kunnat avsättas direkt dedikerade för alla övrig laddning på båten utan att egentligen

påverka den stora energireserven för transporten av båten. Detta kan jämföras med om litiumbatterierna används vilket hade inneburit att ett dedikerat blybatteri hade behövts införskaffas för hotellasten vilket inte hade haft samma lagringskapacitet och därmed påverkat bekvämligheten för resenärerna.

6.2 Energikälldiskussion

Att gå från en fossil energikälla till en förnybar är alltid en utmaning. Många tekniska framsteg har gjorts inom den förnybara energisektorn men den kräver fortfarande en större investering eller extra arbete relativt de fossila källorna. Något som insågs tidigt i analyserna var hur länge bränslet räckte med en dieseldriven motorbåt. Vid rimliga körförhållanden var det möjligt att med en enda tank köra hela den önskade sträckan på 150 sjömil. När det senare i analyserna även framgick hur mycket effekten båten krävde relativt batteriernas kapacitet insågs det att det skulle vara en stor utmaning att ersätta dieseln och behålla samma körförutsättningar som tidigare.

Vid val av solceller betraktades initialt de typiska marina produkterna inom solcellsmarknaden. Dessa hade många fördelar vid montering och inpassning då de ofta var böjbara. Problemet var att maximala effekten låg på ungefär en fjärdedel av effekten jämfört med de kommersiella paneler som tillverkas för hemmabruk. Med andra ord var energin dessa tillförde i bästa fall endast tillräcklig för att täcka hotellasten.

Istället utvidgades alltså perspektivet till paneler som i vanliga fall används för hemmabruk. Dessa är dock både större och tyngre än de marina varianterna vilket gav både för- och nackdelar. En fördel var att de är starka nog att ta vikten från en vuxen människa och därmed kunde på marknivå utan att riskera att skadas, specifikt i fören enligt figur 3. En av nackdelarna var dock att även aktern behövde utnyttjas för att uppnå önskad effekt, och detta skulle kräva en utbyggnad av kapellet med något slags permanent ramverk som kunde bära vikten 18 kg per solpanel, och därmed lägga akterns sittplatser i skugga. Denna inskränkning av utrymmet på båten skulle eventuellt kunna försämra upplevelsen för resenärerna.

När det gäller vindkraftverken är en stor fördel att vindförhållandena i skärgården är relativt jämna både dag och natt så att uppladdning kan ske även när resenärerna sover. Detsamma gäller året

runt, till skillnad från soltimmarna som minskar på vinterhalvåret. Vindkraften kan monteras på relingen och tar väldigt lite plats på båten vilket gör att det enkelt skulle gå att öka antal kraftverk om mer energi önskas. Det finns dock en risk att vid för många kraftverk börjar luftmotstånden kraftverken generar bli märkbart till den grad att det påverkar strömningsekvationerna och gör att båten kräver mer effekt. Detta har inte beräknats för i detta arbete eftersom nämnt i metoden hade detta krävt minst semiempiriska ansatser med fysiska modeller vilket inte var en möjlighet för detta arbete men skulle kunna vara intressanta tester att göra och för vidare utveckling.

En viktig aspekt med vindkraftverken är att de inte genererar någon el om inte vinden uppnått ett tröskelvärde, i detta fall runt 5 m/s. Statistik från SMHI visar att medelvinhastigheten mätt från 1960-talet och framåt legat runt 6 m/s både på öst- och västkusten, vilket bådar gott för detta projekt. I de konceptuella analyserna användes denna medelhastighet för beräkning av tillförd vindenergi, ett värde som med hjälp av de viktade vindkraftsenergianalyserna åtminstone inte föreföll vara för högt räknat. Det finns fortfarande vissa tendenser till missvisningar då det antagits att vindkraftverken kan generera samma energi även på natten. Detta skulle stämma om båten låg i öppen vind även vid denna tid men det är mycket mer troligt att de flesta nätter har resenärerna lagt till vid en plats som är vindskyddad av bekvämlighetsskäl. Samtidigt är det svårt att uppskatta hur mycket vindhastigheten sjunker under dessa förhållanden och det är möjligt att hastigheterna under dagen i kombination med att båten rör sig är så pass höga att medelvärdet fortfarande är ett ganska bra tummått. Med anledningen av dessa faktorer valdes därför i denna analys att inte sänka energigenereringstiden under 24 h.

Bränslecellernas största styrka var att de inte var beroende av vädret och gav pålitliga värden för hur mycket energi som fanns att tillgå. Men efter det fanns det inte mycket mer positiva argument att lyfta fram eftersom bränslecellen ur ett hållbarhetsperspektiv inte går att jämföra med sol- och vindkraft. Bränslet införde en daglig driftskostnad, tog extra plats utöver själva generatorn och krävde att påfyllnad fanns att tillgå ute i skärgården. Dessutom produceras koldioxid vid drift då bränslet består av etanol, även om nivåerna ej kommer upp i samma som vid dieselförbränning.

6.3 Priset

En mycket central fråga vid nya ”miljösmarta” lösningar är ganska naturligt priset. Är den nya lösningen ekonomiskt hållbar till den grad att produkten är värd att integrera i samhället?
Att betala närmare en halv miljon för en fritidsbåt är såklart för den genomsnittliga familjen en investering som kräver lite eftertanke och förståelse om hur båtmarknaden ser ut.

Prislappen för detta teoretiska projekt hamnade mellan 355–430 tkr. Detta kan initialt sättas i perspektiv mot att kostnaden för att bara köpa en begagnad Albin 25 med tillhörande dieselmotor kostar mellan 50–100 tkr. Detta medför visserligen även en bränslekostnad vilken med lite sparsamma körscheman kan approximeras till ca 1000 kr per 140 sjömil. Den modifierade Albin 25 har inga direkta driftkostnader i jämförelse med originalet men det skulle krävas ca 50 000 sjömils körning för att återbetala denna prisökning vilket innebär att om båten används varje dag med en snittdistans på 10 sjömil skulle det nästan 14 år köra ikapp denna kostnad. Något som dels är väldigt osannolikt men dessutom skulle innebära att under tiden detta gjordes skulle säkert batteriet som användes tappa sin lagringsförmåga och ytterligare öka kostnaden och körbehovet för att täcka denna.

Installationen av elmotorn har i detta projekt uppskattats till 75 tkr. Priset skulle alltså kunna minskas om båtägarna själva har möjlighet att installera och koppla motor och batterier. Även fästanordningar för solpaneler kräver lite finess och har potential att öka eller minska priset beroende på förmågan hos ägarna.

Kort sagt så är alltså inte denna modifikation av båten en lösning för att sänka de befintliga kostnaderna för en vanlig Albin 25 utan det som betalas för är lösningen för ett mer hållbart samhälle och mindre påverkan av den direkta naturen, vilket är svårare att sätta ett pris på. Samtidigt behöver den miljövänliga marknaden bli mer konkurrenskraftig och ett naturligt alternativ för människor. Genom att stödja produktionen av förnybara energikällor ökar därför chansen för att dessa produkter skall förbättras och kunna konkurrera inte bara ur ett tekniskt perspektiv men även ett ekonomiskt. Detta kan ses tydligt inom till exempel bilindustrin där elbilar börjar slå igenom allt mer och det finns egentligen inget hinder till varför detta inte skulle kunna hända inom marinan heller. En miljövänlig båt är hälsosam inte bara för naturen den färdas i men

även för resenärerna som färdas med den, då en elmotor går mycket tystare och med mindre vibrationer än en konventionell dieselmotor, som nämnts innan.

Däremot blir det mer intressant att jämföra med priset för vad en ny båt motsvarande dagens Albin 25 skulle kosta, till exempel båtmodellen Aquador 26 ht. Med plats för 4 personer, måtten 8.25 x 3.05 meter och en rekommenderad motor på 260 hk kan den ses som ”dagens Albin 25” och finns att köra för ungefär en miljon kronor. Detta pris är också ett i allmänhet lite mer realistiskt pris för vad en motorbåt av den här klassen tenderar att kosta. Den modifierade Albin 25 kräver förvisso en del extra arbete, men ligger alltså långt under moderna båtar prismässigt. Dessutom skulle detta projekt inte kräva lika stor mängd nyproduktion.

6.4 Infrastrukturella påverkningar

En sista intressant diskussion kring energitillförseln vore om laddningen av bilbatteriet kunde göras via laddningsstation på samma sätt som dagens elbilar. Bilbatteriets komponenter torde vara bättre anpassade för just detta laddningssätt och om kopplingen till elnätet behålls efter installation på båten saknas bara laddningsstolpen. I dagsläget är dock infrastrukturen otillräcklig för detta ändamål just i skärgårdsmiljön, både på öst- och västkusten. Laddningsstationer finns i *närheten* av vissa hamnar, till exempel Stavsnäs vinterhamn i Stockholm och ute på Öckerö i Göteborg, men elnätet hade ändå behövt förlängas ner till marinan för att kunna tillämpa på båtarna. När vi väl kommer ut i skärgårdsmiljön ser det betydligt sämre ut med tillgången på laddningsstationer.

Det vore ändå ett attraktivt alternativ vid dagar med ogynnsamma väderförhållanden. Risken blir däremot att energin vi tillför båten kommer från mindre miljövänliga källor än båtens sol- och vindkraftverk, eftersom vi då kopplar upp oss mot ett gemensamt elnät för hela Stockholms stad.

För att öka möjligheterna att integrera denna båt i samhället krävs en del teknisk kompetens vid modifikation av båten. Greenstar marine tillhandahåller exempelvis vid köp av elmotor både motorn men även servicen att installera denna vilket inte är en trivial uppgift. På samma sätt är det ett ganska krävande jobb att installera bilbatterier och integrera dessa med båtens elektriska system vilket inkluderar kopplingen mellan vindkraftverk och solpaneler. Solpanelernas installation ställer också relativt höga monteringskrav för att säkerhet skall bibehållas. Ramen till solpanelerna

kommer förmodligen kräva att glasfiberskrovet komprometteras, men modifiering och reparation av denna typ av båt är inget nytt och sådan kompetens finns att tillgå vid diverse båtvarv.

Men många av dessa faktorer medför alltså ett visst krav på kompetens inom service av dessa båtar kommer behövas. Detta innebär att om produktionen av dessa båtar ökar kan dedikerade elbåtscentraler krävas för att underhålla båtarna.

6.5 Miljöpåverkan

Analysen av hur mycket utsläpp varje lösning bidrar med utgick endast från uppskattade utsläpp vid produktionen samt totala energiförbrukningen från komponenterna. Som synes i *Bilaga 1* ligger samtliga lösningar i utsläppsspannet 61–64.3 som lägst och 106–109.3 som högst. Största bidraget kommer från produktionen av batterierna, där bilbatteriet förmodligen ligger i övre spannet och batteriet från Greenstar Marine i det lägre, något som ej kunnat utrönas helt från källorna som använts i detta arbete.

Ytterligare utsläpp kan dyka upp vid underhåll av tekniken samt återvinning efter dess livstid. Noggrannheten på siffrorna bör tas med en stor nypa salt då eftersom mycket arbete görs inom just grön teknik och mycket kan ha ändrats sedan källorna tillkommit. Ändå torde *storleksordningen* på siffrorna i tabell 6 vara en bra fingervisning för hur de olika lösningarna förhåller sig till varandra. Som exempel kan utsläppen från solpaneler och bränsleceller göras. Solpanelernas enda utsläpp sker vid produktionen, och med dess livstid på 25–30 år blir dess totala utsläpp per kilowattimme minimalt. Om vi å andra sidan betraktar bränsleceller ser vi redan vid produktionen av metanol att utsläppen är tiofaldigt större än solpanelerna. Siffran som anges för metanol står för *produktionen* för mängden som behövs över 14 dagar, om vi istället drar upp siffrorna till samma nivå som solpanelernas 25–30 år kommer siffrorna skena iväg och det blir extremt tydligt att panelerna är det bättre alternativet. Ytterligare utsläpp sker sedan vid förbränningen i bränslecellen, samt tillverkningen av cellen själv, även om dessa ej berörts i någon av källorna eller denna rapport.

Originalmotorn finns endast i begagnat skick och bidrar därmed ej till några nya utsläpp, däremot kan förbränningen av diesel undersökas och över 14 dagar får då siffran i tabell 6. Precis som vid metanolen beror utsläppen på tidsspannet, men det syns även här att det kommer skena iväg långt över påverkan från slutlösningen med sol- och vindkraft.

6.6 Osäkerheter kring beräkningar

De empiriska data som användes för uppskattning av båtens effektbehov var medelvärdet av ett stort antal mätningar som gjordes och enligt tillverkaren ansågs gälla med 5% noggrannhet. Därmed ansågs dessa data vara tillräckligt rigoröst gjorda för att ge en sanningsenlig bild av båtens effektbehov under normala förutsättningar. Vidare uppgav även båttillverkarna att den initiala propeller som användes hade en verkningsgrad på 58%. Motorns verkningsgrad angavs inte men var heller inte jätterelevant eftersom de empiriska testerna visade den faktiska effekt som behövde tillföras propellern.

Vid införande av elmotor antogs dess verkningsgrad i princip vara ideal samt att tillverkaren angav vad dess dieselmotsvarighet i hästkrafter kunde antagas vara. Däremot gick det ej att finna uppgifter om verkningsgraden för elmotorns propeller. Det antogs därför utifall att denna verkningsgrad skulle vara lägre än den initiala att det fortfarande skulle vara möjligt att behålla den gamla propellern och dess axel för att på så viss fortfarande kunna utgå från den empiriska effektgrafen.

Beräkningen av den krävda effekten för högre deplacement hade önskats kunna utföras med en högre precision men detta var svårt givet att den empiriska data som fanns att tillgå inte gav mer än två förhållanden för varje hastighet och deplacement. Som angivet i metod användes både extrapolation och kvotapproximation där båda dessa värden jämfördes dels för att se om testen gav proportionella svar mot varandra men också för att i största möjliga mån försöka ta fram i effekter som inte var för låga relativt den verkliga.

Hotellastens energiförbrukning var ganska svår att förutspå exakt eftersom den berodde så mycket på resenärernas utrustning samt användningen av denna. I detta arbete strävades efter ett slags medelvärde både vad gällde utrustning och användning. Det är mycket möjligt att värdet som räknades fram kan öka upp till 1 kWh men skulle också kunna sjunka med 0.5 kWh vid mer sparsam användning. Fler faktorer som skulle kunna påverka energibehovet av hotellasten är mängden laddning i hamnar och antal resenärer.

Beräkningen tillförd energi från solpanelerna antogs som beskrivet i metoden gälla med en tredjedel av panelens maximala effekt och tidsintervallet för effekten varje dag sattes till 8h. Denna effekt var baserat på data från flera solpanelstillverkarhemsidor där produktionen för ett år visades och tidsintervallet var baserat på antal soltimmar under sommarmånaderna. Faktum är dock att

precis samma formel användes för beräkning över sommaren gäller för uppskattning av energiproduktion över ett år vilket innebär att det mer troligt att effekten från panelerna på sommaren i snitt är högre än den om räknats med. Det framgår dock inte från tillverkarnas hemsidor hur noggrant deras egen uppskattning har gjorts vilket sänker pålitligheten. Men det är fortfarande troligt att 6 stycken solpaneler med en effekt på 330 W per panel kan tillföra åtminstone 5 kWh energi per dygn.

Vindhastigheter fanns ganska rigorös statistik över varför denna ansågs gälla med god säkerhet. Svårare var dock att uppskatta på en mer precisionsartad nivå hur denna statistik representerade de mer kuperade terränger som diskuterat i **6.2**. Vad gäller noggrannheten i beräkningarna för den dagliga snitteffekten så beräknades kategoriserades hastigheter inom intervall om 1 m/s där snitteffekten mellan dessa hastigheter antogs gälla se *Bilaga 3.2*. Här finns alltså en viss missvisning inom programmets noggrannhet samtidigt som det också var okänt med vilken säkerhet effekterna från vindkrafttillverkarens empiriska data gällde. Jämföres resultaten från *Tabell 7*&*8* kan dock ses att generellt gavs en högre energitillförsel från vindkraften än den som räknades med i konceptuella analysen och det är därför troligt att missvisningen som ges från beräkningarna är fokuserad på att inte ge för höga värden relativt verkligheten.

Bränslecellernas energiförbrukningsdata hämtades från tillverkarnas hemsida och angavs inte med vilken säkerhet denna var gjord. Då denna data inte påverkades alls av externa faktorer antogs detta vara ett så noggrant riktvärde som var möjligt att få fram utan att göra egna fysiska mätningar.

Samtliga data gällande olika komponenters utsläpp av koldioxidekvivalenter per kilowattimme kommer ifrån källor vilka inte innehåller specifika data för komponenterna som användes i detta arbete. Detta beror på att tillverkarna av produkten inte har eller tillhandahåller data om detta och istället utnyttjades därför studier vilka ansågs innehålla information som var relevant för detta arbete. Som diskuterat i *6.5* ger dessa siffor endast en fingervisning om den miljöpåverkan den modifierade båten skulle utgöra. Exempelvis har elmotorn i detta arbete väldigt låg miljöpåverkan eftersom en elmotors bidrag till koldioxidutsläpp påverkas av hur ”grön” elektricitetens som driver den är. Eftersom elproduktionen från solpaneler och vindkraftverk är närmast koldioxidfri blir därför även elmotorns utsläpp lågt. Särskilt svårt var också att ange data för batterierna där det insågs mellan många olika studier att varje enskild batterityp även inom samma metallklass kunde differentiera väldigt mycket från modell till modell. Det ansågs därför mer rimligt att ange denna

data som ett större intervall. Allmänt för livscykelanalyser och liknande studier gäller att det är näst intill omöjligt att ge ett kort svar miljöpåverkan av en produkt eftersom det finns så många faktorer och scenarier som påverkar detta. För att skapa en tydligare bild av båtens miljöpåverkan hade ett helt fristående arbete i sig krävts.

7. Slutsats

Avslutningsvis kan alltså sammanfattas att hållbara lösningar för motorbåtar är möjliga att implementera. Detta arbete fokuserade på dessa modifikationer skulle optimeras för just båten Albin 25 men som kan ses i *Bilaga 1* finns många olika typer av lösningar med olika batterier och kombinationer av energitillförsel vilka hade kunnat implementeras på annorlunda för olika båtar. Tekniken för ett hållbarare samhälle finns alltså men har vi modet att använda den?

Referenser

1. **Sweboat.** *Fakta om båtlivet i Sverige.* 2019.

2. **Den ultimata familjebåten fyller 50.** ***Praktiskt Båtägande.*** **den 19 December 2019, ss. 38-44.**

3. Statistikmyndigheten SCB. [Online] Statistiska Centralbyrån. [Citat: den 9 Maj 2020.] http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107InTransp/table/tableViewLayout1/.

4. Climate Change Performance Index. [Online] Germanwatch. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.climate-change-performance-index.org/.

5. Transportstyrelsen. [Online] den 3 September 2014. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Antifouling-pavaxthindrande-system-for-fartyg-/.

6. Transportstyrelsen. [Online] den 11 April 2013. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.transportstyrelsen.se/sv/Sjofart/Miljo-och-halsa/Avfallshantering/.

7. Silent Yachts, Solar ingenuity. [Online] Silent Yachts. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.silent-yachts.com.

8. Greenstar Marine . [Online] [Citat: den 9 Maj 2020.] https://greenstarmarine.se/.

9. Bellmarine. [Online] [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.bellmarine.nl/en/.

10. Öqvist, Håkan. Elbil Sverige. [Online] [Citat: den 9 Maj 2020.] http://www.elbilsverige.se/2020/01/23/svensk-personbilsmarknad-2019-samt-viktiga-laddbara-bilar-2020/.

11. Bridgestone World Solar Challenge. [Online] [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.worldsolarchallenge.org/ .

12. Solar Impulse Foundation. [Online] [Citat: den 9 Maj 2020.] https://aroundtheworld.solarimpulse.com/.

13. [Online] Vattenfall. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.vattenfall.se/solceller.

14. Eon Solcellskalkyl. [Online] Eon. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.eon.se/solceller/solcellskalkyl?msclkid=65e2d05152be10c5e8e38ee790dbf23d&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=B2C%20%7C%20Brand%20%7C%20GT%3A%20The%20Sun%20%7C%20Solceller&utm_term=eon%20solceller&utm_content=Solceller&gclid=COi34_-Cp-k.

15. Solcellspaket. [Online] IKEA. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.ikea.com/se/sv/customer-service/product-support/solar-panels/.

16. Brohäll, Per. Albin 25 Handbok. Kristinehamn : Albin Marin AB, 1971.

17. Hamnkarta för fritidsbåtar. [Online] Transportstyrelsen. [Citat: den 9 Maj 2020.] https://hamnkartan.azurewebsites.net/.

18. Fors Marin. Albin AD-21. V.Frölunda : Fors Marin.

19. SCB. Varannan svensk har övervikt eller fetma. [Online] 2018. https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2018/varannan-svensk-har-overvikt-eller-fetma/.

20. Garme, Karl. *Fartygs motstånd och effektbehov.* Stockholm : KTH Marina System Center of Naval Architecture, 2012.

21. Sunwind. Manual X-400. u.o. : Sunwind, 2019.

22. SMHI. Års- och Månadsstatistik. [Online] [Citat: den 9 Maj 2020.] https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik.

23. Nissan. pinnaclenissan. [Online] Nissan, den 14 12 2019. [Citat: den 9 5 2020.] https://www.pinnaclenissan.com/blog/2019/december/13/nissan-leaf-battery-life-expectancy-specs-warranty.htm.

24. Elkatalogen i Norden AB. elkatalogen.se. [Online] Elkatalogen i Norden AB. [Citat: den 10 05 2020.] https://www.elkatalogen.se/produkter/sunwind-kylskap-cuisine-50-liter-12v.html.

25. Mobilladdaren. mobilladdaren.se. [Online] Mobilladdaren. [Citat: den 10 05 2020.] https://www.mobilladdaren.se/om-mobilladdning-och-usb.

26. PC För Alla . pcforalla.idg.se. [Online] PC För Alla, den 23 06 2007. [Citat: den 10 05 2020.] https://pcforalla.idg.se/2.1054/1.112102/stang-av-it-prylarna---sa-mycket-sparar-du.

27. Garmin. GPSMAP 700-Serien Användarhandbok. Taiwan : u.n., 2010-2011.

28. Alexandersson, Hans. *Vindstatistik för Sverige 1961-2004.* u.o. : SMHI, 2006.

29. S. Orlova, A. Rassõlkin , A. Kallaste , T. Vaimann , and A. Belahcen. *Lifecycle Analysis of Different Motors from the Standpoint of Environmental Impact.* u.o. : Latvian Journal of physics and technical sciences, 2017.

30. Transport & Environment. *How clean are electric cars? T&E's analysis of electric car lifestyle CO2 emissions.* 2020.

31. Schlömer, Steffen. *Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate.* u.o. : IPCC, 2014.

32. Brian Fleck, Marc Huout. *Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residentialoff-grid use.* u.o. : Elsevier, 2009.

33. *Comparative LCA of methanol-fuelled SOFCs as auxiliary power systems on-board ships.* C. Strazza, A. Del Borghi, P. Costamagna, A. Traverso, M. Santin. 5, u.o. : Applied energy, 2010, Vol. 87. ISSN: 0306-2619.

34. Electrek. Electrek. *electrek.com.* [Online] https://electrek.co/2018/03/26/nissan-leaf-battery-pack-replacement-program/.

35. Ikea. Ikea. *Ikea.se.* [Online] https://www.ikea.com/se/sv/customer-service/product-support/solar-panels/.

36. Efoy. Efoy. *efoy.com.* [Online] https://www.efoy-comfort.com/sv.

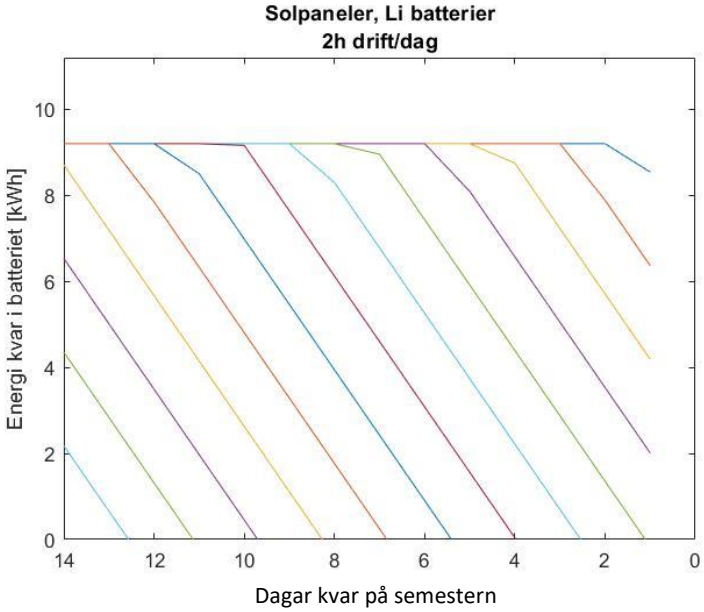
Bilaga 1 – Analys av konceptval

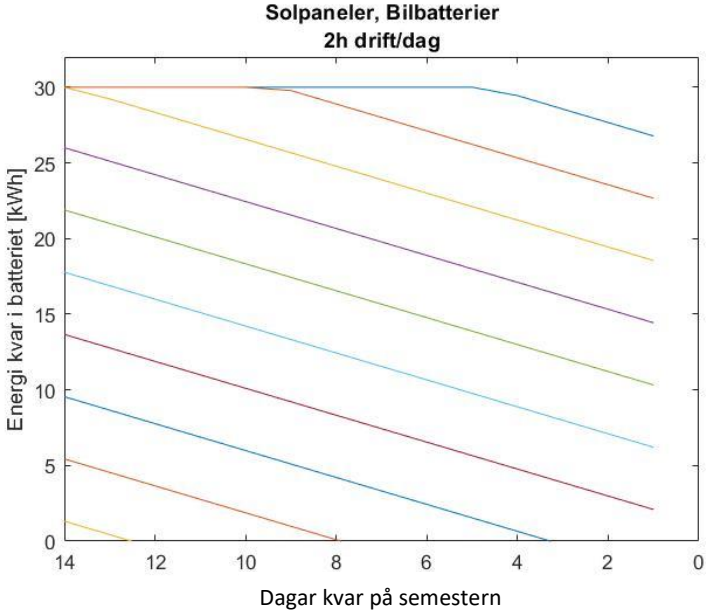
Kandidater

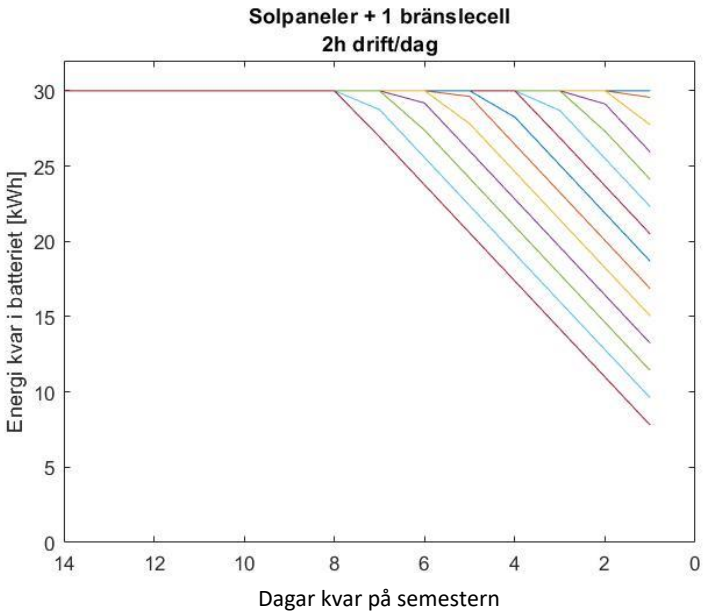
Modell	Utrustning	Tillförd energi per dag (kWh)	Deplacement (kg)	Produktionsutsläpp (kgCO2-eq/kWh)	Pris (tkr)	Driftkostnad per 14 dagar (kr)
Pure Sun Litium	Solceller och Litiumbatterier	5.3	2100	61.3–106.3	350–400	0
Pure Sun Bilbatteri	Solceller och Nissan Leaf batteripaket	5.3	2275	61.3–106.3	325–400	0
Pure Wind Litium	Vindkraftverk och Litiumbatterier	4.8	2008	61–106	320–370	0
Pure Wind Bilbatteri	Vindkraftverk och Nissan Leaf batteripaket	4.8	2183	61–106	295–370	0
Sund and Wind Litium	Vindkraftverk, Solceller och Litiumbatterier	10.1	2111	61.3–106.3	380–430	0
Sun and Wind Bilbatteri	Vindkraftverk, Solceller och Nissan Leaf batteripaket	10.1	2291	61.3–106.3	355–430	0
Sun and Ethanol 1 cell, Bilbatteri	Solceller, 1 bränsleceller, 3 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	7.6	2309	62.3–107.3	405–480	2430
Sun and Ethanol 2 cell, Bilbatteri	Solceller, 2 bränsleceller, 6 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	9.9	2343	63.3–108.3	485–560	4860
Sun and Ethanol	Solceller, 3 bränsleceller, 9 dunkar etanol och	12.2	2377	64.3–109.3	565–640	7290

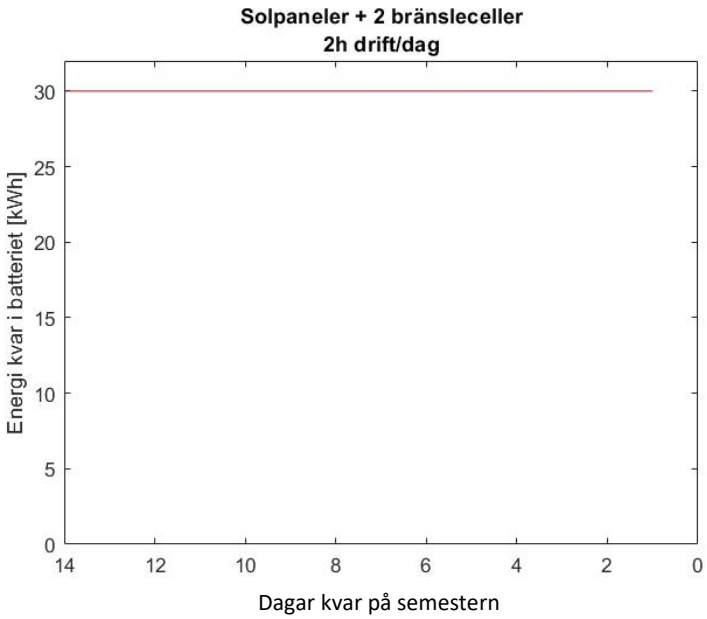
3cell, Bilbatteri	Nissan Leaf batteripaket					
Wind and Ethanol, 1 cell, Bilbatteri	Vindkraft, 1 bränslecell, 3 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	7.1	2217	62–107	375–400	2430
Wind and Ethanol, 2 cell, Bilbatteri	Vindkraft, 2 bränslecell, 6 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	9.4	2251	63–108	455–480	4860
Wind and Ethanol, 3 cell, Bilbatteri	Vindkraft, 3 bränslecell, 9 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	11.7	2285	64–109	535–560	7290
Sun, Wind and Ethanol, 1 cell, Bilbatteri	Solkraft, Vindkraft, 1 bränsleceller, 3 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	12.4	2325	62.3–107.3	435–510	2430
Sun, Wind and Ethanol, 2 cell, Bilbatteri	Solkraft, Vindkraft, 2 bränsleceller, 6 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	14.7	2359	63.3–108.3	515–590	4860
Sun, Wind and Ethanol, 3 cell, Bilbatteri	Solkraft, Vindkraft, 3 bränsleceller, 9 dunkar etanol och Nissan Leaf batteripaket	17	2393	64.3–109.3	595–670	7290

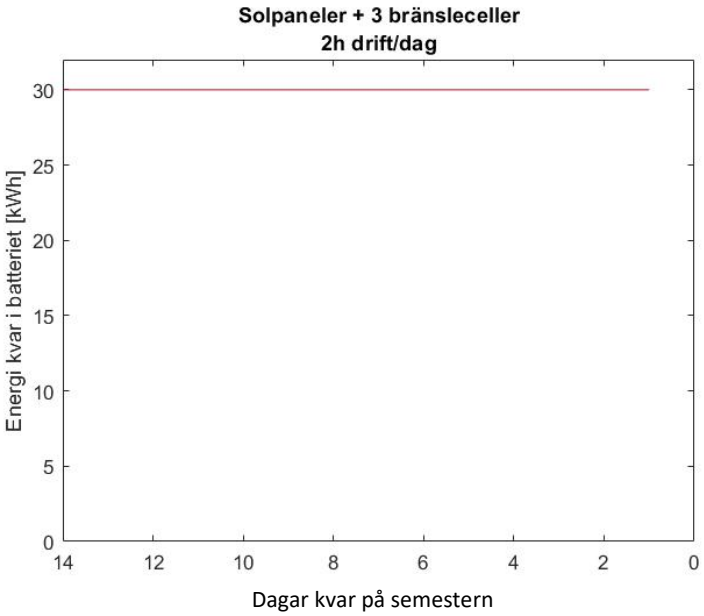
Bilaga 2 - Körscheman



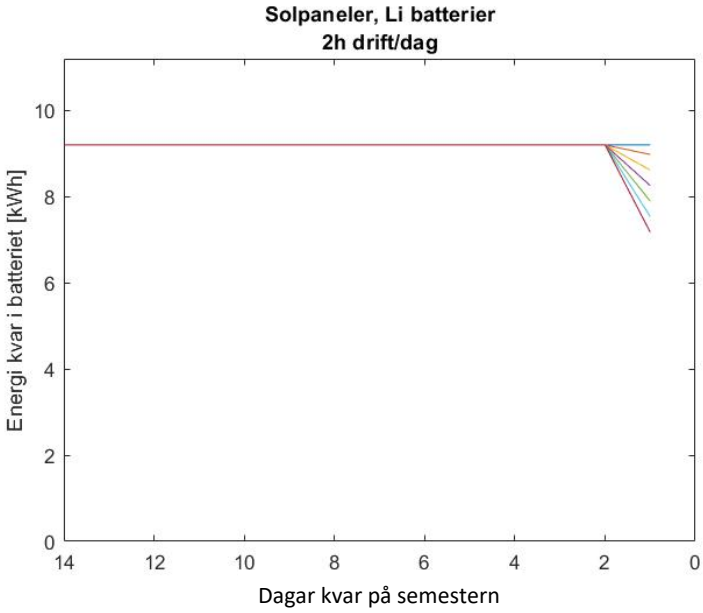


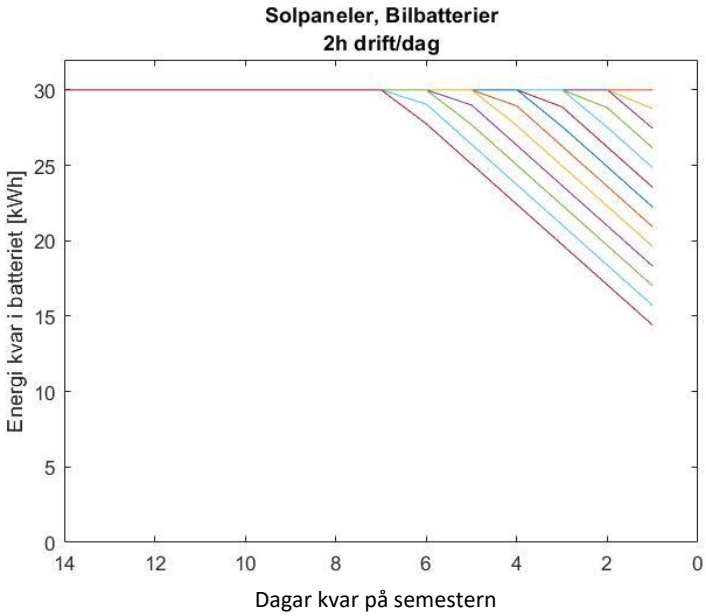


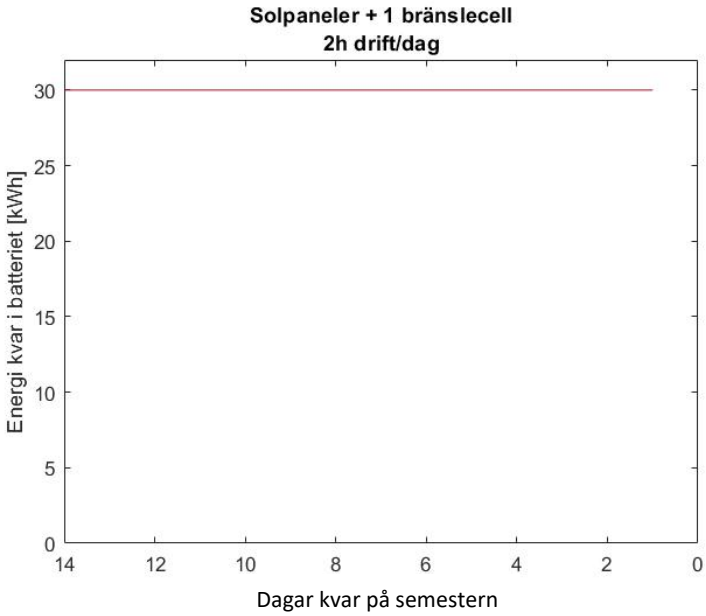


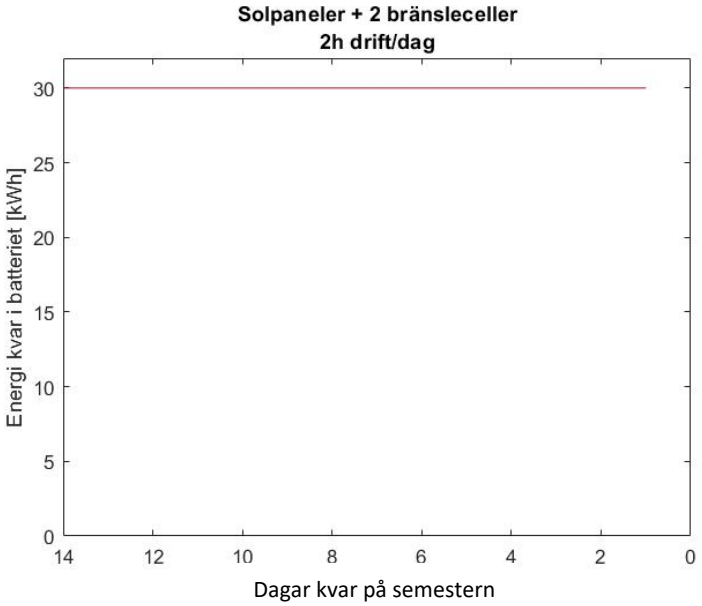


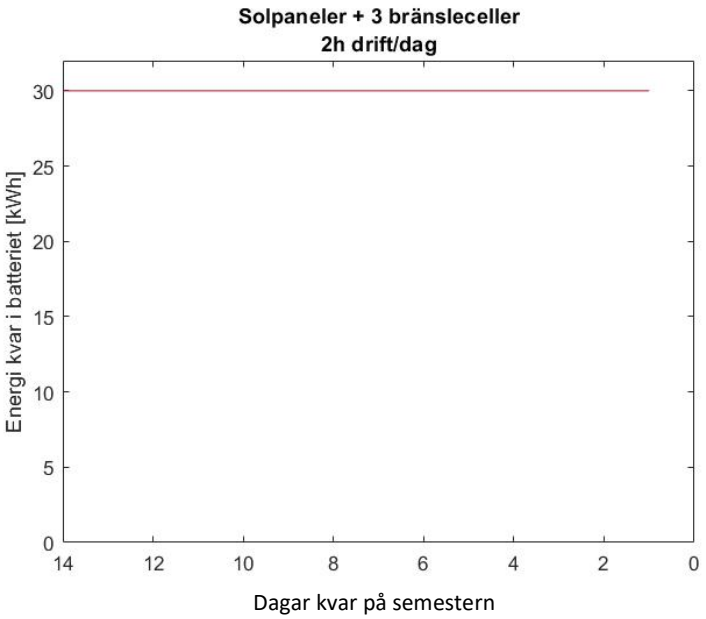
Figur 10-14: Energiförbrukning vid 2 timmar drift/dag vid hastigheterna 5-6 knop. Den översta linjen i varje graf motsvarar 14 dagar med 5 knop, och varje efterföljande linje ersätter en dag med 6 knop.



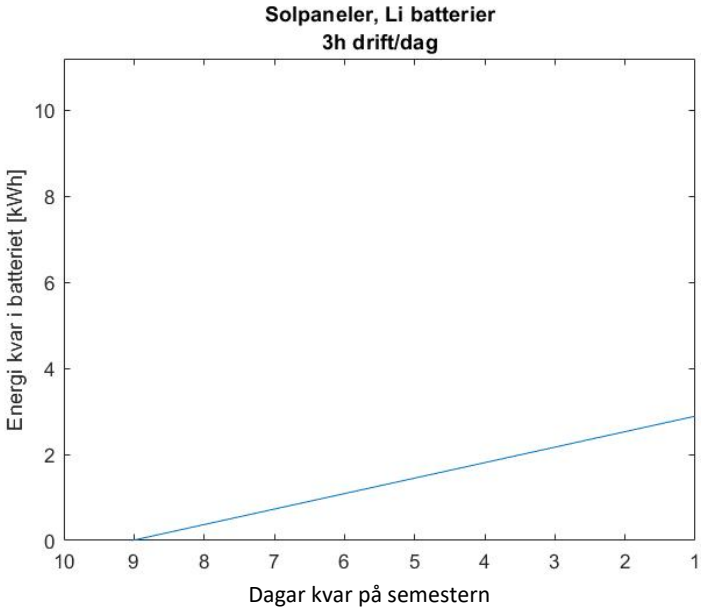


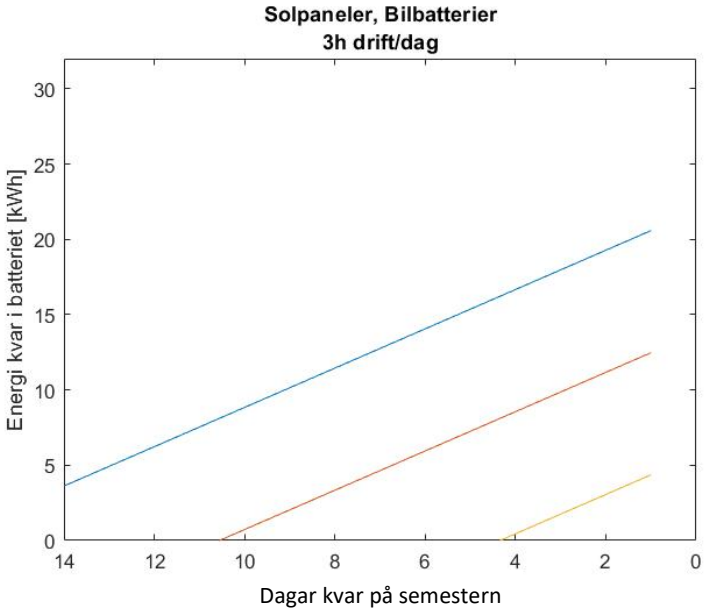


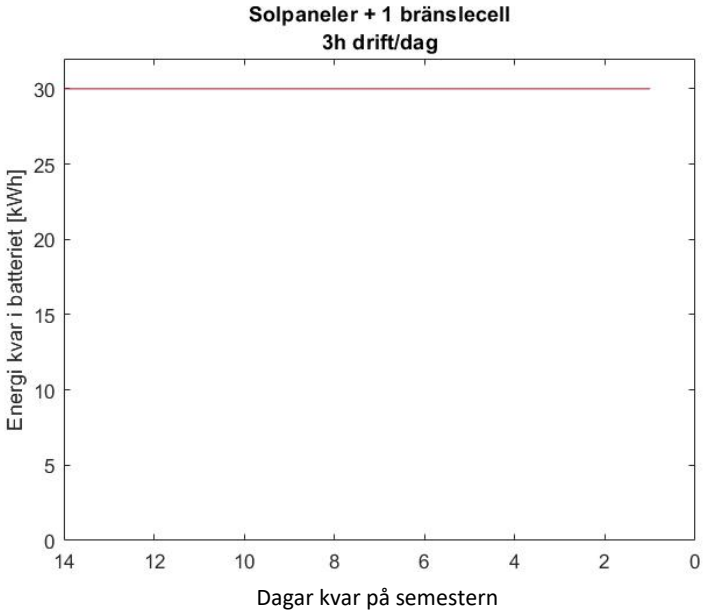


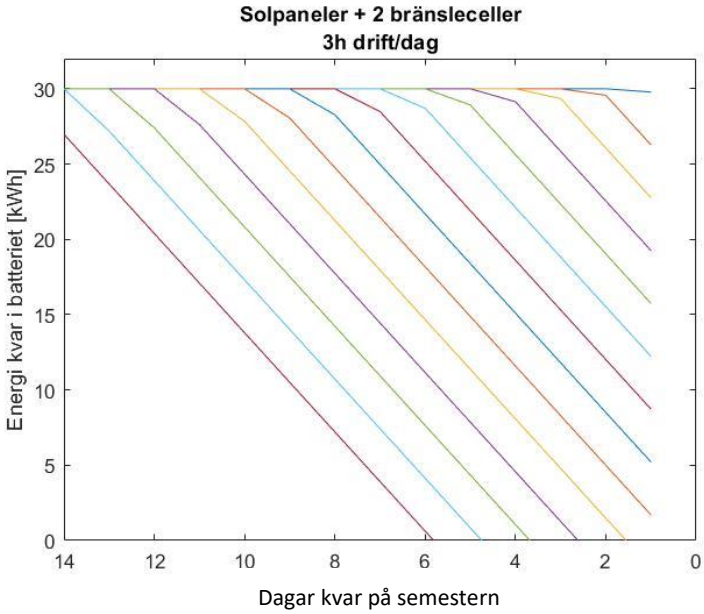


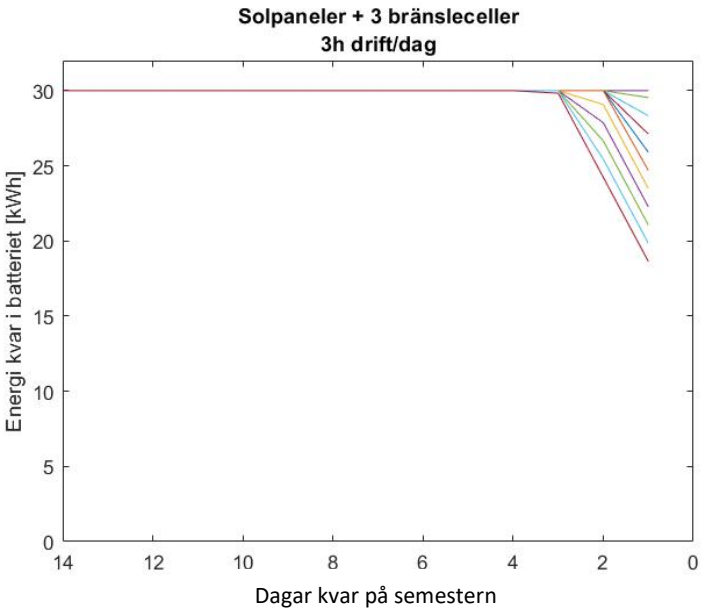
Figur 15-19: Energiförbrukning vid 2 timmar drift/dag vid hastigheterna 4-5 knop. Den översta linjen i varje graf motsvarar 14 dagar med 4 knop, och varje efterföljande linje ersätter en dag med 5 knop.











Figur 20-24: Energiförbrukning vid 3 timmar drift/dag vid hastigheterna 5-6 knop. Den översta linjen i varje graf motsvarar 14 dagar med 5 knop, och varje efterföljande linje ersätter en dag med 6 knop

Bilaga 3 – Uträkningar

3.1 Beräkning av energitillförsel för Solpaneler, Vindkraftverk och Bränsleceller

Solpaneler

$$E_{solpaneler} = \sum n_{paneler} \cdot P_{snitt\ solpanel} \cdot t_{medelsoltimmar\ per\ dag} \quad \text{(B1)}$$

$$\begin{Bmatrix} n_{paneler} = 6\ st \\ P_{snitt\ solpanel} = 110\ W \\ t_{medelsoltimmar\ per\ dag} = 8\ h \end{Bmatrix}$$

$$\sum 6 \cdot 110 \cdot 8 = \sum 5.3\ [\frac{kWh}{dag}] = 74.2[\frac{kWh}{2\ veckor}]$$

Vindkraftverk

$$E_{vindkraft} = \sum n_{vindkraftverk} \cdot P_{snitthastighet} \cdot t_{dygn} \quad \text{(B2)}$$

$$\begin{Bmatrix} n_{vindkraftverk} = 2\ st \\ P_{snitthastighet} = 100\ W \\ t_{dygn} = 24\ h \end{Bmatrix}$$

$$\sum 2 \cdot 100 \cdot 24 = \sum 4.8\ \left[\frac{kWh}{dag}\right] = 67.2[\frac{kWh}{2\ veckor}]$$

Bränsleceller

$$E_{bränsleceller} = \sum n_{celler} \cdot P_{cell} \cdot t_{per\ dygn}(n_{bränsledunkar\ per\ cell}) \quad \text{(B3)}$$

$$\begin{Bmatrix} n_{celler} = 1,2,3\ st \\ P_{cell} = 105\ W \\ t_{per\ dygn}(n_{bränsledunkar\ per\ cell}) = \{n_{bränsledunkar\ per\ cell} = 3\} = 22\ h \end{Bmatrix}$$

$$För\ n_{celler} = 1 => \sum n_{celler} \cdot P_{cell} \cdot t_{per\ dygn}(n_{bränsledunkar}) = \sum 1 \cdot 105 \cdot 22$$

$$= \sum 2.3\ \left[\frac{kWh}{dag}\right] = 32.2[\frac{kWh}{2\ veckor}]$$

$$För\ n_{celler} = 2 => \sum n_{celler} \cdot P_{cell} \cdot t_{per\ dygn}(n_{bränsledunkar}) = \sum 2 \cdot 105 \cdot 22$$

$$= \sum 4.6 \left[\frac{kWh}{dag}\right] = 64.4[\frac{kWh}{2\ veckor}]$$

$$För\ n_{celler} = 3 => \sum n_{celler} \cdot P_{cell} \cdot t_{per\ dygn}(n_{bränsledunkar}) = \sum 3 \cdot 105 \cdot 22$$

$$= \sum 6.9 \left[\frac{kWh}{dag}\right] = 96.6[\frac{kWh}{2\ veckor}]$$

$$E_{ut}(m, P, t) = E_{transport} + E_{ombord} \quad \text{(B4)}$$

$$<=> \sum P_{båt}(m_{båt}, V_{båt}) \cdot t_{körtid\ per\ dag} + \sum P_{utrustning} \cdot t_{användning\ per\ dag} \quad \text{(B5)}$$

3.2Kod för beräkning av snitteffekten för vindkraften

```
clear all,close all,clc
A=readmatrix('Nidingen69-20.xlsx','Range','E12:E268143'); %Importerar exceldata
n=24;%Antal mätintervall per dag bestämms genom observation av statisitken
G=size(A);%Mäter storleken på den importerade kolumnvektorn
C=zeros(1,G(1));%Skapar en tom radvektor som sedan fylls på med effektvärden
D=A'; %Transponerar kolumnvektorn till en radvektor
t=24/n;%Antal timmar per mätintervall vilket
for i=[1:G(1)] %For-loopen går igenom samtlig data



   B=D(1,i); % IF-satserna nedan tilldelar energitermer
   if (0<=B)&&(B<=4.9)
       C(1,i)=0;
elseif (4.91<=B)&&(B<=6)
           C(1,i)=90*t; %Wh
elseif (6.1<=B)&&(B<=7)
      C(1,i)=125*t; %Wh
elseif (7.1<=B)&&(B<=8)
       C(1,i)=150*t; %Wh
elseif (8.1<=B)&&(B<=9)
       C(1,i)=225*t; %Wh
elseif (9.1<=B)&&(B<=10)
       C(1,i)=275*t; %Wh
elseif (10.1<=B)&&(B<=11)
       C(1,i)=350*t; %Wh
elseif (11.1<=B)&&(B<=12)
       C(1,i)=390*t; %Wh
elseif (12.1<=B)&&(B<=13)
       C(1,i)=450*t; %Wh
   end

end
P_snitt=((sum(C))/(i/n))*10^-3 %% Ger svaret i kWh per dag per vindkraftverk
V_snitt=sum(A,'omitnan')/i  %% Medelvärdehastigheten för perioden
```