



## RAPPORT

Datum:  
2015-12-22

SSPA Rapport Nr.:  
RE20157370-01-01-A

Projektledare:  
Martin Ericson Borgh

Författare:  
Martin Ericson Borgh

Trafikverket &  
Trafikverket Färjerederiet  
Skickad via e-post i PDF-form

Referens:  
Fredrik Almlöv, Färjerederiet  
Peter Jansson, Färjerederiet  
Håkan Johansson, Trafikverket

## Konsekvensbeskrivning för klimat- och energikrav på färjeverksamhet – del B

SSPA har nöjet att leverera del B för rubricerat FUD-uppdrag.

Vi tackar för förtroendet från Trafikverket och Färjerederiet och hoppas att våra framtagna resultat skall svara mot era behov och komma till god användning i er verksamhet.

SSPA Sweden AB

SSPA Sweden AB

Magnus Forsberg  
*Avdelningschef*  
*Ship Design Stockholm*

Martin Ericson Borgh  
*Projektledare*  
*Ship Design Stockholm*

**SSPA SWEDEN AB – YOUR MARITIME SOLUTION PARTNER**

HUVUDKONTOR: Box 24001 · 400 22 Göteborg · Sverige · Tel: 031-772 90 00 · Fax: 031-772 91 24

BESÖKSADRESS: Chalmers Tvärgata 10 · 412 58 Göteborg · Sverige

REGIONKONTOR: Fiskargatan 8 · 116 20 Stockholm · Sverige · Tel: 031-772 90 00 · Fax: 08-31 15 43

INTERNET: [www.sspa.se](http://www.sspa.se) · E-MAIL: [postmaster@sspa.se](mailto:postmaster@sspa.se) · ORG NR/VAT NO: SE556224191801

# 1 Slutsatser och rekommendation

SSPA har utrett möjligheterna och kostnaderna att till år 2025 reducera utsläppen av CO<sub>2</sub> med 30 % och att reducera energianvändningen med 10 % relativt basåret 2015.

Studien visar att detta är möjligt.

SSPA har också utrett kostnader för att nå målen med tre olika huvudstrategier: att enbart söka reduktionerna med enbart tekniska åtgärder, att enbart byta bränsle eller att använda en kombination av tekniska åtgärder och bränslebyte. Av dessa alternativa strategier är den kostnadseffektivaste en kombination av tekniska åtgärder på färjelägena och på färjorna i kombination med bränslebyte på ett väl valt antal leder.

De föreslagna tekniska åtgärderna på färjelägena är att anskaffa automatförtöjnings-system (automooringsystem) till ett antal av lederna.

Åtgärderna på färjorna är att byta eller modifiera propulsionsystemen på en del av flottan till att bli elektrifierade och i så hög grad som är möjligt (med avseende på livscykelkostnad) drivna med landström – detta innebär i princip att de förses med någon form av hybridsystem där en del av den elektriska energin tas från ombord-placerade energilagring och en del genereras ombord med generatoraggregat. De ombordplacerade energilagring laddas dels från land och dels från generator-aggregaten.

En annan viktig slutsats är att insatser måste inrikta sig mot de leder som har störst förbrukning för att måluppfyllnad skall kunna uppnås.

Med de förenklade kostnadsanalyser som varit möjliga att göra i detta uppdrag beräknas investeringskostnaden för att klara målet på 30 % reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläpp och 10 % reduktion av energianvändningen vara cirka 240 Miljoner SEK. Den totala livscykelkostnaden för åtgärderna under 15 år beräknas vara mellan 543 och 719 Miljoner SEK.

I investeringskostnaden ingår inte kostnader för att ta fram upphandlingsunderlag (d.v.s. Färjerederiets egna kostnader och eventuella kostnader för konsulttjänster).

Detta resulterar i en genomsnittlig beräknad kostnad för koldioxidbesparingen på mellan 3 och 4,5 SEK/kg medan den för energibesparingen blir mellan 2,3 och 5,5 SEK/kWh.

Om de tekniska åtgärderna kan spridas ut relativt jämnt under tiden fram till 2025 beräknas den största årliga kostnaden som kan uppstå för investeringen bli mellan 50 och 60 Miljoner SEK.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Slutsatser och rekommendation.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Beskrivning av möjliga åtgärder för utsläppsreduktioner .....</b>	<b>6</b>
3.1	Miljöbesparingspotential och bedömd kostnadseffektivitet .....	6
3.1.1	Nybyggnad.....	8
3.1.2	Ombyggnad .....	9
3.2	Tekniska åtgärder på landinfrastruktur .....	9
3.3	Operativa åtgärder för trafiken.....	9
3.4	Generellt om använda kostnader .....	10
<b>4</b>	<b>Är miljömålen realiserbara? .....</b>	<b>11</b>
4.1	Förutsättningar .....	11
4.2	De tre strategierna.....	13
4.3	Strategi 1: rent tekniska åtgärder .....	14
4.4	Strategi 2: enbart bränslebyte .....	14
4.5	Strategi 3: "lite grand av båda" .....	15
4.6	Åtgärder som sänker LC-kostnaden .....	16
4.7	Sammanställning av resultat.....	16
<b>5</b>	<b>Resultat av åtgärder – realiserbarhet av miljömålen.....</b>	<b>17</b>
5.1	Bästa bedömda fördelning av kostnader över tid.....	17

## 2 Inledning

SSPA har erhållit beställning från Trafikverket för att stödja med metodframtagnings- och analysarbete för att vara del i Färjerederiets klimat- och energimål. Följande uppdragsbeskrivning var del i Trafikverkets beställning.

*Trafikverkets färjeverksamhet ger upphov till ett koldioxidutsläpp på ca 35 000 ton genom den diesel som används för drift och uppvärmning av färjorna. Långsiktigt har regeringen och riksdag beslutat om visionen att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av klimatgaser 2050. Det innebär att även transportsystemet och färjeverksamheten behöver ha denna vision. Inom Trafikverket pågår nu ett arbete att utreda konsekvenser och utveckla metodik för att ställa klimat- och energikrav på infrastruktur. Färjeverksamheten ingår inte i det startade forskningsprojektet. De preliminära krav som utvärderas är en minskning av klimatpåverkan med 15 procent och energi-användningen med 10 procent till 2020 jämfört med 2015. Dessa reduktioner är härledda från nationella klimat och energimål satta av regering och riksdag. Reduktionerna har också varit utgångspunkten för det utspel som gjorts om CO<sub>2</sub> mål för Färja de kommande åren (900 ton per år).*

*Arbetet indelas i två huvuddelar. I del A genomförs nulägesanalyser av befintlig trafik, kunskapsinhämtning av reduktionsmöjligheter med olika teknikval samt de kostnader som är förknippade med teknikvalen. Del A redovisas i en rapport, samt vid ett möte hos Trafikverket. Rapporten är avsedd att vara för internt bruk inom Trafikverket och att tjäna som bas för arbetet i Del B.*

*I del B genomförs analysen av och redovisningen av den bedömda möjligheten att nå reduktions-målen samt kostnaderna för att nå målen. Del B redovisas i en rapport vilken kan sägas vara slutrapporten för uppdraget.*

*I görligaste mån tas också en Excelbaserad modell fram i Del B som kan tjäna som bas för framtida arbete med utsläppsreduktion.*

Denna rapport är leverans för Del B enligt ovanstående beskrivning.

För redovisningen av Del A se rapporten "RE20157370-01-00-A Konsekvensbeskrivning för klimat- och energikrav på färjeverksamhet – del A".

Färjerederiet förbrukade som referens år 2014 cirka 12 290 m<sup>3</sup> diesel MK1 och 6 116 MWh elkraft. Detta motsvarar sammanlagt 125 818 MWh energi och en koldioxidbelastning av 37 587 ton. Av koldioxidbelastningen svarade endast 595 ton från förbrukningen av elkraft.

Omsatt till absoluta tal är således den efterfrågade reduktionen av koldioxid och energiförbrukning i storleksordningen (jämfört med år 2014 d.v.s. inte korrekt basår 2015)

1. Till 2020 en reduktion av 5 638 ton koldioxid (från 37 587 ton till 31 949 ton)
2. Till 2025 en reduktion av 11 276 ton koldioxid (från 37 587 ton till 26 310 ton)
3. Till 2020 en reduktion av energiförbrukningen med 12 582 MWh (från 125 818 MWh till 113 236 MWh)

Omräknat till förbränning eller förbrukning av diesel MK1 motsvarar detta

1. Till 2020 en reduktion av 1 744 m<sup>3</sup> diesel MK1 (krav på CO<sub>2</sub>-reduktion)
2. Till 2025 en reduktion av 3 488 m<sup>3</sup> diesel MK1 (krav på CO<sub>2</sub>-reduktion)
3. Till 2020 en reduktion av 1 292 m<sup>3</sup> diesel MK1 (krav på reduktion av energiförbrukning)

### 3 Beskrivning av möjliga åtgärder för utsläppsreduktioner

#### 3.1 Miljöbesparingspotential och bedömd kostnadseffektivitet

I detta kapitel listas de i rapport del A identifierade tekniska åtgärder inklusive byte av bränsle som bedömts ha potential att ge tillräckligt stora bidrag till miljömålen för att ha betydelse. Principiellt innebär det att alla åtgärder som bedömts ha över cirka 1 % potential att sänka energiförbrukningen eller koldioxidutsläppen tas med. Notera att besparingarna i energi och CO<sub>2</sub> är angivna per färja och led. Kostnaderna är beräknade som summan av investeringskostnad och kostnadsskillnad för energi och med komponent för eventuella skillnader i underhållskostnad för en period av 20 år. Man kan säga att det som beräknas är en förenklad LCC (livscykelkostnad). Denna kostnad är sedan dividerad med den sammanlagda beräknade besparingen av CO<sub>2</sub> under samma period.

Beräkningarna är utförda med bas i färjan Saturnus drift idag på Gullmarsleden – resultaten är därmed sannolikt inte helt representativa för en mindre färja på en kortare led. En av slutsatserna i Del A är just att det är omöjligt att ge helt generella svar på vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva för alla leder. Vilken åtgärd som är mest kostnadseffektiv beror i så hög grad på de specifika förhållandena på leden att analysen måste utföras per led för att ha hög noggrannhet. För de leder som har färjor av större storlek och en relativt hög förbrukning (endera eller båda av fler avgångar per dygn eller längre sträcka att segla än genomsnittet) är sannolikt dock nedanstående tabell relevant.

Negativ kostnad innebär att åtgärden kalkylmässigt bedöms generera en ekonomisk vinst (d.v.s. den sparar pengar förutom att den ger en miljömässig vinst).

Åtgärd	Besparing CO <sub>2</sub> , %	Besparing energi, %	Kostnad per CO <sub>2</sub> -besparing, SEK/kg	Kostnad per sparad energi, SEK/kWh
Automatförtöjning av avancerad typ för två färjelägen: en färja på leden	5 % - 15 %	5 % - 15 %	2,6 – 9	0,8 – 2,8
Automatförtöjning av enklare typ för två färjelägen: en färja på leden	5 % - 15 %	5 % - 15 %	0,6 – 3,2	0,2 – 1,0
Automatförtöjning av avancerad typ för två färjelägen: två färjor på leden	5 % - 15 %	8 % - 13 %	1,3 – 4,5	0,4 – 1,4
Automatförtöjning av enklare typ för två färjelägen: två färjor på leden	5 % - 15 %	8 % - 13 %	0,3 – 1,6	0,1 – 0,5

Åtgärd	Besparing CO <sub>2</sub> , %	Besparing energi, %	Kostnad per CO <sub>2</sub> -besparing, SEK/kg	Kostnad per sparad energi, SEK/kWh
Elektrisk propulsion 100 % driven via batteri (landström) jämförelse för en färja av ungefär Saturnus storlek: Kostnad inkluderar energilager iland för storleksordningen 30 MSEK.	80 % - 90 %	50 % - 60 %	12 – 15	3,0 – 5,4
Elektrisk hybridpropulsion delvis driven via landström i batteri (laddning vid stilla-liggande) jämförelse för en färja av ungefär Saturnus storlek	10 % - 15 %	10 % till 15 %	6,1 – 11	2,2 – 4,3
Övergång från frise glande färja till lindragen med energigenerering ombord	65 % - 70 %	65 % - 70 %	-4 till -4,5	-1,2 till -1,4
Övergång från frise glande färja till lindragen som är landström driven	95 %	90 %	-3,1 till -3,8	-1,0 till -1,2
Lindragen färja med övergång från ombord-genererad energi till landström driven	85 % - 90 %	60 %	-1,8 till -1,1	-0,5 till -0,8
Byte av bränsle till HVO, med lägsta CO <sub>2</sub> -belastning (not: pris för bränsle uppskattat)	80 % - 85 %	Ingen	2,4 – 2,6	Ingen besparing
Byte av bränsle till HVO med högsta CO <sub>2</sub> -belastning	40 % - 45 %	Ingen	3,9 – 4,5	Ingen besparing
Byte av bränsle till E85 (sommar)	50 %	Ingen	2,3 – 2,4	Ingen besparing
Byte av bränsle till E85 (vinter)	60 %	Ingen	2,8 – 2,9	Ingen besparing
Byte av bränsle till LNG	20 %	Ingen	9,4 – 13,2	Ingen besparing
Byte av bränsle till LBG (not: pris för bränsle uppskattat)	70 %	Ingen	2,8 – 4,1	Ingen besparing
Byte av bränsle till CNG	20 %	Ingen	4,6 – 7,6	Ingen besparing
Byte av bränsle till CBG (not: pris för bränsle uppskattat)	70 %	Ingen	1,5 – 2,5	Ingen besparing
Minimering av maskinrumsventilation	2 %	2 %	-0,8 till -1,9	-0,25 till -0,60
Införande av värmeåtervinningsystem för huvudmaskinens kylvattenkrets	3 % till 8 %	3 % till 8 %	-1,5 till -1,7	-0,45 till -0,51
Isolering av skrovsidor	0,3 %	0,3 %	-0,80 till +0,10	-0,23 till +0,03
Isolering av rörsystem i värmesystemet	2,5 %	2,5 %	-1,9 till -1,5	-0,67 till -0,45

Tabell 1: Besparingspotential för CO<sub>2</sub>-utsläpp och energiförbrukning samt bedömda kostnader för en period av 20 år.

Viktigt att förstå är att valet av period som åtgärden utvärderas mot nästan helt styr den beräknade kostnaden för alla åtgärder som innebär att stora initiala investeringar behöver göras. Detta innefattar i princip alla åtgärder utom byte av bränsle till HVO – och för nybyggnad möjligen E85 eller motsvarande bränsle med hög andel etanol.

För att illustrera det stora genomslaget av vald analysperiod för beräkningen av LCC-kostnaderna finns nedan en tabell som beskriver åtgärden "Elektrisk propulsion 100 % driven av batteri".

Period för beräkning av LCC, antal år	Beräknad kostnad per sparad kg CO <sub>2</sub>
5	15,1 - 24,2
10	9,3 – 15,3
15	7,4 – 12,4
20	6,5 – 10,9

För flertalet åtgärder måste alltså en tillräckligt lång, men fortfarande förstås rimlig och relevant, tidsperiod för LCC-kalkylen användas. Om en tid kortare än såg tre till fem år används kommer kalkylerna visa att det enda alternativ för CO<sub>2</sub>-reduktion som kan komma i fråga är byte av bränsle.

Notera också att för alla fall utom de åtgärder som innefattar övergång från friseående till lindragen färja är det så att åtgärder som ger en ekonomisk vinst också ger små vinster i den totala reduktionen av både CO<sub>2</sub>-utsläpp och energiförbrukning.

Sannolikt beror detta på att trafiken redan idag bedrivs på ett energisnålt sätt – alla "lågt hängande frukter" är redan plockade – och att man sedan lång tid haft ett stort fokus på kostnadseffektiv operation av färjorna. Högst sannolikt är det så att trafiken idag bedrivs på ett så kostnadseffektivt sätt att i princip alla åtgärder med potential att substantiellt sänka utsläppen av CO<sub>2</sub> och minska energiförbrukningen kommer att innebära kostnadsökningar för driften.

### 3.1.1 Nybyggnad

Vid nybyggnad bedöms alla de föreslagna tekniska ändringarna vara möjliga. Det finns dock en osäkerhet i kostnader och risker särskilt för valet av bränslen med lägre flamm- punkt än diesel: detta gäller specifikt metan och metanol, men även i någon mån etanol.

För val som innebär elektriskt driven propulsion och omfattande användning av landström som kraftkälla bedöms extrakostnaden bli lägre vid nybyggnad än vid ombyggnad för en lika stor färja. Att riva ut och bygga om befintliga system är normalt sett mer kostsamt än att bygga nytt. Å andra sidan blir givetvis den totala behövda investeringen lägre för ombyggnad än för nybyggnad eftersom så mycket av fartyget behålls vid ombyggnad.

### 3.1.2 Ombyggnad

De enda åtgärderna som inte bedöms vara lämpliga för ombyggnad är att bygga om en friseående färja till lindragen samt att konvertera till metanbränsle (med metan innefattas LNG, CNG, LBG och CBG<sup>1</sup>). Det är sannolikt bättre att beställa ny färja om det är önskvärt att ställa om en led från friseående till lindragen. På samma sätt blir det antagligen så svårt att placera in gastankarna för metan vid en ombyggnad att det blir billigare att bygga en ny färja – särskilt om man beaktar att man säkerligen vid en så omfattande ombyggnad önskar byta ut många andra system ombord och renovera inredning etc.

## 3.2 Tekniska åtgärder på landinfrastruktur

För landinfrastrukturen är det framförallt kostnader för automatförtöjningssystem, samt eventuella automatiska system för anslutning av landström och energilager iland som driver kostnad. Eftersom dessa system idag inte har någon standard utan normalt designas, konstrueras och tillverkas anpassat för respektive kund blir utvecklingskostnaden stor om de köps i ett fåtal enheter för endast en eller ett fåtal leder.

För att komma runt detta och erhålla lägre pris per enhet bedöms två huvudsakliga lösningar finnas:

1. Genomför en funktions- och prestandabaserad upphandling och köp system till så många leder som möjligt: förslagsvis minst fem
2. Ta fram en egen design (funktionsprinciper och tekniska lösningar) eventuellt med stöd från extern partner och upphandla denna specificerade design i konkurrens.

Fördelen med alternativ 1 är att det minimerar det egna arbetet för Färjerederiet och låter tillverkarnas kunskap och kompetens komma till störst nytta. Fördelen med alternativ 2 är att det maximerar möjligheten att senare köpa fler system som fungerar likadant vilket ökar möjligheterna att flytta fartyg mellan leder utan att behöva bygga om dem eller automatförtöjningssystemen.

## 3.3 Operativa åtgärder för trafiken

Operativt bedöms endast tre åtgärder finnas med potential att sänka miljöbelastningen:

1. Utveckla den redan nu delvis införda åtgärden att på varje led söka framföra varje färja så energisnålt som möjligt, så kallad "ECO-driving".
2. Genomför färre extra- och dubblingsturer utanför den fastställda tidtabellen.
3. Sluta köra färja och bygg bro eller tunnel istället.

---

<sup>1</sup> LNG: flytande naturgas, CNG: komprimerad (i gasform) naturgas, LBG: flytande biogas, CBG: komprimerad (i gasform) biogas,

Åtgärden 1 bedöms ha begränsad potential att ge substantiella bidrag till reduktionerna eftersom den redan delvis är införd. Genom ytterligare utbildnings- och uppföljningsinsatser kan sannolikt en viss ytterligare effekt nås – men framförallt kan den redan nådda effekten behållas. En uppskattning på den ytterligare möjliga besparingen kan vara att den har mellan 1 % till 5 % potential att sänka förbrukningen av drivmedel för vissa enskilda leder, på andra har eventuellt redan i princip hela potentialen redan nåtts.

Åtgärden 2 har också potential att minska utsläppen. För år 2009 till 2014 är den bästa bedömningen att förbrukningen för extra- och dubblingsturer varit mellan 1 % och 2 % av den totala årsförbrukningen.

Om mängden av dessa turer skulle minimeras kanske det skulle gå att minska detta till 0,5 % till 1 %, d.v.s. en reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläppen och energiförbrukningen i samma storleksordning.

Åtgärden 3 är utanför omfattningen av denna utredning och berörs inte vidare.

### **3.4 Generellt om använda kostnader**

Använda investeringskostnader och driftkostnader har bedömt ansatts konservativt (d.v.s. lite högt) för att inte underskatta de totala kostnaderna och resultera i en glädjekalkyl. De har i samtliga fall när de gäller åtgärder på färjor (byte till ngn form av elektrisk hybriddrivlina) ansatts vara bedömd kostnad för ombyggnad: denna kostnad är sannolikt högre än för nybyggnad.

Det är också viktigt att förstå att de använda kostnaderna är uppskattningar eftersom de inte baseras på några egentliga offerter eller detaljerade kalkyler. De är ansatta utifrån vad extrakostnaden har beräknats till för att förse en nybyggd färja av Saturnus storleksklass med elektiskt hybridmaskineri istället för traditionellt dieselmekaniskt. Dessa kostnader har ökat för att motsvara de bedömda extrakostnaderna för ombyggnad istället för nybyggnad.

## 4 Är miljömålen realiserbara?

Detta kapitel försöker utreda tre olika strategier för hur miljömålen kan nås. För respektive strategi förs ett kortfattat resonemang och en beskrivning av bedömda investerings- och LCC-kostnader för dem beskrivs.

### 4.1 Förutsättningar

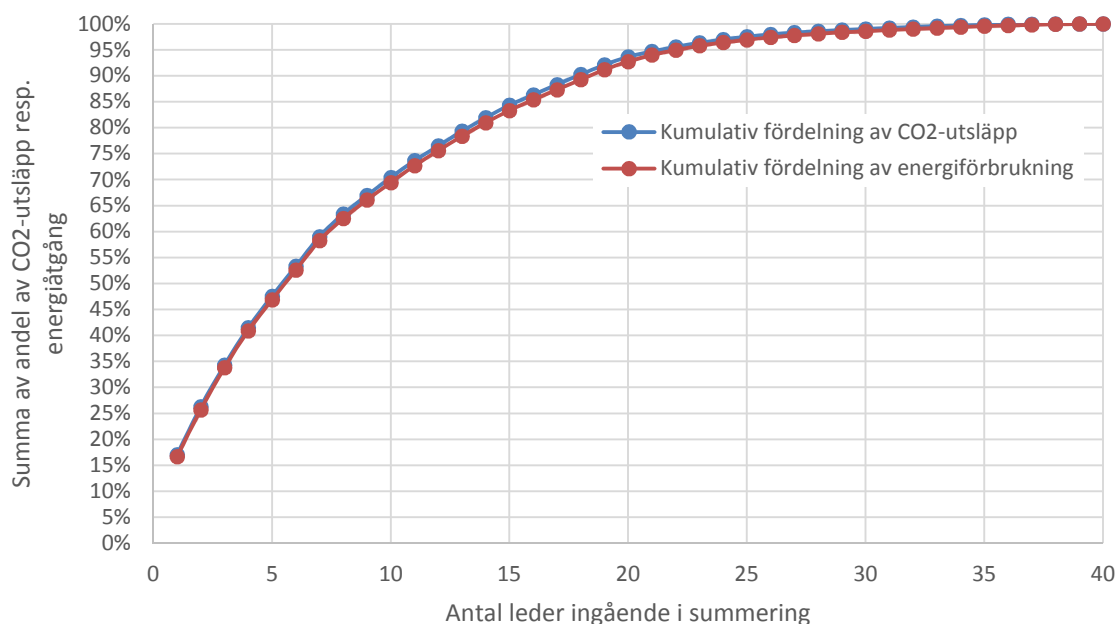
Det fanns år 2014 40 stycken aktiva leder med totalt 69 färjor – vissa av dessa är dock reservfärjor.

Under 2014 utfördes (beräknat) ett totalt transportarbete av 135 449 678 filmeter\*nautiska, för detta förbrukades det sammanlagt 12 289 690 liter drivmedel (diesel MK1). Sammanlagt förbrukades också 4 955 133 kWh el på lederna. Det mesta av den förbrukade elen har gått åt till uppvärmning av ledkontoren och belysningsinstallationer i färjelägena. Sammanlagt resulterade detta i en beräknad energiåtgång av 124 656 714 kWh och utsläpp av CO<sub>2</sub> med totalt 36 992 ton.

De leder som genererar mest CO<sub>2</sub>-utsläpp och har högst energiförbrukning är följande (antalet leder valda så att de sammanlagt har minst 50 % av den totala energiförbrukningen och CO<sub>2</sub>-utsläppen):

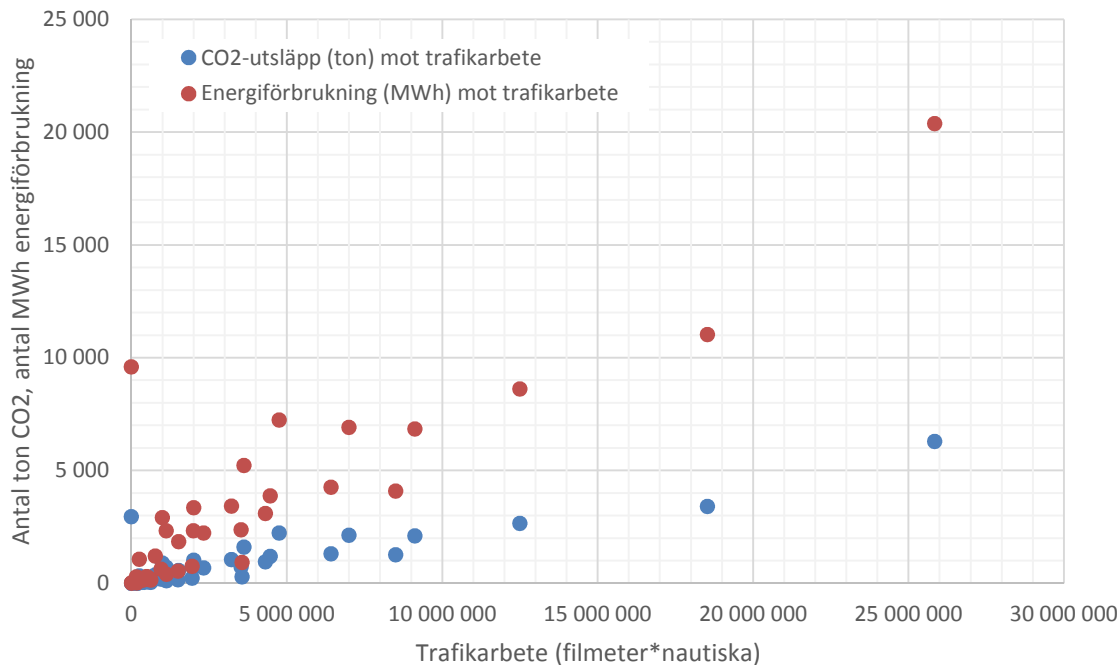
Färjeled	Andel av de totala utsläppen av CO <sub>2</sub>	Andel av den totala energiförbrukningen
Hönöleden	17,0 %	16,7 %
Gullmarsleden	9,2 %	9,0 %
Visingsö	8,0 %	8,1 %
Slagstaleden	7,2 %	7,1 %
Nordöleden	6,0 %	5,9 %
Ljusteröleden	5,8 %	5,7 %
<b>Summa:</b>	<b>53,3 %</b>	<b>52,6 %</b>

Den kumulativa fördelningen ser ut enligt nedanstående graf:

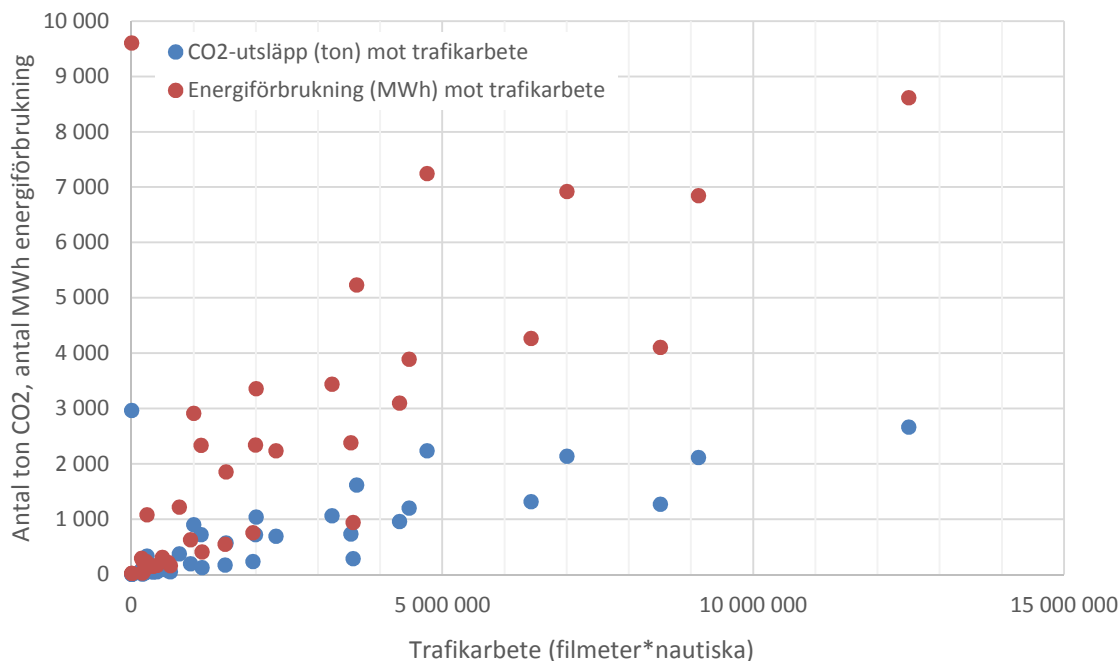


Av grafen syns tydligt hur stor andel av den totala miljöbelastningen de mest trafikerade och energikrävande lederna har. De 5 leder med störst miljöbelastning står för cirka 47 % av energiförbrukning och utsläpp, de 10 leder med störst miljöbelastning står för cirka 70 % etc.

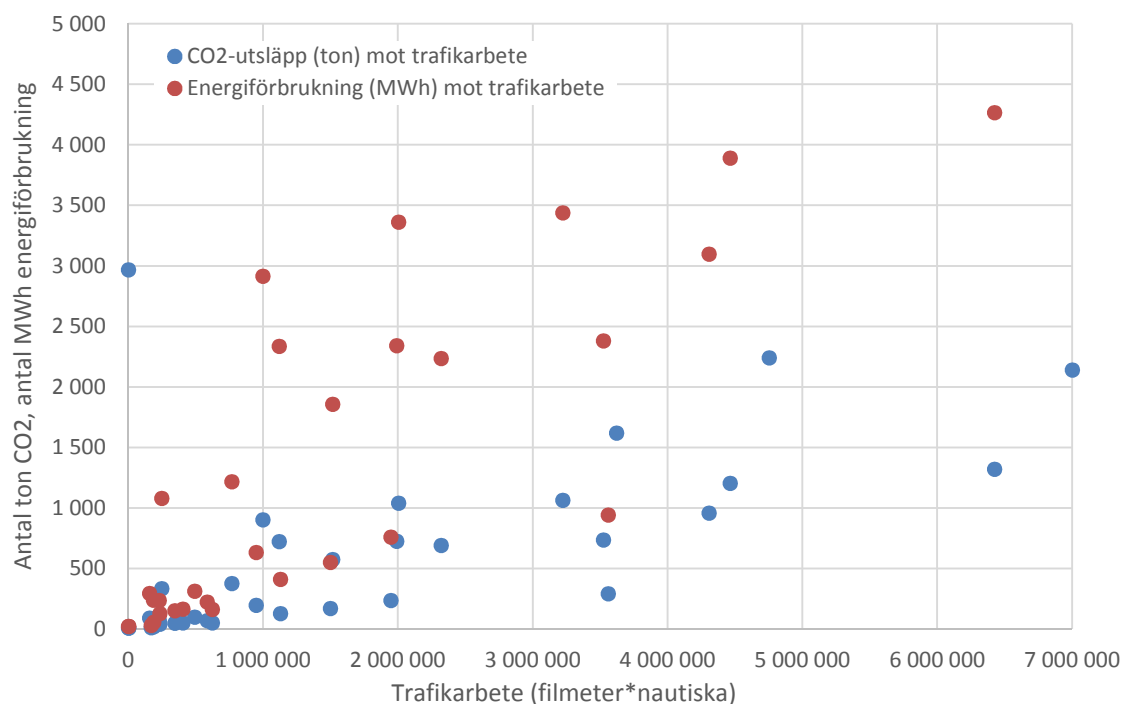
Nedan plottas ett antal diagram som beskriver fördelningen av energiförbrukning och CO<sub>2</sub>-utsläpp mot det beräknat utförda trafikarbetet för år 2014.



I följande graf "zoomas" data in på intervallet noll till 15 miljoner filmeter\*nautiska och noll till 10 000 ton resp. MWh.



I följande graf "zoomas" data in ytterligare på intervallet noll till 7 miljoner filmeter\*nautiska och noll till 5 000 ton resp. MWh.



Av ovanstående beskrivning fås en insikt att om de uppsatta miljömålen skall kunna nås bör åtgärder fokuseras på de fem till tio leder som har störst energiförbrukning och utsläpp av CO<sub>2</sub>.

## 4.2 De tre strategierna

De tre olika strategier som har använts är följande:

1. Enbart tekniska åtgärder, t.ex. övergång till lindragen färja, införande av automatförtöjningssystem etc. Börja med de leder som har störst energiförbrukning och sluta då besparing enligt miljömålen nåtts. Notera hur stor besparing i CO<sub>2</sub>-utsläpp och energiåtgång som erhålls och till vilken kostnad. Notera vad de dyraste åtgärderna kostat per sparad kg CO<sub>2</sub> och kWh energi. Utvärdera på perioden 15 år.
2. Enbart byte av bränsle – förslagsvis övergång till ca 30 % iblandning av HVO till nuvarande använd diesel MK1. Gör detta för så många leder att ungefär samma besparing görs i CO<sub>2</sub>-utsläpp och energiåtgång som för strategi. Notera och jämför hur stora kostnaderna blir för samma 15-årsperiod.
3. "Lite grand av varje": börja med tekniska åtgärder på de leder som har störst energiåtgång, men gör fler åtgärder per led. Sluta vid lägre erhållen kostnad per sparad kg CO<sub>2</sub> för de dyraste åtgärderna än för strategin 1. Sannolikt har nu inte miljömålen nåtts: om de har det till än lägre kostnad än strategin 1 är nu framtaget förslag den nya strategin 1. Om miljömålen inte nåtts så kompletteras de tekniska åtgärderna med bränslebyte tills miljömålen nåtts. Notera på samma sätt som för strategi 2 hur stora miljöbesparingarna och kostnaderna blir.

### 4.3 Strategi 1: rent tekniska åtgärder

För att nå koldioxidbesparingsmålet om 30 % (mellan 26,4 % och 33,6 %) behövs totalt 18 tekniska åtgärder. Dessa har en sammanlagd investeringskostnad av 665 MSEK, en beräknad LC-kostnad (över 15 år) på 868 till 1128 MSEK. Kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir mellan 4,66 och 7,69 SEK/kg. Dessutom sparas mellan 11 % och 20 % av energianvändningen till en kostnad av mellan 2,26 och 5,61 SEK/kWh.

För att nå koldioxidbesparingsmålet om 15 % (mellan 13,3 % och 18,6 %) behövs totalt 12 tekniska åtgärder. Dessa har en sammanlagd investeringskostnad av 265 MSEK, en beräknad LC-kostnad (över 15 år) på 239 till 328 MSEK. Kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir mellan 2,32 och 4,44 SEK/kg. Dessutom sparas mellan 6 % och 13 % av energianvändningen till en kostnad av mellan 0,97 och 2,74 SEK/kWh.

För att nå energibesparingsmålet på 10 % (mellan 8,8 % och 12,9 %) behövs totalt 11 tekniska åtgärder. Dessa har en sammanlagd investeringskostnad av 250 MSEK, en beräknad LC-kostnad (över 15 år) på 312 till 468 MSEK. Kostnaden per sparad kWh blir mellan 1,24 och 3,29 SEK/kg. Dessutom sparas mellan 15 % och 20 % av koldioxidutsläppen till en kostnad av mellan 2,83 och 5,51 SEK/kg.

För att nå både CO<sub>2</sub>-målet på -30 % och energimålet på -10 % krävs i princip samma åtgärder som enbart uppfyllanden av målet för CO<sub>2</sub> på -30 %.

För beskrivning av respektive strategi och utfall se separat ifyllda excelfiler.

### 4.4 Strategi 2: enbart bränslebyte

För att nå koldioxidbesparingsmålet om 30 % räcker det inte med 30 % iblandning av HVO med 1,15 kg/liter CO<sub>2</sub>-belastning. Minst 60 % behövs, alternativt 30 % av HVO med absolut lägst CO<sub>2</sub>-belastning, vilket är cirka 0,45 kg/liter. Eftersom det är något oklart hur prisbilden ser ut för de olika sorternas HVO används alternativet med samma CO<sub>2</sub>-belastning (1,15 kg/liter) men med 70 % iblandning. Med så hög iblandningsgrad räcker det om de 11 lederna med högst förbrukning byter till att ha bränsle med 70 % iblandning av HVO med CO<sub>2</sub>-belastning 1,15 kg/liter. LC-kostnaden för åtgärden beräknas till 545 MSEK över 15 år. Kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir i medeltal 3.17 SEK/kg. Ingen besparing görs avseende energianvändningen.

För att nå koldioxidbesparingsmålet om 15 % behöver de 16 leder som har störst förbrukning byta bränsle till 30 % iblandning av HVO med CO<sub>2</sub>-belastning 1,15 kg/liter (d.v.s. en "mellankvalitet" vad avser koldioxidbelastning). LC-kostnaden blir 271 MSEK och kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir 3,21 SEK/kg. Om motorbyten sker vid "ordinarie tillfälle" eller tillverkare ger godkännande för iblandningen av HVO för befintliga motorer (30 % är antagligen men inte säkert möjligt att blanda i) blir det ingen investeringskostnad alls och en beräknad LC-kostnad (över 15 år) av 284 MSEK. Kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir även här i medeltal 3.21 SEK/kg Ingen besparing görs avseende energianvändningen.

Målet på energibesparing går ej att nå med bränslebyte från diesel MK1 till annat bränsle som skall användas i förbränningsmotor.

## 4.5 Strategi 3: "lite grand av båda"

Strategin börja med samtliga tekniska åtgärder och bränslebytesåtgärder som ansatts i strategi 1 och 2. Sedan stryks successivt de dyraste åtgärderna så att de olika miljömålen successivt uppnås. Eftersom 30 % iblandning av HVO visade sig ge lite för lågt bidrag till CO<sub>2</sub>-reduktionen används istället 50 % iblandning för denna strategi.

För att nå koldioxidbesparingsmålet om 30 % (mellan 28,7 % och 31,4 %) behövs totalt 22 åtgärder – 8 av dessa är tekniska åtgärder och övriga 14 är bränslebyte till bränsle med 50 % iblandning av HVO med en koldioxidbelastning av 1,15 kg/liter. Åtgärderna har en sammanlagd investeringskostnad av 115 MSEK och en beräknad LC-kostnad över 15 år på mellan 421 och 482 MSEK. Kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir mellan 2,38 och 2,97 SEK/kg. Dessutom sparas mellan 4 % och 8 % av energianvändningen till en kostnad av mellan 2,70 och 6,14 SEK/kWh.

För att nå koldioxidbesparingsmålet om 15 % (mellan 14,2 % och 17,4 %) behövs totalt 10 åtgärder – 7 av dessa är tekniska åtgärder och övriga 3 är bränslebyte till bränsle med 50 % iblandning av HVO med en koldioxidbelastning av 1,15 kg/liter. Åtgärderna har en sammanlagd investeringskostnad av 65 MSEK och en beräknad LC-kostnad över 15 år på mellan 152 och 190 MSEK. Kostnaden per sparad kg CO<sub>2</sub> blir mellan 1,22 och 2,53 SEK/kg. Dessutom sparas mellan 4 % och 7 % av energianvändningen till en kostnad av mellan 1,22 och 2,53 SEK/kWh.

För att nå energibesparingsmålet på 10 % (mellan 7,0 % och 12,6 %) behövs totalt 10 åtgärder – samtliga av dessa är av teknisk natur (eftersom bränslebyte till HVO inte sparar energi). Dessa har en sammanlagd investeringskostnad av 240 MSEK, en beräknad LC-kostnad (över 15 år) på 302 till 455 MSEK. Kostnaden per sparad kWh blir mellan 1,29 och 3,46 SEK/kWh. Dessutom sparas mellan 14 % och 18 % av koldioxidutsläppen till en kostnad av mellan 2,93 och 5,74 SEK/kg.

Och till sist: för att nå både målet på 30 % CO<sub>2</sub>-reduktion (mellan 29 % och 32 %) och 10 % energireduktion (mellan 7,0 % och 12,6 %) behövs totalt 18 åtgärder – av dessa är 10 av teknisk natur (huvudsakligen för att upp till målet på 10 % energibesparing) och resterande 8 är inblandning till 50 % av HVO med CO<sub>2</sub>-belastning av 1,15 kg/liter. Dessa har en sammanlagd investeringskostnad av 240 MSEK och en beräknad LC-kostnad (över 15 år) på mellan 543 och 719 MSEK. Kostnaden per sparad kg koldioxid är mellan 3,05 och 4,46 SEK/kg, kostnaden per sparad kWh energi är mellan 2,31 och 5,46 SEK/kWh.

## 4.6 Åtgärder som sänker LC-kostnaden

Det finns också ett antal åtgärder som har potential att spara pengar över tid sett ur ett LC-perspektiv förutom att de ger effekt på miljömålen. Dessa åtgärder innefattar att antingen övergå till linfärja eller att på en befintlig linfärja övergå från att generera energin ombord med dieseldrivna generatoraggregat till att förse färjan med elkraft från landkabel. Det senare av dessa åtgärder har genomförts på två leder och är på väg att införas på en tredje.

Kalkylmässigt är det svårt att värdera hur stor kostnaden är för att byta till linfärja på en frigående led – men för åtgärden att övergå till landström är det enklare. Den framtagna beräkningsmodellen har använts på de leder som identifierats som potentiella att elektrifiera med landström: Kornhallsleden, Stegeborgsleden, Lyrleden, Ammeröleden och Högsäterleden. Av dessa verkar det som om LC-kostnaden blir positiv (d.v.s. man spar inga pengar) för Ammeröleden och Högsäterleden varför dessa inte tagits med i sammanställningen nedan. För de övriga tre lederna är bedömningen att investeringskostnaden är 5 MSEK, men att LC-kostnaden över 15 år är mellan -2,4 och -3,0 MSEK (d.v.s. en besparing).

Dessa fyra åtgärder sparar bedömt mellan 5 180 och 5 375 ton CO<sub>2</sub> under 15-årsperioden (mellan 345 och 358 ton/år) till en vinst av mellan 0,45 och 0,58 SEK/kg sparad CO<sub>2</sub>. Åtgärderna sparar bedömt cirka 0,3 % energianvändning till en vinst av mellan 0,40 och 0,58 SEK/kWh.

## 4.7 Sammanställning av resultat

Strategi	Kostnader för att uppnå 30 % red. CO <sub>2</sub> och 10 % red. energianv. (MSEK)		Kostnad per sparad kg CO <sub>2</sub>	Redukt. energi-användn	Kostnad per sparad kWh
	Investeringskostnad	LC-kostnad			
1	665	868-1128	4,66-7,69	11 – 20 %	2,26
2	0	545	3,17	Ingen red.	Ingen besparing
3	240	543-719	3,05-4,46	7- 12,6 %	2,31-5,46

Notera att strategi 2 inte klarar att spara 10 % av energianvändningen.

Strategi	Kostnader för att uppnå 15 % red. CO <sub>2</sub> (MSEK)		Kostnad per sparad kg CO <sub>2</sub>	Redukt. energi-användn.	Kostnad per sparad kWh
	Investeringskostnad	LC-kostnad			
1	265	239-328	2,32-4,44	6 – 13 %	0,97-2,74
2	0	271	3,21	0	Ingen besparing
3	65	152-190	1,22-2,53	4 – 7%	1,22-2,53

Notera att strategi 2 och 3 inte klarar att spara 10 % av energianvändningen med de föreslagna åtgärderna.

## 5 Resultat av åtgärder – realiserbarhet av miljömålen

Den kalkyl som genomförts visar på att miljömålen kan uppnås.

Bästa kostnadseffektivitet fås genom en kombination av tekniska åtgärder och byte av bränsle till ett med lägre koldioxidbelastning (d.v.s. strategi 3).

Den bästa bedömningen är att kostnaden för att uppnå både målet på 30 % reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläppen och 10 % reduktion av energiförbrukningen kommer att kräva cirka 18 åtgärder varav 10 tekniska och 8 avseende bränslebyte. Livscykelkostnaden för detta beräknas till mellan 543 och 719 MSEK för en period av 15 år, medan investeringskostnaden beräknas till cirka 240 MSEK.

Den genomsnittliga kostnaden per sparat kg koldioxid beräknas vara mellan 3,05 och 4,46 SEK/kg. Kostnaden per sparad kWh beräknas vara mellan 2,31 och 5,46 SEK/kWh.

### 5.1 Bästa bedömda fördelning av kostnader över tid

Av de tekniska åtgärderna (totalt 10 stycken) innebär 7 stycken införande av automatförtöjningssystem på leder för totalt 13 stycken färjelägen. Resterande 3 tekniska åtgärder är införande av hybriddrift för totalt 4 stycken färjeindivider.

Detta innebär att det för åtgärdernas införande finns cirka åtta år tillgängliga (här anses att år 2016 åtgår till planering och framtagande av upphandlingsunderlag för de första åtgärderna och att åtgärderna skall vara klara då år 2025 infaller). I princip innebär det att ett fartyg per två år behöver byggas om eller nyanskaffas och att 1 led per år behöver ges automatförtöjningssystem. Detta borde vara möjligt att hinna med under förutsättning att arbetet påbörjas under år 2016.

Kostnaderna skulle bli cirka 10 MSEK per led för införande av automatförtöjningssystem och mellan 40 och 50 MSEK per fartyg som skall byggas om till hybriddrift. Ett antagande kunde därmed vara att den största investeringskostnad som uppstår per kalenderår är mellan 50 och 60 MSEK, eller om man kan malla in åtgärderna så att inte betalning för automatförtöjning och ombyggnad till hybriddrift sker samma år mellan just 40 och 50 MSEK.