



**CHALMERS**

# **Digitalt verktyg för driftdata från fartyg för potentiell elektrifiering**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet, mekatronik

VERONIKA SINIK

**INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK  
OCH MARITIMA VETENSKAPER**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

Digitalt verktyg för driftdata från fartyg för potentiell elektrifiering  
VERONIKA SINIK

© VERONIKA SINIK, 2022

Examensarbete 2022:05  
Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon + 46 (0)31-772 1000

## **Sammanfattning**

Projektet har utförts på uppdrag av METS Technology, som tillsammans med sina kunder arbetar mot mer energieffektiva och miljövänliga lösningar för alla typer av fartyg. Det finns olika typer av miljövänliga driftslösningar, där elektrisk framdrivning är det som projektet behandlar.

Projektet gick ut på att ta fram ett digitalt verktyg som kan underlätta omställningen från dieseldrift till elektrisk drift hos fartyg. Verktöget baserades på en analys som gjordes för tre olika typer av passagerarfärjor med olika driftprofiler.

Resultatet av projektet blev ett digitalt verktyg i Excel, där användaren kan ange inparametrar som bränsleförbrukning och verkningsgrad för att vidare illustrera batterinivån över ett dygn.

Verktöget har testats genom att göra samma analys igen av fartygens driftprofiler, men i verktöget i stället för manuellt. Först simulerades batterinivån över dagen för fartygen baserat på antaganden kring batteristorlek och effekt och tid för laddning, innan ändringar gjordes i syfte att illustrera hur batterinivån kan förändras med olika justeringar.

Rapporten avslutas med en diskussion kring det framtagna verktöget, samt förutsättningar som krävs för att kunna elektrifiera fartyg. Faktorer som diskuteras är infrastrukturen och batteritekniken. Vidare påpekas även möjligheterna kring fossilfri framdrift via alternativa bränslen.

## **Abstract**

The project has been carried out on behalf of METS Technology, who together with their customers works towards more energy-efficient and environmentally friendly solutions for all types of vessels. There are different types of environmentally friendly operating solutions, where electric propulsion is what the project addresses.

The aim of the thesis is to develop a digital tool that can facilitate the transition from diesel operation to electric operation on ships. The tool was based on an analysis made for three different types of passenger ferries with different operating profiles.

The result of the project was a digital tool in Excel, where the user can input parameters, such as fuel consumption and efficiency of the engines, in order to get an illustration of the battery level over a day.

The tool has been tested by doing the same analysis again of the vessels' operating profiles, but in the tool instead of manually. First, the battery level was simulated over the day for the vessels based on assumptions about battery size and power and time for charging, before changes were made that could mean a step towards electrification.

The report concludes with a discussion of the tool developed, as well as the prerequisites required to be able to electrify vessels. Factors that are discussed are the infrastructure and the battery technology. Furthermore, the possibilities for fossil-free propulsion via alternative fuels are also pointed out.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	2
1.3	Frågeställningar och avgränsningar .....	2
<b>2</b>	<b>Metod</b> .....	<b>2</b>
2.1	Litteraturgenomgång .....	2
2.2	Analys.....	2
2.3	Verktyg.....	3
2.4	Simulering .....	4
<b>3</b>	<b>Teoretisk bakgrund</b> .....	<b>4</b>
3.1	Framdrivning via förbränningsmotor .....	4
3.2	Elektrisk framdrivning .....	5
3.2.1	Battericell .....	5
3.3	Laddningsmöjligheter.....	5
3.4	Referensfartyg .....	6
3.4.1	M/S Ampere .....	6
3.4.2	E/S Sjövägen .....	6
3.4.3	Yara Birkeland .....	7
<b>4</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>7</b>
4.1	Driftprofiler .....	7
4.1.1	Fartyg 1 .....	7
4.1.2	Fartyg 2 .....	9
4.1.3	Fartyg 3 .....	10
4.2	Verktyg.....	11
4.3	Simulering .....	15
4.3.1	Fartyg 1 .....	15
4.3.2	Fartyg 2 .....	16
4.3.3	Fartyg 3 .....	18
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>20</b>
5.1	Frågeställningar .....	20
5.2	Avgränsningar .....	20
5.3	Verktyget.....	21
5.3.1	Begränsningar.....	21
5.3.2	Resultat.....	22
5.4	Elektrifiering av fartyg .....	23
	<b>Referenser</b> .....	<b>24</b>
	<b>Bilagor</b> .....	<b>26</b>

# 1 Inledning

Utökandet av elektriska fartyg går trögt jämfört med andra transportmedel. År 2021 var 399 fartyg [1] på något sätt elektriska av världens totalt 99 800 fartyg [2], som innebär en ökning på 13 procent jämfört med 2020 då 353 [1] av totalt 98 140 fartyg [3] var elektriska. Samtidigt är intresset för elbilar högt både bland kunder och företag och utvecklingen tagit ett stort steg framåt. Den totala försäljningen av elbilar 2020 var cirka 3 miljoner i hela världen [4]. 2021 hade samma siffra stigit till 6.6 miljoner elbilar, vilket är en ökning på mer än 100 procent.

En anledning till att utvecklingen av fartyg går trögare är att fordon tillverkas av stora, globala leverantörer i långa serier, medan varje nytt fartyg som byggs oftast är baserad på en beställning [5]. Det är alltså stora krav på rederierna, som lägger beställningarna, att själva driva produkt- och teknikutvecklingen för sjöfartsindustrin. Samtidigt kan de mötas av en motvillig varvsindustri, som hellre bygger fartygen i standardstorlekar baserad på traditionell teknik och produktionsvänlighet.

Under detta examensarbete ska förutsättningarna för ett digitalt verktyg som visar potentialen för eldrift med batteri i stället för fossila bränslen hos fartyg undersökas. Målet är att verktyget ska kunna dimensionera en elektrisk drivlina utifrån driftprofilen. Arbetet sker på uppdrag av METS Technology.

## 1.1 Bakgrund

Det mest effektiva sättet att frakta stora mängder varor internationellt är genom sjöfarten, som därför står för ungefär 90 procent av världshandelns transport [6]. Sjöfarten släpper genom användning av fossila bränslen ut växthusgaser i form av koldioxid. Internationella sjöfartsorganisationen, IMO, har satt som mål att minska den internationella sjöfartens utsläpp av växthusgaser med minst 50% senast år 2050 jämfört med 2008 [7]. Förutom att satsningen görs på internationell nivå har Sveriges riksdag satt som mål att Sverige ska vara helt fossilfritt senast 2045, vilket även omfattar den svenska sjöfarten i form av både transport- och passagerarfartyg. Fartyg som lämpar sig för elektrifiering med dagens teknik är främst passagerarfartyg, på grund av hur driftprofilen ser ut och hur de drivs [8]. Det kan även gälla vissa fraktfartyg som opererar kortare sträckor.

De fartyg som byggs idag kommer antagligen fortfarande vara i drift år 2045 [9]. Det betyder att de beslut som tas idag kommer ha stor betydelse för att nå de satta klimatmålen. Beroende på ett fartygs syfte och rutt tar det tid att hitta olika fossilfria lösningar för olika fartyg [5]. Ett steg mot att underlätta beslutsfattningen kring att elektrifiera fartyg skulle kunna vara ett verktyg som, baserat på fartygets driftprofil, dimensionerar fram ett förslag på en elektrisk drivlina.

METS Technology arbetar tillsammans med sina kunder för mer energieffektiva och miljömässigt hållbara lösningar för fartyg och installationer till havs. Idag arbetar de bland annat med elektrifiering och energilager för passagerarfärjor. De har sett ett behov att på ett enkelt sätt kunna göra en jämförelse mellan fartygens nuvarande fossilbränsleförbrukning och potentiell eldrift med batteri, för att underlätta så att fler kan ställa om till fossilfritt snabbare.

## 1.2 Syfte

Uppdraget går ut på att använda indata och kriterier från METS för att ta fram ett digitalt verktyg som ska kunna visa potentialen för elektrifiering av fartyg och underlätta omställningen. Uppdraget ska leda till att det finns ett digitalt verktyg där det går att justera kraftkälla och storlekar på energilager, tidtabeller och eventuellt andra önskade parametrar.

## 1.3 Frågeställningar och avgränsningar

För att uppnå syftet ska följande frågeställningar besvaras:

- Hur kan ett generiskt verktyg för olika driftprofiler se ut?
- Vilken in- och utdata är viktig för att verktyget ska vara användbart?

För att arbetet ska vara genomförbart behöver vissa avgränsningar göras. Följande avgränsningar gjordes innan arbetets start:

- Verktyget ska inte behandla någon typ av emission av växthusgaser
- Verktyget ska inte behandla någon typ av kostnad

## 2 Metod

I kommande avsnitt beskrivs metoden under arbetet.

### 2.1 Litteraturgenomgång

Arbetet inleddes med en litteraturgenomgång av tidigare arbeten kring elektrifierade fartyg samt data och fakta kring drivlinelösningar och komponenter. Här identifierades tre olika fartyg som är elektriska idag för att visa möjligheterna för elektrifiering med dagens teknik.

### 2.2 Analys

Efter litteraturgenomgången analyserades driftdatan för tre olika passagerarfartyg med olika driftprofiler och som inte är elektriska idag, med syfte att lägga en grund för verktyget. Fartygen som analyseras hålls anonyma, och kommer refereras till som Fartyg 1, Fartyg 2 och Fartyg 3. Datan gavs ut av METS Technology genom verktyget Blueflow Online. Det är ett verktyg skapat av Blueflow Energy Management, där det är möjligt att se ett fartygs position, hastighet, bränsleförbrukning, med mera. I Blueflow Online går det att ta fram rapporter baserat på användarens valda parametrar, som sedan kan föras över till Excel.

Fartyg 1 är en färja som huvudsakligen kör i älvtrafik, som har plats för ungefär 450 passagerare och kan köra i 12,5 knop. Fartyg 2 är en snabbfärja som huvudsakligen kör i skärgårdstrafik, som har plats för ungefär 160 passagerare och kan köra i 28,5 knop med full last. Fartyg 3 är en färja som huvudsakligen kör i långsamtgående skärgårdstrafik, som har plats för ungefär 380 passagerare och kan köra i 13 knop.

Datan från Blueflow Online användes först för att ta fram den huvudsakliga driftprofilen för de tre fartygen, för att sedan kunna presentera förslag på drivlinor. Baserat på effektförbrukningen vid ett antal operationstillfällen under en rutt byggdes grunden för olika drivlinemöjligheter.

Det tittades på effektförbrukningen vid olika sorters körningar samt under tiden fartygen stod stilla för av- och påstigning av passagerare. För att undersöka möjligheten med snabbbladdning under dagen var det även viktigt hur länge av- och påstigningen pågick, och om det fanns möjlighet att ladda under till exempel en lunchrast. Det antogs att alla fartyg kunde laddas över natten och börja dagen med fullt batteri.

I listan nedan beskrivs de olika operationstillfällena förslagen kommer baseras på, beroende på hur rutten ser ut. Det som gör tillfällena intressanta är energibehovet vid olika viktiga tidpunkter under en rutt.

- Marschfart: Då färjan håller konstant hastighet under en längre period.
- Acceleration: Hela tiden då färjan backar ut från kajen och accelererar upp till marschfart.
- Liggtid: Då färjan ligger still för på- och avstigning för passagerare.
- Medström: Då färjan kör en rutt i strömmens riktning.
- Motström: Då färjan kör en rutt mot strömmens riktning.
- Maxfart: Då färjan kör med en högre hastighet under en längre period.
- Minimifart: Då färjan kör med en mindre hastighet under en längre period.

## 2.3 Verktyg

Slutligen undersöktes möjligheten för ett verktyg som kan dimensionera fram olika driftlösningar för omställning till eldrift för fartyg, beroende på användarens indata. Grunden till verktyget baserades på de tre analyserade fartygens data, som sedan vidareutvecklades och generaliserades för att passa valfri driftprofil. Kravprofilen för verktyget togs fram i samråd med METS.

METS såg ett behov av att kunna visa sina kunder hur batterinivån kunde se ut under dagen beroende på hur fartyget betar sig, samt hur batterinivån kan förändras om det finns möjlighet att ändra laddningstiden. METS såg även ett behov av att enkelt kunna demonstrera hur effekt från en eventuell hjälpkälla skulle möjliggöra att i stället ställa om till hybriddrift.

Efter att datan för de tre olika fartygen analyserats drogs en slutsats kring vad en användare kan tänkas vilja ha som inparametrar i verktyget för att uppnå önskemålen från METS. Verktyget ska underlätta för användaren, och ska därför kunna göra alla genomförbara beräkningar så att användaren inte behöver göra dessa manuellt.

Verktyget byggdes upp i Excel i flera steg som behandlade olika delar. Först ett blad där användaren kan skriva in sin data, som kopplades vidare till en ett annat blad där användaren kan bygga upp sin dag. Verktyget sammanställer aktiviteterna under dagen och visar ett diagram som illustrerar batterinivån. Formler användes för att lätt kunna utöka verktyget med plats för fler aktiviteter under en dag.

## 2.4 Simulering

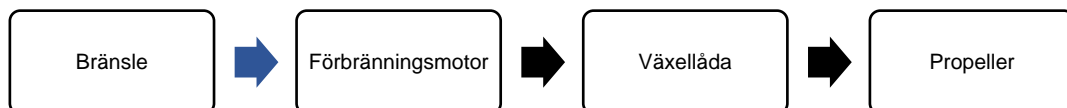
Till sist testades verktyget med hjälp av de tre analyserade fartygen. In i verktyget matades data för bränsleförbrukning samt ungefärlig tidtabell för varje fartyg, för att sedan rita upp en kurva över batterinivån under dagen. Det drogs en slutsats kring om det är möjligt för hel- eller delvis elektrifiering av de olika fartygen. Simuleringen gjordes dels för att testa verktyget, dels för att undersöka möjligheten kring elektrifiering för olika typer av passagerarfartyg.

## 3 Teoretisk bakgrund

Det är möjligt med sjöfart som inte är fossilberoende [5]. Det som försvårar omställningen är bland annat kostnad, logistiska lösningar och kunskapsbrist. Samtidigt kan utsläpp av koldioxid reduceras med mer än 50 procent i nya generationer av fartyg, till exempel genom byte av drivmedel. Framdrivningen av fartyg kan idag ske med hjälp av någon typ av förbränningsmotor, eller med elektriska medel.

### 3.1 Framdrivning via förbränningsmotor

Förbränningsmotorn omvandlar värmeenergi till mekanisk energi genom förbränning av bränsle [10]. Det vanligaste drivmedlet för fartyg är marin dieselloolja [5]. Dieselloljan har hög energitäthet, är lättillgänglig och relativt billig. Tekniken för att driva ett fartyg med dieselloolja är väl beprövad och har funnits länge. Verkningsgraden på en dieselmotor är 35–45 procent [9]. Det är dock nödvändigt att hitta andra alternativ redan idag för att nå klimatmålen, då marin dieselloolja bildar koldioxid tillsammans med andra växthusgaser vid förbränning [11]. Se Figur 1 för en överblick hur en drivlina som består av en förbränningsmotor ser ut.



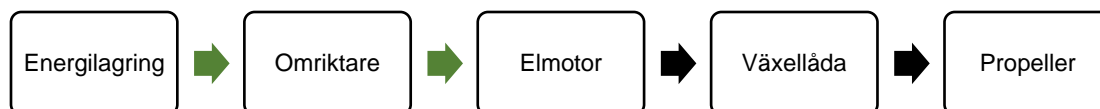
Figur 1. Drivlina som består av en förbränningsmotor [12]. Blå pil avser flöde av bränsle, svarta pilar avser mekaniska kopplingar.

Det finns även alternativa bränslen som kan driva förbränningsmotorn [5]. Exempel på sådana bränslen är LNG (flytande naturgas), HVO (hydrerad vegetabilisk olja) och metanol. LNG består till största delen av metan, och släpper vid förbränning ut märkbart mindre koldioxid jämfört med vid förbränning av diesel. Dock förbränns inte en viss mängd metan, som i stället släpps ut igen efter förbränningsprocessen som metanslip [13]. HVO är en typ av biodiesel, som helt kan ersätta fossil dieselloolja [5]. Tillgången till HVO är dock begränsad, och priset är ofta högre än för dieselloolja. Metanol kan framställas genom naturgas, ur biomassa eller genom att fånga in koldioxid ur luften, vilket skulle ge ett helt fossilfritt drivmedel.



## 3.2 Elektrisk framdrivning

Elektrifiering är en möjlighet att minska utsläppen inom transportsektorn [14]. De lokala emissionerna vid eldrift minskar helt och beroende på hur elen produceras kan koldioxidutsläppen vara få, eller inga. Verkningsgraden på en batterielektrisk motor är 80–90 procent [9]. Se Figur 2 för en överblick av hur en elektrisk drivlina ser ut.



Figur 2. Elektrisk drivlina [12]. Gröna pilar avser elektrisk anslutning, svarta pilar avser mekanisk anslutning.

Elektrisk framdrivning kan delas in i tre övergripande kategorier: helelektriska, laddhybrider och elhybrider [8]. Helelektriska fartyg drivs vanligtvis av batterier som laddas när fartyget ligger i kaj, antingen vid av- och påstigning eller när fartyget står stilla en längre stund. Elhybrider kör på el som genereras under körning genom den andra drivlinan, till exempel en förbränningsmotor. Laddhybrider kan ladda antingen genom en extern källa, eller med hjälp av den andra drivlinan. Idag är dieselektriska lösningar vanliga inom sjöfarten, som alltså är en slags elhybrid [14].

### 3.2.1 Battericell

Den vanligaste battericellen som används för energilagring i fartyg är litiumjonbatterier [14]. Litiumjonbatterier har högre energi- och effekttäthet än övriga batteritekniker. Ett batteripaket byggs upp genom flera steg. Först paketeras flera battericeller samman till batterimoduler, som i sin tur kopplas ihop till en batteristräng. Batteristrängarna utgör sedan tillsammans batteripaketet. Batterisystemen designas och utvecklas för varje enskilt fall.

För att fartyg ska kunna drivas helelektriskt till en rimlig kostnad krävs en begränsad batteristorlek [15]. En teknikutmaning som identifierats är om tillräckligt energiinnehåll kan uppnås med utrymmet som finns för batteriet.

## 3.3 Laddningsmöjligheter

För att fartyg ska kunna drivas elektriskt behöver det tillgängliggöras infrastruktur inom hamnområdet som kan tillgodose det ökade effektbehovet [14]. Fartygen behöver i sin tur vara försedda med nödvändig utrustning för att kunna ta del av elektriciteten.

Flera av de stora svenska hamnarna erbjuder landanslutning, OPS (on-shore power supply), som innebär att fartygen kan ansluta sig till elnätet när det ligger vid kaj i stället för att använda sina hjälpmotorer [14]. Elen som produceras används i dessa fall för att upprätthålla grundläggande funktioner som behövs ombord, vilket kan minimera eller eliminera användningen av förbränningsbränsle då fartygen ligger i kaj. Det saknas fortfarande en laddningsinfrastruktur som kan täcka hela eller delar av framdriften, utöver energibehovet vid anläggning. Ett passagerarfartyg som ansluter sig till landströmmen och har möjlighet för snabbladdning har ett effektbehov på 150 – 600 kW eller mer, beroende på förhållandet mellan drift- och laddningstid [16]. OPS skulle kunna utvecklas för att även klara av att ladda hybrid- och elektriska fartyg.

För att helelektrisk drift ska vara möjligt för passagerarfartyg krävs en begränsad batteristorlek till en rimlig kostnad [15]. Det betyder att färjorna kommer behöva snabbbladdas under driftstiden för att kunna operera i kommunaltrafik. Detta medför att snabbbladdning är en av de viktigaste faktorerna att få till.

Det krävs en enorm effekt att snabbbladda en färja och det kan bli en utmaning att inte överbelasta elnätet när flera stora färjor ska snabbbladdas [17]. Detta skulle kunna lösas med lokala energilagrar i hamnarna, som laddas kontinuerligt i normal takt. Energilagret snabbbladdar i sin tur färjornas batteri, och minskar på så sätt belastningen på elnätet. Kapaciteten på energilagren kan variera mellan 50 *kWh* och 1 *MWh*.

För att optimera tiden för laddning finns det fartyg som automatiskt kopplar sig till elnätet vid kaj med hjälp av en robotarm [14]. Utöver att vara mer effektivt är det dessutom en säkrare lösning än att ansluta manuellt, då effekten i strömkabeln kan vara upp till 12 *MW*.

### 3.4 Referensfartyg

I kommande avsnitt beskrivs tre olika fartyg som drivs helt elektriskt idag, för att visa möjligheten för helelektrifiering.

#### 3.4.1 M/S Ampere

M/S Ampere är en båt- och passagerarfärja som opererar i Norge mellan Lavik och Oppedal [18]. Sträckan tar ungefär 20 minuter att åka, och färjan stannar 10 minuter vid varje ändhållplats. För en överfart krävs 150 – 200 *kWh*. Färjan startar varje dag med fullt batteri efter att ha laddat under natten, och använder de 10 minuterna vid ändhållplatserna för att extraladda. Den har kapacitet för 360 passagerare samt 120 bilar.

Nedan listas fartygsdata för M/S Ampere:

- Längd: 80.8 *m*
- Bredd: 20.8 *m*
- Marschfart: 10 *knop*
- Huvudmotor, el: 2 x 450 *kW*
- Batterikapacitet: 1.46 *MWh*

#### 3.4.2 E/S Sjövägen

E/S Sjövägen är en passagerarfärja med en kapacitet för 150 passagerare [19]. Den opererar främst mellan Nybroplan och Frihamnen i Stockholm, en sträcka som tar strax under en timme. Även denna färja startar dagen med fulladdat batteri efter att ha laddats under natten med el från vind- och vattenkraft. Dagtid snabbbladdas batterierna under trafikuppehållen.

Nedan listas fartygsdata för E/S Sjövägen:

- Längd: 24.35 *m*
- Bredd: 7 *m*
- Marschfart: 8 *knop*
- Huvudmotor, el: 2 x 125 *kW*
- Batterikapacitet: 500 *kWh*

### 3.4.3 Yara Birkeland

Yara Birkeland beskrivs som världens första elektriska containerfartyg och ska operera på sträckan mellan Porsgrunn och Brevik i Norge, med kapacitet för last som väger upp till 3200 ton [20]. Fartyget gjorde sin första resa i november 2021 och planeras tas i drift under 2022. Förutom att det är elektriskt ska Yara Birkeland även bli helt autonomt.

Nedan listas fartygsdata för Yara Birkeland:

- Längd: 80 m
- Bredd: 15 m
- Marschfart: 6 – 7 knop
- Huvudmotor, el: 2 x 900 kW och 2 x 700 kW
- Batterikapacitet: 6.8 MWh

## 4 Resultat

I följande kapitel kommer projektets resultat presenteras. Resultatet innefattar analysen av de tre fartygen samt beskrivning av det framtagna verktyget. Slutligen testas verktyget genom att skriva in datan för de tre analyserade fartygen i verktyget.

### 4.1 Driftprofiler

I detta avsnitt tas driftprofilerna fram för de olika aktuella fartygen, där en utvald rutt analyseras mer ingående. Analysen baseras på data utgiven av METS. För alla beräkningar i avsnittet antas energimängden för 1 L diesel vara 9,8 kWh och att verkningsgraden på en dieselmotor är 35%.

All data i beräkningarna är noterade från verktyget Blueflow Online. Först redovisas de olika fartygens årliga genomsnitt, innan en specifik rutt analyseras mer noggrant. En rutt definieras som sträckan mellan start- och sluthållplats. Rutten valdes från en dag då totala bränsleförbrukningen för dagen var högre än genomsnittet för att dimensioneringen av batteriet ska klara även dessa dagar.

#### 4.1.1 Fartyg 1

I Tabell 1 redovisas genomsnittlig bränsle- och effektförbrukning för Fartyg 1 under ett år.

Tabell 1. Genomsnittlig årsförbrukning för Fartyg 1, baserat på 1 januari-31 december 2021.

Antal timmar per år [h/år]	Bränsleförbrukning [L/år]	Genomsnittlig bränsleförbrukning [L/h]	Genomsnittlig bränsleförbrukning för en rutt [kWh]
3 500	99 976	28,56	49

Tabell 1 ger att den genomsnittliga effektförbrukningen blir  $9,8\text{kWh/L} * 28,56\text{L/h} = 280\text{ kW}$ . Med en verkningsgrad på 35% blir detta  $0,35 * 278\text{kW} = 98\text{ kW}$ . En rutt, som för Fartyg 1 består av två ändhållplatser och fyra mellanliggande hållplatser, tar ungefär 30 minuter och därmed energimängden 49 kWh.

I Tabell 2 redovisas bränsle-, effekt- och energiförbrukning för Fartyg 1 vid olika tillfällen under en rutt.

Tabell 2. Max- och medelvärden för Fartyg 1 vid olika tillfällen under en rutt.

	Bränsleförbrukning [L/h]	Effektförbrukning [kW]	Energiförbrukning [kWh]
<b>Acceleration (maxvärde)</b>	101	346	45
<b>Ligg tid (maxvärde)</b>	26*	89	16
<b>Medströms (medelvärde)</b>	42	144	58
<b>Motströms (medelvärde)</b>	52	178	71

\*Notera att det är ett maxvärde. Låg vanligtvis mellan 6–12 L/h.

Nedan presenteras hur beräkningarna för Tabell 2 gjordes. Som tidigare nämnt tar en rutt ungefär 30 minuter och består av två ändhållplatser och fyra mellanliggande hållplatser.

### Acceleration

Accelererar i snitt 1 minut och 35 sekunder efter varje hållplats, alltså 5 gånger under en rutt.

$$346kW * 0,026h * 5ggr = 45 kWh$$

### Ligg tid

Fartyg 1 stannar vid mellanliggande hållplatser i 1,5 minuter och ändhållplatser i 5 minuter.

$$89kW * (0,025h * 4ggr + 0,084 * 1ggr) = 16 kWh$$

### Medströms

Kör medströms i  $(30 - 1,5 * 4 = 24)$  minuter.

$$144kW * 0,4h = 58 kWh$$

### Motströms

Kör även motströms i 24 minuter.

$$178kW * 0,4h = 71 kWh$$

En rutt blir alltså totalt 119 – 132 kWh beroende på om färjan kör med- eller motströms. Det är lite högre energibehov än det som beräknades från Tabell 1.

Fartyg 1 börjar köra klockan 06.00 och kör fram tills klockan 23.30, alltså 17,5 timmar. Klockan 20.00 tar den en 1 timmes lång paus. Totalt körs 16,5 timmar bortsett från stillastående tid, där färjan hinner köra ungefär 28 rutter.

## 4.1.2 Fartyg 2

I Tabell 3 redovisas genomsnittlig bränsle- och effektförbrukning för Fartyg 2 under ett år.

Tabell 3. Genomsnittlig årsförbrukning för Fartyg 2, baserat på 1 januari-31 december 2021.

Antal timmar per år [h/år]	Bränsleförbrukning [L/år]	Genomsnittlig bränsleförbrukning [L/h]	Genomsnittlig bränsleförbrukning för en rutt [kWh]
3 221	502 920	156,14	357

Tabell 3 ger att den genomsnittliga effektförbrukningen blir  $9,8kWh/L * 156,14L/h = 1530 kW$ . Med en verkningsgrad på 35% blir detta  $0,35 * 1530kW = 535,5 kW$ . Fartyg 2 kör en mer oregelbunden rutt, men består som mest av två ändhållplatser och fem mellanliggande hållplatser, och tar ungefär 40 minuter vilket motsvarar energimängden  $357 kWh$ .

I Tabell 4 redovisas bränsle-, effekt- och energiförbrukning för Fartyg 2 vid olika tillfällen under en rutt.

Tabell 4. Max- och medelvärden för Fartyg 2 vid olika tillfällen under en rutt.

	Bränsleförbrukning [L/h]	Effektförbrukning [kW]	Energiförbrukning [kWh]
<b>Acceleration (maxvärde)</b>	384*	1317	269
<b>Liggtid (maxvärde)</b>	28	96	20
<b>Maxfart (medelvärde)</b>	330	1132	472
<b>Minimifart (medelvärde)</b>	80	275	23

\*Delar av sträckan är bränsleförbrukningen vid acceleration endast 70–80 L/h.

Nedan presenteras hur beräkningarna för Tabell 4 gjordes. Som tidigare nämnt består den aktuella ruten av två ändhållplatser och fem mellanliggande hållplatser, och tar 40 minuter.

### Acceleration

Accelererar i snitt 2 minuter efter varje stopp, alltså 6 gånger under en rutt.

$$1317kW * 0,034h * 6ggr = 269 kWh$$

### Liggtid

Fartyg 2 stannar vid mellanliggande hållplatser i 1,5 minuter och ändhållplatser 5 minuter.

$$28kW * (0,025h * 5ggr + 0,084 * 1ggr) = 20kWh$$

### Maxfart

Färjan kör i  $(40 - 1,5 * 5 = 30)$  minuter. För att förenkla beräkningen har avrundning gjorts nedåt. Av detta gäller att längre sträckor körs i maxfart i 25 minuter.

$$1132kW * 0,417h = 472 kWh$$

## Minimifart

Kortare sträcka körs med mindre hastighet i 5 minuter.

$$275kW * 0,084h = 23 kWh$$

Energibehovet för en rutt blir 784 kWh, som är ungefär dubbelt så mycket än det som beräknades från Tabell 3.

Fartyg 2 börjar köra för dagen klockan 05.00 och kör fram tills klockan 01.30 nästa dag, vilket innebär 20,5 timmar under ett dygn. Under dagen tar Fartyg 2 flera längre raster; 1 timme klockan 08.30, 2 timmar klockan 12.30, 1 timme klockan 15.30, 1 timme klockan 19.45 och slutligen 30 minuter klockan 22.00. Totalt kör Fartyg 2 totalt 15 timmar under ett dygn, bortsett från stillastående tid. Då ruten är mer varierad än för Fartyg 1 approximeras det totala antalet rutter till 18–20 rutter.

### 4.1.3 Fartyg 3

I Tabell 5 redovisas genomsnittlig bränsle- och effektförbrukning för Fartyg 3 under ett år.

Tabell 5. Genomsnittlig årsförbrukning för Fartyg 3, baserat på 1 januari-31 december 2021.

Antal timmar per år [h/år]	Bränsleförbrukning [L/år]	Genomsnittlig bränsleförbrukning [L/h]	Genomsnittlig bränsleförbrukning för en rutt [kWh]
4 057	228 044	56,21	193

Tabell 5 ger att den genomsnittliga effektförbrukningen blir  $9,8kWh/L * 56,21L/h = 551 kW$ . Med en verkningsgrad på 35% blir detta  $0,35 * 551kW = 192,9 kW$ . En rutt, som för Fartyg 3 består av två ändhållplatser och fyra mellanliggande hållplatser, tar ungefär 1 timme och därmed energimängden 193 kWh.

I Tabell 6 redovisas bränsle-, effekt- och energiförbrukning för Fartyg 3 vid olika tillfällen under en rutt.

Tabell 6. Max- och medelvärden för Fartyg 3 vid olika tillfällen under en rutt.

	Bränsleförbrukning [L/h]	Effektförbrukning [kW]	Energiförbrukning [kWh]
<b>Acceleration (maxvärde)</b>	138	473	55
<b>Liggtid (maxvärde)</b>	27	93	17
<b>Marschfart (maxvärde)</b>	80	275	248

Nedan presenteras hur beräkningarna för Tabell 6 gjordes. Som tidigare nämnt består den aktuella ruten av två ändhållplatser och fyra mellanliggande hållplatser, och tar 1 timme. Vid aktiva rutter stannar Fartyg 3 vid ändhållplatserna i 5 minuter, men tar flera långa pauser under dagen som varierar mellan 20 minuter och 1 timme.

### **Acceleration**

Accelererar i 1 minut och 20 sekunder efter varje stopp, alltså fem gånger under en rutt.

$$473kW * 0,023h * 5ggr = 55 kWh$$

### **Liggtid**

Fartyg 3 stannar i vid mellanliggande hållplatser i 1,5 minuter och ändhållplatser i 5 minuter.

$$93 * (0,025h * 4ggr + 0,084 * 1ggr) = 17kWh$$

### **Marschfart**

Kör med konstant fart i  $(60 - 1,5 * 4 = 54)$  minuter.

$$275kW * 0,9h = 248 kWh$$

Det totala energibehovet blir 320 kWh för en rutt. Även detta är lite mindre än dubbelt så mycket än det som beräknades ur Tabell 5.

Fartyg 3 börjar för dagen klockan 05.00 och stannar för natten klockan 00.00, och kör därmed 19 timmar under ett dygn. Under dygnet tar Fartyg 3 flera längre raster; 20 minuter klockan 06.00, 1 timme klockan 07.00, 20 minuter klockan 09.30, 10.45 och 11.00, 40 minuter klockan 12.00, 18.00 och 20.00 och slutligen 20 minuter klockan 22.30.

## **4.2 Verktyg**

Grunden till verktyget baserades på vad som var viktigt vid analysen av de tre fartygen som inte är elektriska. En rutt består av olika moment, vid vilka det krävs olika mycket effekt. I verktyget kan användaren ange upp till 10 olika urladdningsaktiviteter, där energi förbrukas från batteriet. Det går även att ange upp till 10 laddningsaktiviteter, där effekt tillkommer till batteriet. Vidare kan användaren med hjälp av aktiviteterna bygga upp en dag. Verktyget sammanställer resultatet och visar batterinivån över dagen, beroende på hur uppbyggnaden av aktiviteter under dagen ser ut. Verktyget består av två blad i Excel. I följande avsnitt beskrivs de olika bladen mer ingående (se Bilaga 1 och Bilaga 2 för hela Blad 1 respektive Blad 2).

På första bladet kan användaren ange information enligt listan nedan:

- Förbrännings- och elmotorns verkningsgrad
- Energiinnehållet i förbränningsbränslet
- Upp till 10 olika urladdningsaktiviteter bestående av flera moment
- Upp till 10 olika laddningsaktiviteter

**Driftprofiler**

**Skriv in värden i de gröna cellerna.**

Ange förbränningsmotorns verkningsgrad:  %

Ange energiinnehållet i bränslet:  kWh/L

Ange elmotorns verkningsgrad:  %

Ange bränsleförbrukning [L/h] och tid [min] för förbrukning nedan:

Aktivitetstyp urladdning	Acceleration		Liggtid		Marschfart		Mindre fart		Hotellast		Hjälpkälla	
	[L/h]	Tid [min]	[L/h]	Tid [min]	[L/h]	Tid [min]	[L/h]	Tid [min]	[kW]	Tid [min]	[kW]	Tid [min]
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Figur 3. Blad 1, urladdningsaktiviteter med sina olika moment

I Figur 3 illustreras uppbyggnaden av urladdningsaktiviteterna, som baserades på den tidigare gjorda analysen och består av ett antal olika moment. Momenten beskrivs i listan nedan:

- Marschfart: Då färjan håller konstant hastighet under en längre period.
- Acceleration: Hela tiden då färjan backar ut från kajen och accelererar upp till marschfart.
- Liggtid: Då färjan ligger still för på- och avstigning för passagerare.
- Mindre fart: Då färjan kör med en mindre hastighet under en längre period.
- Hjälpkälla: Om det kommer effekt från en källa som inte är batteriet, till exempel en förbränningsmotor
- Hotellast: Elförbrukare ombord på fartygen, till exempel lampor, kaffekokare och värme

För varje rubrik behöver användaren skriva in den totala tiden momenten sker under aktuell aktivitet, för att verktyget ska kunna göra beräkningarna för energibehovet. Alla rubriker behöver inte fyllas i, om det är så att något moment inte utförs av fartyget. Hotellasten antas automatiskt pågå hela drifttiden.

Ange effekt [kW] och tid [min] för laddning nedan:

Aktivitetstyp laddning	Effekt		Tid [min]	[kWh]
	[kW]	[min]		
11				0
12				0
13				0
14				0
15				0
16				0
17				0
18				0
19				0
20				0

Figur 4. Blad 1, laddningsaktiviteter

I Figur 4 syns uppbyggnaden av laddningsaktiviteterna, där användaren kan ange vilken effekt som tillförs och hur länge den sker. På första bladet finns det även möjlighet att ange det totala antalet av varje aktivitet, för att få en överblick på det totala energibehovet. Detta visas i Figur 5 och Figur 6 nedan.



Sammanställning urladdningsaktiviteter			
Tid [min]	Energiförbrukning [kWh]		Antal av aktiviteten under en dag
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		

Sammanställning laddningsaktiviteter			
Tid [min]	Energiförbrukning [kWh]		Antal av aktiviteten under en dag
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		

Krävd energi för dagen:	
0 kWh	

Figur 5 och Figur 6. Blad 1, sammanställning av urladdnings- och laddningsaktiviteter samt krävd energi för dagen

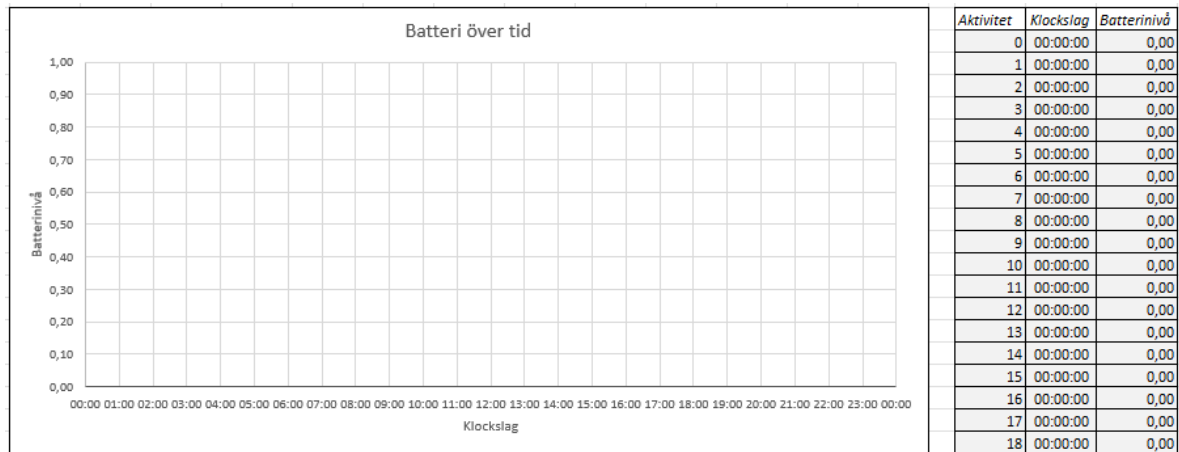
På andra bladet kan användaren ange information enligt listan nedan:

- Önskad batteristorlek och starttid för dagen
- Upp till 70 olika aktiviteter under dagen

Batteri över tid - Dag				
Skriv in värden i de gröna cellerna.				
Önskad batteristorlek:		0 kWh		
Ange starttid:		00:00:00		
			Enhet	Hjälpkolumner
1	Ange aktivitetstyp:		0	00:00:00
	Tid för aktivitet:	0	0	00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	0 kWh	kl	00:00:00
2	Ange aktivitetstyp:		0	00:00:00
	Tid för aktivitet:	0	0	00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	0 kWh	kl	00:00:00
3	Ange aktivitetstyp:		0	00:00:00
	Tid för aktivitet:	0	0	00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	0 kWh	kl	00:00:00
4	Ange aktivitetstyp:		0	00:00:00
	Tid för aktivitet:	0	0	00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	0 kWh	kl	00:00:00
5	Ange aktivitetstyp:		0	00:00:00
	Tid för aktivitet:	0	0	00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	0 kWh	kl	00:00:00

Figur 7. Blad 2, önskad batteristorlek och starttid samt illustration kring hur användaren kan bygga upp sin dag med olika aktiviteter.

I Figur 7 syns 5 av 70 fält som visar hur användaren med hjälp av aktiviteterna från Blad 1 kan bygga upp en dag. Användaren anger vilken aktivitetstyp fartyget utför och i vilken ordning de sker under dagen. I hjälpkolumnerna kan användaren se tidsåtgången för aktiviteten och hur mycket klockan är efter utförd aktivitet. Starttiden är speciellt viktig om fartyget kör efter en tidtabell, annars kan valfri starttid anges om fokus är batterinivån över tid.



Figur 8. Blad 2, diagram över batterinivån samt en tabell med sammanställning över klockslag och batterinivå. Diagrammet visar batterinivå [kWh] på y-axeln och klockslag på x-axeln.

Figur 8 visar hur verktyget sammanställer informationen som anges i Blad 2 genom att rada upp aktivitetsnummer, klockslag samt batterinivå, för att vidare kunna rita upp ett diagram med en kurva som följer batterinivån över tid. Samma diagram finns även på Blad 2, så att användaren lätt kan se hur diagrammet förändras vid justering av en aktivitet. I figuren syns 18 av 70 aktiviteter.

Sammanfattning för dagen:	
Summa krävd energi:	0,00 kWh
Summa energi från laddning:	0 kWh
Total energi för en dag:	0,00 kWh
Förslag på dimensionering för hjälpkälla för vald batteristorlek:	
Det saknas:	0,00 kWh
Fartyget kör i:	0,00 h
Det krävs:	+ 0,00 kW kontinuerligt hela drifttiden

Figur 9. Blad 2, sammanfattning över krävd energi för en dag samt eventuellt förslag på hjälpkälla om det går åt mer energi än den tillförda.

Figur 9 visar en sammanfattning för dagen, med hur mycket energi som krävs för att utföra alla urladdningsaktiviteter samt hur mycket energi som fås av laddningsaktiviteterna. Informationen sammanställs för att se om batteriet klarar de inskrivna aktiviteterna med den givna batteristorleken. Om det visar sig att den givna batteristorleken inte klarar av fartygets dagliga aktivitet ges ett förslag på hur mycket effekt som behövs från en eventuell hjälpkälla. Förslaget baseras på att hjälpkällan är i gång kontinuerligt under hela tiden fartyget är i drift. Användaren får själv tolka effekten och avgöra om det duger, eller anpassa effekten utifrån egen tid. En förutsättning för att verktyget ska ge en verklig bild av batterinivån är att fartygen startar dagen med fulladdat batteri.

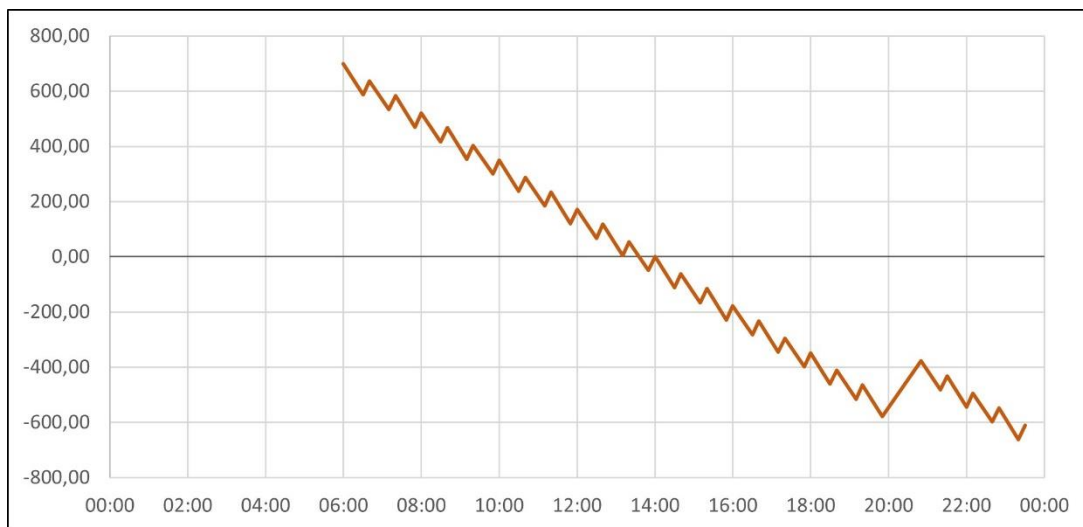
## 4.3 Simulering

I kommande kapitel ska de tidigare analyserade rutterna simuleras med hjälp av verktyget. Verktyget underlättar analysen genom att utföra beräkningarna från bränsleförbrukning till totalt energibehov. Alla fartyg simuleras med data från den tidigare gjorda analysen i form av bränsleförbrukning och tider. Storleken på batterierna antas. För alla fartyg i simuleringen antas förbrännings- och elmotorns verkningsgrad vara 35 procent respektive 95 procent, och energiinnehållet i bränslet antas vara  $9,8 \text{ kWh/L}$ . För varje fartyg dras en slutsats angående om det är möjligt att helt eller delvis elektrifiera fartyget.

### 4.3.1 Fartyg 1

Enligt analysen förbrukade Fartyg 1  $119\text{--}132 \text{ kWh}$  under en rutt, beroende på om fartyget körde med- eller motströms. I verktyget blir energibehovet något mindre,  $103\text{--}113 \text{ kWh}$ . Fartyg 1 simuleras med indata enligt listan nedan. Resultatet visas i Figur 10.

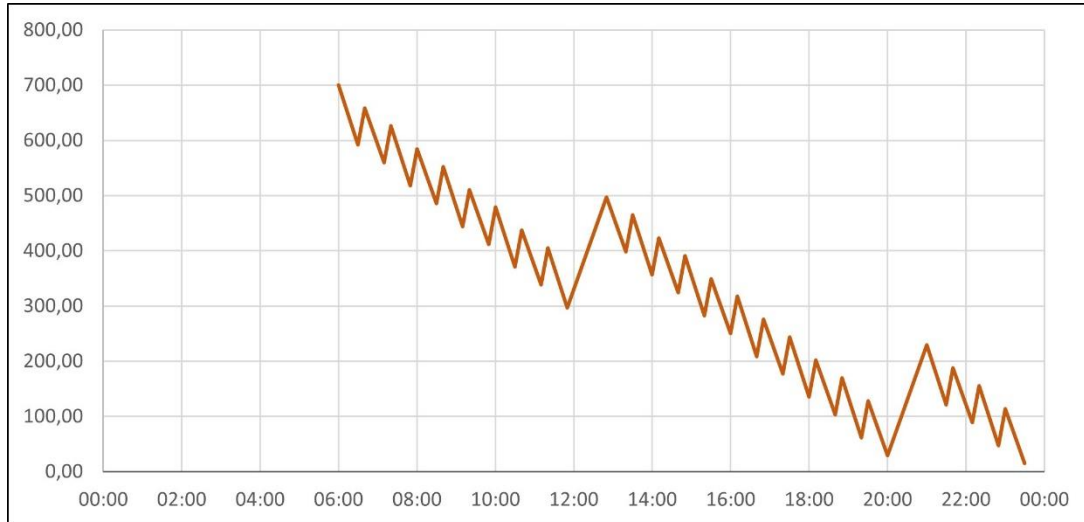
- Batterikapacitet  $700 \text{ kWh}$
- $300 \text{ kW}$  laddning i 10 minuter efter varje rutt
- $200 \text{ kW}$  laddning i 1 timme klockan 20.00



Figur 10. Batterinivån för Fartyg 1 över dagen, utan modifieringar.  
Batterinivå [kWh] på y-axeln, klockslag på x-axeln.

I Figur 10 syns det att batterinivån under dagen passerar nollnivån, vilket betyder att batteriet inte helt klarar en helelektrifiering med den aktuella indatan. För att vidare undersöka möjligheten för elektrifiering av Fartyg 1 görs justeringar i indatan enligt listan nedan. Resultatet illustreras i Figur 11.

- Samma batterikapacitet, 700 kWh
- Laddningen efter varje rutt ökas till 400 kW i 10 minuter
- Det läggs till en längre laddning kring lunchtid, 200 kW i 1 timme. Samtidigt tas sista ruten bort.
- Det läggs till 10 kW under hela drifttiden



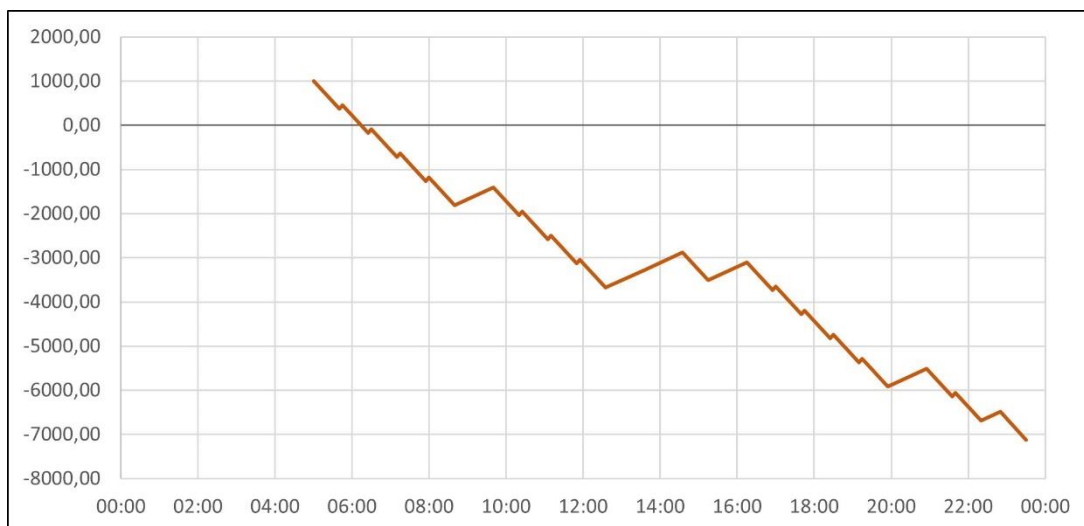
*Figur 11. Batterinivån för Fartyg 1 över dagen, med modifieringar.  
Batterinivå [kWh] på y-axeln, klockslag på x-axeln.*

Figur 11 visar att justeringarna skulle möjliggöra en delvis elektrifiering av Fartyg 1, med 10 kW från en valfri hjälpkälla som är aktiv under hela drifttiden. Hjälpkällan skulle kunna vara en förbränningsmotor som drivs med diesel, eller eventuellt ett fossilfritt bränsle.

### 4.3.2 Fartyg 2

Enligt analysen förbrukade Fartyg 2 784 kWh under en rutt. I verktyget blir energibehovet i stället 630 kWh. Eftersom passagerarkapaciteten (160 passagerare) är ungefär samma som för fartyget Sjövägen (150 passagerare) antas det att utrymmet för batteriet är ungefär samma, alltså 500 kWh. Dock är det för lite för att klara av ens 1 rutt. I exemplet kommer batteriet i stället utgå från 1000 kWh. Fartyg 2 simuleras med indata enligt listan nedan. Resultatet visas i Figur 12.

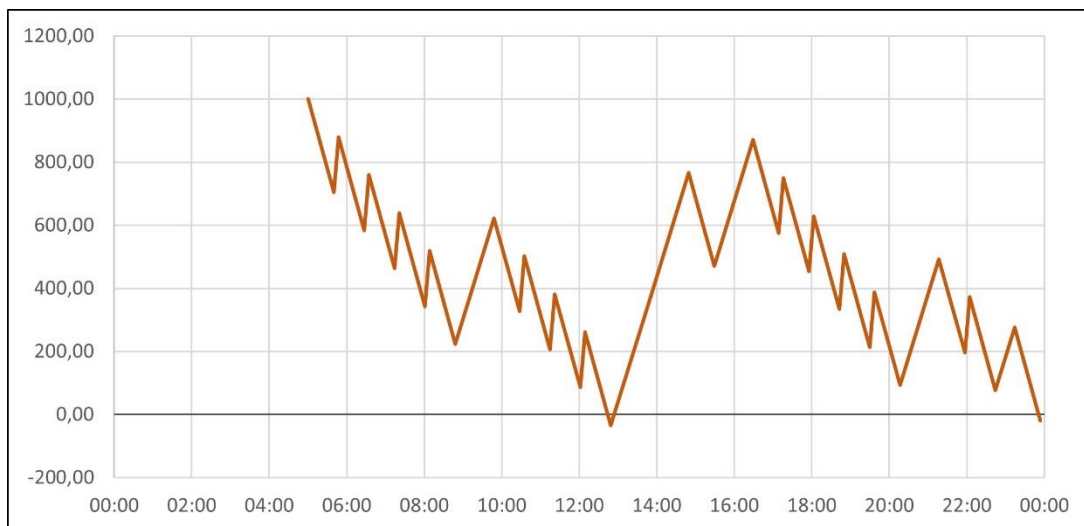
- Batterikapacitet 1000 kWh
- 1000 kW laddning i 5 minuter efter varje rutt
- 400 kW laddning i totalt 5,5 timmar utspritt under dagen



Figur 12. Batterinivån för Fartyg 2 över dagen, utan modifieringar.  
Batterinivå [kWh] på y-axeln, klockslag på x-axeln.

I Figur 12 syns det att batterinivån snabbt passerar under nollnivån. Som en färja i snabbgående skärgårdstrafik kör Fartyg 2 en krävande rutt där höga hastigheter snabbt förbränner bränsle. För att vidare undersöka om det är möjligt att driva fartyget med hybriddrift görs justeringar i indata för Fartyg 2 enligt listan nedan. Resultatet illustreras i Figur 13.

- Samma batterikapacitet, 1000 kWh
- Ökar laddeffekten till 1500 kW och ökar tiden till 7 minuter efter varje rutt
- 400 kW laddning i totalt 5,5 timmar utspritt under dagen
- Effekt från hjälpkälla, 500 kW, under hela drifttiden



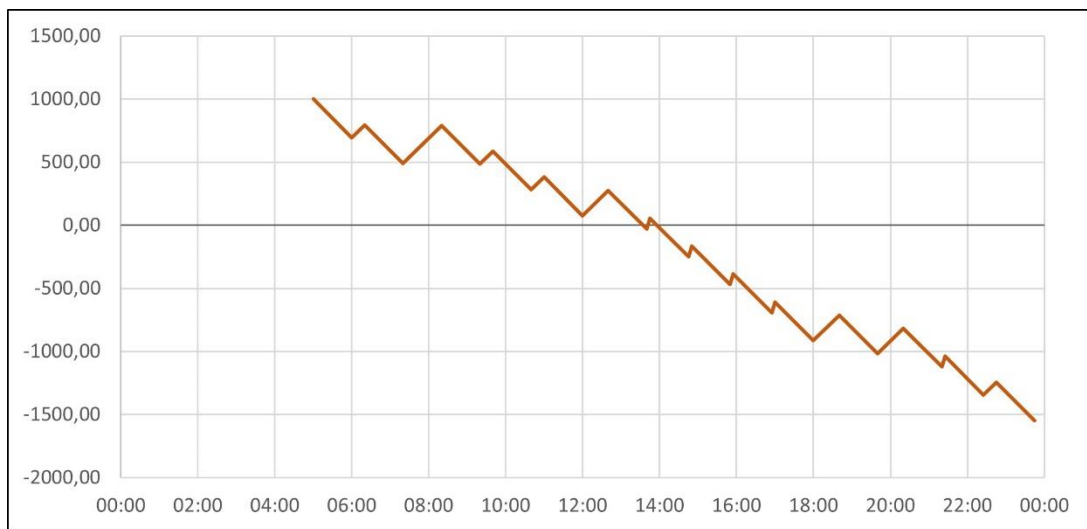
Figur 13. Batterinivån för Fartyg 2 över dagen, med modifieringar.  
Batterinivå [kWh] på y-axeln, klockslag på x-axeln.

Tillsammans med de drastiska justeringarna visar Figur 13 att det är orealistiskt att helelektrifiera Fartyg 2 med dagens teknik, då batterinivån fortfarande passerar nollnivån. En ökad laddeffekten, 1500 kW i 7 minuter efter varje stopp, skulle medföra en stor belastning på elnätet för ett relativt litet fartyg. En hjälpkälla på 500 kW skulle innebära en hybriddrift där fartyget drivs ungefär lika mycket av batteriet och en eventuell förbränningsmotor.

### 4.3.3 Fartyg 3

Enligt analysen förbrukade Fartyg 3 320 kWh under en rutt. I verktyget blir energibehovet något mindre, 305 kWh. Fartyg 3 simuleras med indata enligt listan nedan. Resultatet visas i Figur 14.

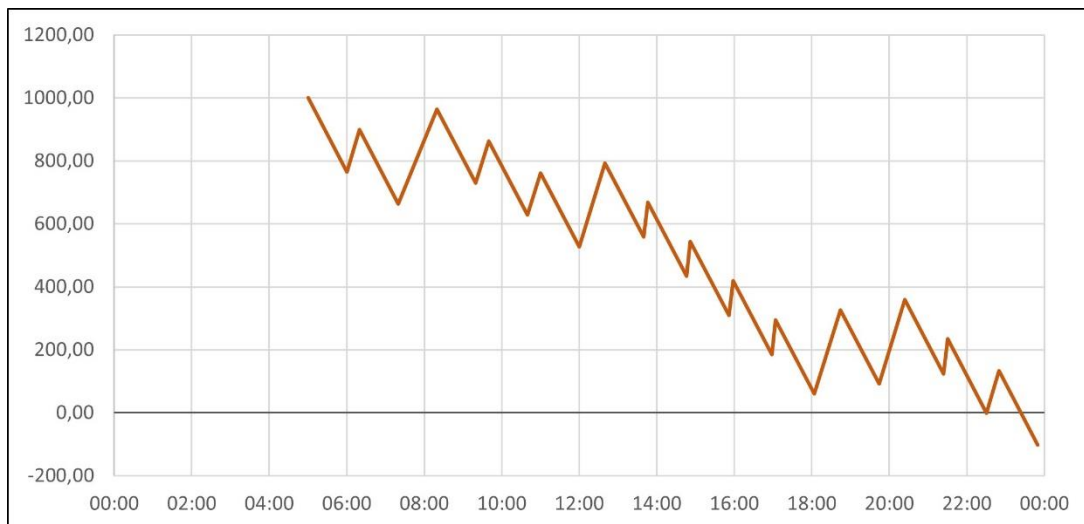
- Batterikapacitet 1000 kWh
- 1000 kW i 5 minuter efter varje rutt vid aktivt körande
- 300 kW i totalt 4 timmar och 20 minuter utspritt under dagen



Figur 14. Batterinivån för Fartyg 3 över dagen, utan modifieringar.  
Batterinivå [kWh] på y-axeln, klockslag på x-axeln.

Figur 14 visar att energinivån går en bit under nollnivån. Fartyget har en laddningstid som varierar mellan 5–40 minuter beroende på vilken tid på dygnet det är, som medför en osäkerhet kring laddningsmöjligheterna för fartyget. Det syns att batterinivån håller sig relativt jämn innan den snabbt faller när fartyget bara har möjlighet att ladda i 5 minuter. Justeringar i indata för Fartyg 3 görs enligt listan nedan. Resultatet illustreras i Figur 15.

- Samma batterikapacitet, 1000 kWh
- Ökar laddeffekten till 1100 kW och tiden till 6 minuter efter varje rutt vid aktivt körande
- Samma laddeffekt, 300 kW, då den laddar i 1 timme
- Ökar laddeffekten till 400 kW då den laddar i 20 eller 40 minuter
- Effekt från hjälpkälla, 70 kW, under hela drifttiden



*Figur 15. Batterinivån för Fartyg 3 över dagen, med modifieringar.  
Batterinivå [kWh] på y-axeln, klockslag på x-axeln.*

Figur 15 visar att batteriet fortfarande inte helt klarar att leverera tillräckligt med energi hela dagen. Detta skulle kunna lösas genom att till exempel tillföra extra effekt från hjälpkällan de sista 2–3 rutterna. I verktyget kan förslaget testas genom att införa en ny aktivitetstyp med mer effekt under rubriken ”Hjälpkälla” jämfört med den tidigare aktiviteten, eventuellt högre effekt vid laddning mot slutet av dagen.

## 5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras de ställda frågeställningarna och avgränsningarna som gjordes i början av arbetet. Diskussionen fortsätter vidare till resultatet av verktyget som togs fram, och avslutas kring framtida möjligheter för elektrifiering av fartyg.

### 5.1 Frågeställningar

Resultatet tyder på att ett generiskt verktyg som kan användas på olika driftprofiler skulle kunna vara uppbyggt i två steg. I det första steget anger användaren olika aktiviteter som utförs under en dag, för att sedan ange i vilken ordning och hur ofta de sker. Genom att dela upp det i två delar kan användaren enkelt gå tillbaka till första sidan och se hur batterinivån förändras vid till exempel justering av effekt vid laddningen, i stället för att manuellt ändra samma justering vid varje utförd aktivitet. Det finns möjlighet att utveckla verktyget vidare beroende på användarens behov. Ett exempel skulle kunna vara att kunna se batterinivån över en längre tid än ett dygn, till exempel en vecka, månad eller år.

För att kunna använda verktyget behöver användaren ha kunskap kring relevant indata, enligt listan nedan:

- Bränsleförbrukning och tid för bränsleförbrukning vid olika moment
- Verkningsgrad på den aktuella förbrännings- samt elmotorn
- Vilka aktiviteter fartyget önskas utföra under ett dygn
- Starttiden för dagen då fartyget börjar köra
- Önskad batteristorlek

Som det nämndes i kapitel 4.2 är starttiden egentligen inte viktig för att visa batterinivån, men om fartyget behöver följa en viss känd tidtabell. Där användaren kan ange önskad storlek på batteri i verktyget menas det egentligen hur mycket energi som kommer finnas tillgänglig under dagen, vilket inte är samma sak som storleken på batteriet. För att batteriet ska ha en bra livslängd är det inte optimalt att alltid nyttja batteriet till 100 procent. Det är även bra att alltid ha någon typ av pålitlig reserv, för att kunna vara helt säker på att fartygen klarar av att köra färdigt vid hårdare väder eller andra oförutsägbara förutsättningar.

Viktiga utdata från verktyget är främst ett diagram som visar batterinivån över dagen, för att enkelt illustrera hur batteriet belastas under dagen när olika aktiviteter genomförs samt enkelt se om det är möjligt att genomföra. Om det visar sig att de önskade aktiviteterna inte är genomförbara med önskad storlek på batteri är det bra att ge förslag på nödvändig effekt från en extra källa, till exempel en förbränningsmotor, för att stegvis fasa ut fossilberoendet. Verktyget är extra användbart om det tydligt går att se hur utdatan påverkas av olika justeringar av indata, till exempel om det kan finnas möjlighet att öka laddningstiden eller effekten.

### 5.2 Avgränsningar

I början av projektet gjordes en avgränsning att verktyget inte ska behandla någon typ av emissioner av växthusgaser. Det är känt att det vid ren eldrift inte släpps ut växthusgaser. Om en kund är intresserad av att ställa om till el vet den redan fördelarna när det kommer till utsläpp vid drift. Det är möjligt att utveckla verktyget så användaren kan se hur mycket mindre växthusgaser som skulle släppas ut vid drift, med syfte för att förtydliga. Vidare krävs det också



att få med utsläppen vid tillverkning och leverans av batteriet i beräkningarna. Hur elen till driften tillverkas har också en betydelse ur en miljöaspekt.

Den andra avgränsningen som gjordes var att verktyget inte ska behandla någon typ av kostnad. Kostnaden för tillverkningen av batteriet beror på storlek, leverantör och hur batteripaketet är uppbyggt, och blir därför svårt att ta med i verktygets beräkningar. Det är möjligt att det går att utveckla en del i verktyget som beräknar kostnaden för batteriet beroende på just storlek och leverantör, men då behöver användaren fortfarande själv veta hur leverantörens priser ser ut. Det kan även vara intressant med möjlighet att se kostnaden för laddning av batteriet.

Kostnaden för fartygsbatterier är förknippat med högre kostnader jämfört med inom fordonsindustrin. Det kan bero på, som nämndes i rapportens inledning, att elfartyg till skillnad från elfordon inte massproduceras och därför skiljer sig åt gällande storlek och utformning. Möjligheten finns att priserna kommer sjunka i takt med att fler elektriska fartyg byggs.

## 5.3 Verktyget

Verktyget som har tagits fram och redovisats i rapporten har i sin nuvarande form en del begränsningar. I kommande avsnitt diskuteras begränsningarna hos verktyget, innan en allmän diskussion kring verktyget och resultatet av simuleringen.

### 5.3.1 Begränsningar

Funktionen för hjälpkälla tar endast hänsyn till den totala energiförbrukningen under en dag. Om batterinivån under dagen passerar under nollnivån men slutar på den positiva sidan, på grund av till exempel laddning, kommer funktionen tolka det som om batteriet räcker hela dagen. Detta kan användaren själv lösa genom att lägga till ytterligare laddning eller effekt från hjälpkällan, eller eventuellt ge extra hjälp specifikt där det behövs.

Det finns inget enkelt sätt att återställa verktyget efter användning. I nuläget måste användaren manuellt ställa in oanvända rutor till 0, om det finns information där sedan tidigare. För varje ny analys är det lätt för användaren att öppna originalfilen, som är helt nollställd.

Verktyget antar att fartygen startar varje dag med fullt batteri, vilket kanske inte alltid är sant. Möjligheten att kunna variera nattladdningen är något som skulle kunna utvecklas genom att göra ett verktyg som visar batterinivån över längre tid. Eventuellt kan användaren själv simulera olika batterinivåer genom att ange en annan batteristorlek.

Rubriken ”Önskad batteristorlek” i verktyget är missvisande, då det egentligen är tillgänglig förbrukningsbar energi som önskas. För ett optimalt batteri behöver batteristorleken vara något större. Detta skulle kunna förtydligas genom att lägga till en funktion som utför alla beräkningar på önskad nyttjandegrad av batteriet.

Slutligen tar inte verktyget hänsyn till eventuell energiförbrukning under laddning, eller verkningsgraden på laddningen. Om det sker en energiförbrukning under laddningen kan användaren ange en något lägre laddningseffekt. Även verkningsgraden skulle kunna tas hänsyn till genom att ange en något lägre effekt, men det vore bra med en åtgärd där användaren kan ange verkningsgraden på laddningen.

### 5.3.2 Resultat

Som det beskrevs i avsnitt 1.1 finns det möjlighet för flera passagerarfärjor att elektrifieras, främst på grund av att sträckorna de kör ofta är kortare än för till exempel fraktfartyg. Eftersom de generellt sett är mindre fartyg kan de vara känsliga för extra vikt och ha utrymme, vilket är varför det i verktyget finns möjlighet att välja största möjliga storlek på batteri med förslag på eventuell effekt från hjälpkälla. Simuleringen som gjordes med hjälp av verktyget visar att det kan vara en utmaning att helt elektrifiera färjor som kör i snabbgående skärgårdstrafik med dagens teknik. Anledningen till detta är att de har en varierande driftprofil, med hög bränsleförbrukning som medför ett stort energibehov från batteriet samtidigt som batteriutrymmet är begränsat. Resultatet av simuleringen stämmer därför bra överens med teknikutmaningen som identifierades redan i avsnitt 3.2.1.

Samtidigt som potentialen är stor att elektrifiera vissa passagerarfärjor finns det andra, större typer av fartyg som går på el, till exempel fraktfartyget Yara Birkeland. Potentialen ska finnas att kunna använda verktyget för att undersöka möjligheterna att elektrifiera även dessa fartyg, om användaren vet effektbehovet vid olika tillfällen då ett sådant fartyg opererar. Då fraktfartyg ofta kör längre sträckor kan det krävas flexibla tider där det går att införa laddningsstopp innan slutdestinationen nås. För att underlätta omställningen vore det bra med ett verktyg som på något sätt kan visa hur ofta och hur länge ett sådant fartyg skulle behöva stanna för att ladda.

I simuleringen av verktyget framkom det att energibehovet som beräknades i analysen i fler av fallen var för hög. Detta kan vara en följd av att det för användaren blir lättare att göra mer exakta beräkningar i verktyget, genom att enkelt räkna ut mer exakt hur lång tid vissa moment pågår. I analysen gjordes flera avrundningar uppåt, som kan innebära att energibehovet blir något högre än det egentligen är. Detta blir i sin tur missvisande när batteriförslag ska dimensioneras fram. Kvaliteten på resultatet av verktyget beror även på kvaliteten på indata, som behöver vara tydlig kring vad som gäller när och hur länge. Skillnaden kan också bero på att det verkningsgraden för elmotorn inte beaktades när beräkningarna gjordes manuellt.

Vidare var det en skillnad i effektbehovet som togs fram från genomsnittet varje år och det som räknades fram i både analysen och genom verktyget. En orsak till det kan vara att fartygen i verkligheten oftare kör rutten som är mindre krävande än de som valdes för analysen, då de rutterna som analyserades aktivt valdes just för att de var mer krävande. För en mer realistisk driftlösning kan det vara bättre att analysera den vanligaste rutten snarare än den mest krävande, och lägga in en reserv som hjälper till vid behov.

Verktyget som tagits fram under detta examensarbete har stor utvecklingspotential, och mycket går att göra med mer avancerade Excelfunktioner. Verktyget uppbyggt kring just att konvertera från förbränningsmotor till elektrisk drift. Det skulle kunna byggas vidare så att användaren har möjlighet att direkt ange effektbehov i stället för bränsleförbrukning vid olika aktiviteter, för att kunna användas för helt nya fartyg där effektbehovet är känt utifrån faktorer som till exempel vikt, hastighet och skrovform.

Det är möjligt att det redan finns en liknande typ av verktyg på marknaden. Det skulle kunna vara batterileverantörer eller företag som METS Technology som har tagit fram liknande verktyg som de använder för att kommunicera med sina kunder. Det är även möjligt att deras verktyg är mer utvecklat än det som presenteras i denna rapport, och att bristerna som identifierades redan är åtgärdade.

## 5.4 Elektrifiering av fartyg

I takt med att utvecklingen av el- och hybridfartyg är det viktigt att infrastrukturen följer med. Antalet laddstationer behöver utökas så att det finns plats för flera fartyg att ladda i hamn samtidigt. Även intresset för snabbbladning kommer öka, det vill säga att kunna ta ut höga effekter på kort tid. För att inte överbelasta elnäten när flera stora fartyg ska laddas i framtiden kan det vara intressant att fortsatt utvärdera batteribanker i hamn, som laddas kontinuerligt under längre tid med lägre effekt. När fartyget anländer i hamnen snabbbladdas batteriet med el från batteribanken i stället för direkt från elnätet.

Som det nämndes i avsnitt 3.2.1 är litiumjonbatteriet den vanligaste battericellen för energilagring i fartyg då den har högre energi- och effekttäthet än övriga batteritekniker. Trots att den har högre energitäthet krävs det stora batterier för att kunna lagra all energi ett fartyg förbrukar under en dag. För att det ska bli realistiskt att kunna elektrifiera flera olika sorters fartyg kan det krävas att batteritekniken ses över och utvecklas.

Vidare är det inte bara elektrifieringen av fartyg som är intressant för att nå klimatmålen, men även att utforska möjligheterna kring användning av andra fossilfria bränslen, till exempel de som angavs i avsnitt 3.1. Eventuellt kan det vara intressant att undersöka hybriddrift som består av fossilfria förbränningsbränslen tillsammans med batteri. Det är även viktigt att utöka den fossilfria elförsörjningen, så att fartygen som har en ren framdrift dessutom laddas med ren el. Det kan vara intressant att undersöka möjligheterna för ren uppladdning vid drift, genom till exempel solpaneler på fartygen. Effektiviteten av solpaneler på fartygen kan undersökas med hjälp av verktyget som togs fram under arbetet, där användaren kan ange den möjliga effekten från solpanelerna som en hjälpkälla.

## Referenser

- [1] DNV, "Alternative fuels insight platform," 2021. [Online]. Available: <https://afi.dnv.com/>. [Använd 20 04 2022].
- [2] UNCTAD, "Review of Maritime Transport 2021," 2021. [Online]. Available: <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021>. [Använd 20 04 2022].
- [3] UNCTAD, "Review of Maritime Transport 2020," 2020. [Online]. Available: <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2020>. [Använd 20 04 2022].
- [4] L. Paoli och T. Gül, "Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales," International Energy Agency, 30 01 2022. [Online]. Available: [https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales?utm\\_source=SendGrid&utm\\_medium=Email&utm\\_campaign=IEA+newsletters](https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales?utm_source=SendGrid&utm_medium=Email&utm_campaign=IEA+newsletters). [Använd 20 04 2022].
- [5] Sjöfartsnärings, "Färdplan för fossilfri konkurrenskraft," Fossilfritt Sverige, 2019. [Online]. Available: <https://www.sweship.se/wp-content/uploads/2015/08/PUBLICERAD-VERSION-sj%C3%B6fartsnringen.pdf>. [Använd 20 04 2022].
- [6] Transportstyrelsen, "Sjöfart - Miljö och hälsa," 08 12 2021. [Online]. Available: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/miljo-och-halsa/>. [Använd 20 04 2022].
- [7] Transportstyrelsen, "Sjöfart - Klimat och energi," 20 08 2020. [Online]. Available: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Klimat-och-energi/>. [Använd 20 04 2022].
- [8] H. Sjöstrand och S. Lindgren, "Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter," 14 02 2022. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1637476&dswid=-8311>. [Använd 20 04 2022].
- [9] J. Hjalmarson, "Omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg – ett regeringsuppdrag," 19 12 2018. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1425694&dswid=1967>. [Använd 20 04 2022].
- [10] Nationalencyklopedin, "Förbränningsmotor," [Online]. Available: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/förbränningsmotor>. [Använd 20 04 2022].
- [11] G. Krantz, "CO2 and sulphur emissions from the shipping industry," 10 2016. [Online]. Available: <https://www.egcsa.com/wp-content/uploads/CO2-and-sulphur-emissions-from-the-shipping-industry.pdf>. [Använd 20 04 2022].

- [12] T. Albaghjati, K. Eliasson, E. Johansson, K. Karlsson, E. Stenvall och V. R. Svensson, "Dimensionering och miljöutvärdering av elektrisk drivlina till färja," 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/302487>. [Använd 21 04 2022].
- [13] P.-H. Sjöström, "LNG-motorer slipper metanslip med katalysator," Sjöfartstidningen, 20 10 2020. [Online]. Available: <https://www.sjofartstidningen.se/lng-motorer-slipper-metanslip-med-katalysator/>. [Använd 21 04 2022].
- [14] Lighthouse, "Elektrifiering av sjöfarten," 04 2018. [Online]. Available: [https://lighthouse.nu/wp-content/uploads/2021/03/elektrifiering\\_webb-1.pdf](https://lighthouse.nu/wp-content/uploads/2021/03/elektrifiering_webb-1.pdf). [Använd 20 04 2022].
- [15] Lighthouse, "Fossilfri kollektivtrafik på vatten," 05 07 2020. [Online]. Available: [https://lighthouse.nu/wp-content/uploads/2021/08/fs3\\_fossilfrikollektiv\\_pa\\_vatten.pdf](https://lighthouse.nu/wp-content/uploads/2021/08/fs3_fossilfrikollektiv_pa_vatten.pdf). [Använd 20 04 2022].
- [16] J. W. J. E. V. S. S. R. M. B. Nicole Costa, "Connecting vessels to shoreside electricity in Sweden," 02 2022. [Online]. Available: <https://www.sspa.se/how/research/connecting-vessels-shore-side-electricity>. [Använd 20 04 2022].
- [17] J. Tångring, "Stena Line vill snabbladda en hel färja," Elektroniktidningen, 2020 09 25. [Online]. Available: <https://etn.se/index.php/nyheter/67227-stena-line-vill-snabbladda-en-hel-farja.html>. [Använd 20 04 2022].
- [18] Skipsrevyen, "Ship of the Year 2014," 2014. [Online]. Available: <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/m-s-ampere/>. [Använd 20 04 2022].
- [19] Rederi AB Ballerina, "Första eldrivna båten i SL trafik," 2014. [Online]. [Använd 20 04 2022].
- [20] Yara, "Yara Birkeland," 19 11 2021. [Online]. Available: <https://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>. [Använd 20 04 2022].

# Bilaga 1

Överblick över uppbyggnaden av Blad 1 i verktyget.

Skriv in värden i de gröna cellerna.

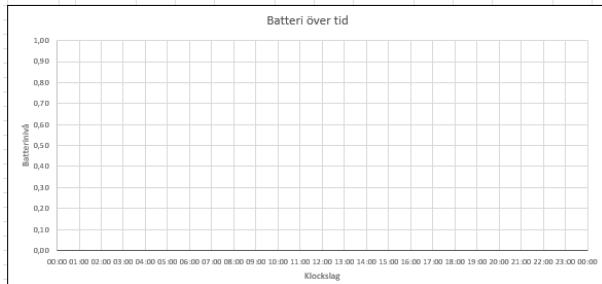
Ange förbränningsmotorns verkningsgrad:  %

Ange energinnehållet i bränslet:  kWh/L

Ange elmotorns verkningsgrad:  %

Ange bränsleförbrukning [L/h] och tid [min] för förbrukning nedan:

Aktivitetstyp	Accelerati		Ligg		Marsch		Mindre far		Hotellast		Hjälpkälla		Sammanställning urladdningsaktiviteter		
	[L/h]	[min]	[L/h]	[min]	[L/h]	[min]	[L/h]	[min]	[L/h]	[min]	[L/h]	[min]	Tid [min]	Energiförbrukning [kWh]	Antal av aktiviteten under en dag
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															



Ange effekt [kW] och tid [min] för laddning nedan:

Aktivitetstyp	Effekt [kW]	Tid [min]	[kWh]	Tid [min]	Energiförbrukning [kWh]	Antal av aktiviteten under en dag
laddning						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Krävd effekt för dagen:

kWh

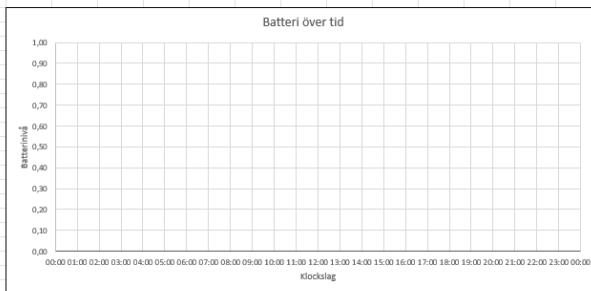
# Bilaga 2

Överblick över uppbyggnaden av Blad 2 i verktyget.

## Skriv in värden i de gröna cellerna.

Önskad batteristorlek:  kWh  
 Ange starttid:

	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>	Enhet	Hjälpkälla
1	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
2	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
3	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
4	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
5	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
6	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
7	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00
8	Ange aktivitetstyp:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Tid för aktivitet:	<input type="text" value="0"/>		0 00:00:00
	Batteri efter aktivitet:	<input type="text" value="0"/>	kWh	0 00:00:00



**Sammanfattning för dagen:**

Summa krävd energi:	<input type="text" value="0,00"/> kWh
Summa energi från laddning:	<input type="text" value="0"/> kWh
Total energi för en dag:	<input type="text" value="0,00"/> kWh

**Förslag på dimensionering för hjälpkälla för vald batteristorlek:**

Det saknas:	<input type="text" value="0,00"/> kWh
Fartyget kör i:	<input type="text" value="0,00"/> h
Det krävs:	+ <input type="text" value="0,00"/> kW kontinuerligt hela drifttiden

Aktivitet	Klockslag	Batterinivå
0	00:00:00	0,00
1	00:00:00	0,00
2	00:00:00	0,00
3	00:00:00	0,00
4	00:00:00	0,00
5	00:00:00	0,00
6	00:00:00	0,00
7	00:00:00	0,00
8	00:00:00	0,00
9	00:00:00	0,00
10	00:00:00	0,00
11	00:00:00	0,00
12	00:00:00	0,00
13	00:00:00	0,00
14	00:00:00	0,00
15	00:00:00	0,00
16	00:00:00	0,00
17	00:00:00	0,00
18	00:00:00	0,00
19	00:00:00	0,00
20	00:00:00	0,00
21	00:00:00	0,00
22	00:00:00	0,00
23	00:00:00	0,00
24	00:00:00	0,00
25	00:00:00	0,00
26	00:00:00	0,00
27	00:00:00	0,00
28	00:00:00	0,00
29	00:00:00	0,00

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK  
OCH MARITIMA VETENSKAPER  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**