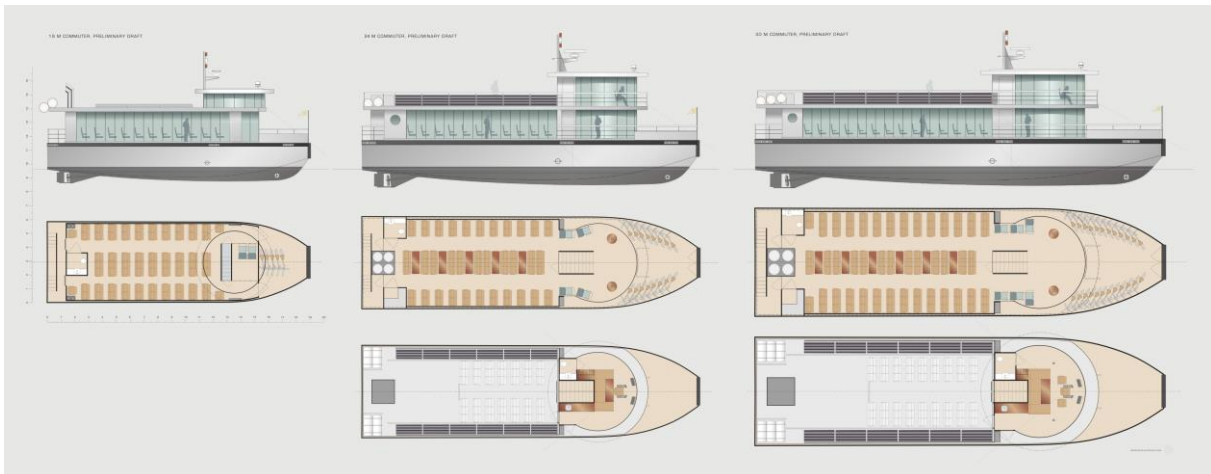


Emission Free Waterways

Genomförbarhetsstudie



Författare:

Roland Elander, Sustainable Innovation

Martin Borgh, SSPA

Andreas Westergren, Eurofeeder Shipping

John Holm, Eurofeeder Shipping

Christer Asplund, Place Invest

Utgiven juni 2016 av Sustainable Innovation i Sverige AB

www.sust.se

Innehåll

1	Sammanfattning	4
2	Summary	6
3	Bakgrund	8
4	Kort om projektet, syfte och mål	8
4.1	Syfte och mål.....	8
5	Genomförande	9
5.1	Ingående parter, deras roller och ansvarsområdets	9
5.2	Översiktlig projektplan	10
5.3	Utmaningar under projektet	10
5.4	Samverkan med intressenter och andra projekt	11
5.5	Genomförande	13
6	Resultat, erfarenheter och reflektioner	14
6.1	Plattform (Fas1).....	14
6.2	Drivlina (Fas 2).....	17
6.3	Flytande hållplatser (Fas 3)	20
6.4	bränsleinfrastruktur (fas 3)	22
6.5	Verifiering av koncept (Fas 4).....	26
6.6	Verifiering av investeringsnivåer och driftskostnader (fas 5)	27
6.7	Affärspotential	28
6.8	Analys och rekommendation	30

Länkar

- Pendelbåtsutredningen Stockholms Läns Landsting:

<http://www.sll.se/Global/Politik/Politiska-organ/Trafiknamnden/2016/31%20maj%202016/p6-SL-2014-2746-Bilagor-Utredning-pendelbatstonnage18.pdf>

- Budget- och investeringsbeslut Stockholms Läns Landsting:

<http://www.sll.se/Global/Politik/Politiska-organ/Trafiknamnden/2016/31%20maj%202016/Protokoll-4-TN-2016-05-31.pdf>

.....

1 SAMMANFATTNING

Studien utreder möjligheterna för en omställning till en fossilfri sjöfart. Utgångspunkten är att nya fartyg förses med nya fossilfria drivlinor för att nå klimatmålen 2030 samt en kortsiktig vision om fossilfri sjöfart i närtid. Valet av energi till fartygen har valts ur perspektiven hållbarhet, kostnad och kretslopp (cirkulär ekonomi) samt energieffektivitet.

Städer såsom Stockholm och Göteborg har satsat stort på biogas från avfall med produktionsöverskott som följd samtidigt som volymerna biogas inom vägtrafiken kan minska pga el och även vätgas. Genom att ersätta fossilt bränsle med biogas inom sjöfarten finns möjligheten till god avsättning av ett cirkulärt, hållbart och närproducerat bränsle som ger låga emissioner. Samtidigt distribueras biogasen i befintligt industrigasnät i städerna.

Den drivlina som Emission Free Waterways baseras på är en hybrid av biogas och el. Detta för att klara den driftprofil som linjetrafik kräver. Hybriddrift möjliggör även optimering av komponenter för bästa totalverkningsgrad samt rimliga investeringar i batterier. Framdriften är helelektrisk och kraftgenereringen sker med biogas och el. Biogasen kan omvandlas till el i en gasgenerator eller i en bränslecell.

Bränsleceller erbjuder ett tekniksprång som kan ske i steg och som i hybriddrift innebär en genomsnittlig verkningsgrad kring 52 % från bränsle ombord till framdrift och fartygets hela energibehov. Målet är att direkt förse en bränslecell med biogas, vilket även innebär en hög total verkningsgrad. Idag finns bränsleceller med hög verkningsgrad (60-80%) av högtemperaturtyp. Exempel finns på högre effekter i stationära applikationer, dock har flertalet idag lägre effekt och inte fullgod driftsäkerhet. Högtemperaturbränsleceller visar en potential och målsättning för energieffektiv och fossilfri sjöfart.

Biogas kan omvandlas till vätgas för att driva bränslecellen, vilket innebär en energiförlust samtidigt som bränslecellerna är av lågtemperaturtyp vilket innebär en något lägre verkningsgrad. Lägre total verkningsgrad och därmed högt driftnetto innebär att detta alternativ inte är realistiskt.

Att idag bygga drivlina med gasgenerator, som i senare skede kan bytas till en bränslecell, innebär att känd teknik används i samtliga komponenter med god verkningsgrad och en fossilfri lösning.

Även totala verkningsgraden från produktion av biogas till ombordverkningsgrad kan bli mycket hög genom att distributionen av biogas ske genom befintliga industrigasnät både i Stockholm och Göteborg till kaj för trycksättning och laddning vid hemmahamn.

Snabbladdning vid hållplatser under linjetrafik ger ett ytterst marginellt bidrag till hög kostnad, varför detta alternativ undantagits i tabellen. Förutsättningar har under analysen varit 5 min laddtid med upp till 600 kW. Laddning sker därför under natt i hemmahamn samt under drift genom hybridsystemet samt möjligen vid ändhållplatserna.

Investering i två stycken fartyg anpassande för modern linjetrafik är ca 76 MSEK, vilket motsvarar en merkostnad på ca 20 % för biogaselhybrid-drivlina jämfört med fossil drivlina. Under möten med huvudmän samt möjligheter för forskning och demonstrationer genom att välja denna drivlina finns möjligheter att denna merkostnad kan täckas av kommersiella intressenter och offentligt finansierade FoU-projekt. Detta innebär även en betydande demonstrationsplattform och skyltfönster för staden samt en svensk industriell potential.

Driftnettot blir i praktiken kostnadsneutralt jämfört med dieseldrift, även med dagens låga dieselpriser och skatt på el för sjöfart. Högre energieffektivitet och lägre underhållskostnader kompenserar för de högre bränslekostnaderna.

Vidare är kostnaden för emissioner enligt ASEK 6.0 hela 85 % av bränslekostnaden för den dieselmekaniska referensen. Enbart för Sjövägen som idag drivs helelektriskt blir denna effekt 4,5 MSEK/år.

Den stora utmaningen är inte tekniken och bedöms inte heller vara kostnaderna, utan samordning kring att ställa om tonnaget i närtid. Under bilaterala möten med kommunerna Lidingö och Nacka samt Stockholms Läns Landsting och Västra Götalandsregionen har vi fått tydliga svar att vattenvägarna är prioriterade och att fartygen samtidigt ska drivas hållbart. Scandinavian Biogas och Göteborg Energi visar starkt intresse för avsättning av biogas till fartyg. Vattenfall och Göteborg Energi ser laddning av fartyg som en motsvarande affär som laddning av tex bussar idag som kan levereras med befintlig teknik utan tekniska utmaningar.

Aktuellt är SLL:s budget för 2017 och plan för 2017-2018 samt investeringsbudget är upphandling av fem plus två nya fartyg för linjetrafik i Stockholm omfattas. Inom denna upphandling och med stöd av inriktningen ges möjligheten att presentera ett anbud för fossilfri sjöfart.

2 SUMMARY

The study investigates the possibilities of a divestment of fossil fuels for seaborne traffic. The objective is to fit all new vessels with new fossil-free drive mechanisms to achieve the 2030 climate targets, and the short-term vision of divesting shipping from fossil fuels. The choice of energy for vessels has been made from the perspective of sustainability, cost, the circular economy and energy efficiency.

Cities such as Stockholm and Gothenburg have invested heavily in biogas from waste, resulting in an overproduction. At the same time, volumes of biogas in road traffic are likely to decrease with the increased use of electricity and also hydrogen. By replacing fossil fuels with biogas on ships, the possibility of a huge demand is created for a circular, sustainable and locally produced fuel with low emissions. Biogas would be distributed in the existing industrial gas network in cities.

Current drive mechanisms used on Emission Free Waterways are based on a hybrid of biogas and electricity, in order to fulfil operating demands required by regular service. Hybrid drive also enables the optimization of the components for the best overall efficiency and reasonable investment in batteries. Until operation is fully electric, power generation is done with biogas and electricity. Biogas can be converted to electricity in a gas generator or a fuel cell.

Fuel cells offer a technological leap in stages and, as in hybrid drive results, an average efficiency of around 52% of on board fuel for propulsion and ship's entire energy needs. The goal is to supply a fuel cell with biogas direct, which also means a high overall efficiency. There are currently fuel cells with high efficiency (60-80%) of the high temperature type. There are examples in stationary applications in operations today, but most high temperature fuel cells are in low power range and are not completely reliable, but they demonstrate a potential and a desire for an energy efficient and carbon-free Maritime.

Biogas can also be converted into hydrogen to operate the fuel cell which results in energy loss, and fuel cells are low-temperature meaning a slightly lower efficiency. Total efficiency ends up lower and net operating cost makes this alternative unrealistic.

To build power mechanisms today with gas generators, which can later be exchanged for fuel cells, implies that known technology be used in all components with good efficiency and a fossil free solution in the near future. Even overall production efficiency of biogas for on-board efficiency can be very high as biogas distribution can take place using the existing quayside industrial gas network in both Stockholm and Gothenburg for pressurizing and charging at the home port.

Fast charging at boat stops during regular service gives only a marginal effect to high costs, so this option is excluded in the table. Conditions during the analysis assumed a 5 minutes charging time at up to 600 kW. Charging occurs during the night in home ports and during operation through the hybrid system and possibly at the final boat stop.

Investment required for the adaptation of two ships for modern line traffic is approximately 76 million, equal to an additional cost of approximately 20% for biogas electric hybrid power mechanisms compared to carbon power mechanisms. Meetings with key stakeholders and opportunities for research and demonstration by choosing this power solution have identified the possibility that additional costs could be covered by commercial interests and publicly funded R & D. This represents a significant demonstration platform and showcase for the city and offers a Swedish industrial potential.

Net operating income is practically cost-neutral compared to diesel operation, even with today's low gas prices and tax on electricity for shipping. Higher energy efficiency and lower maintenance costs offset the higher fuel costs.

According to ASEK 6.0, the cost of emissions is a full 85% of the fuel cost of the diesel mechanical reference. The effect for Sjövägen alone, which today is run entirely on electricity, is 4.5 million SEK/ year.

The big challenge is not the technology, neither is it really the cost, but the coordination of changes to tonnage in the short-term. During the bilateral meetings with the municipalities of Lidingö, Nacka and Stockholm County Council and West Götaland, clear responses were received that waterways were a priority and that sustainability was key to shipping operations. Scandinavian Biogas and Göteborg Energi have expressed a strong interest to provide biogas for shipping. Vattenfall and Göteborg Energi regard the charging of ships as a similar business to the charging of, for example, buses and can be delivered with existing technology without many technical challenges.

That which is current just now is SCC's budget for 2017 and plan for 2017 to 2018 and the investment budget for the procurement of five plus two new ships scheduled in Stockholm. Within this purchase procedure and with the support of this initiative, an opportunity to tender for fossil free maritime presents itself.

3 BAKGRUND

Sjöfarten utgör en betydande potential i det urbana transportarbetet till låg kostnad jämfört med alternativen på land. Ett fraktfartyg i närsjöfart tar lika mycket last som 100 st. lastbilar och en pendelbåt tar lika många passagerare som 4-6 st. bussar. Möjligheterna för kapacitetsökning i sjöfarten är mycket stor med avseende på pendelbåtstrafik och närsjöfart med lasttransporter.

Om denna potential realiseras innebär detta en avlastning av andra flaskhalsar i transportsystemet. Dagens problem är att fartygens drivlinor är ineffektiva och drivs med fossilt bränsle, vilket skapar utsläpp i känslig marin miljö samt global CO₂ påverkan. Vidare innebär tillgång till bra kajplatser i storstäder en utmaning. Genom konceptet med flytande hållplatser krävs minimal yta, ökad skalbarhet och god flexibilitet till rimliga kostnader. Vidare kan detta innebära förbättrande förutsättningar och mervärden för strandnära nybyggnationer genom att förse dessa områden med sjöburen kollektivtrafik.

Sjöfarten har en betydande potential för energieffektivisering och fossilfrihet genom tekniksprång och nya bränslen, såsom biogas och el. Traditionellt har sjöfarten utnyttjat teknik och komponenter från fordonsindustrin där bland annat elhybrid drivlinor introducerats. Biogas används inom fordonssektorn och är ett närproducerat bränsle med ökande tillgång och god leveransinfrastruktur genom städernas befintliga industriella gasnät.

4 KORT OM PROJEKTET, SYFTE OCH MÅL

Projektet Emission Free Waterways startades i december 2015 i samverkan mellan Sustainable Innovation, Eurofeeder, Vattenfall, Scandinavian Biogas, Stockholms Hamnar, Stockholms Stad, El- och Marinteknik, SSPA Göteborg och Lindholmen Sciencepark. Efter ansökan från Sustainable Innovation beviljade Energimyndigheten den 23 november 2015 ett bidrag med 48 procent av stödberättigade kostnader upp till maximalt 755 000 kr.

4.1 SYFTE OCH MÅL

Projektets övergripande mål var att denna genomförbarhetsstudie skulle verifiera teknisk och ekonomisk relevans, energieffektivisering samt miljönytta som finns vid en förändring av de urbana transporterna, och därmed utgör ett komplett investeringsunderlag.

Projektets delmål är följande:

- Ta fram ett robust beslutsunderlag inför investering där teknisk utredning, upphandling av komponenter, utrustning och fartyg omfattas.
- Ta fram specifikation avseende flytande hållplatser samt bränsleförsörjning. Dessa ska verifieras tekniskt och finansiellt genom att offerter tas in baserade på operativ kravspecifikation.

- Redovisa drifts- och marknadsförutsättningar genom jämförande driftsnetto relativt traditionell fossil drivlina avseende bränslekostnader och drifts/underhållskostnader redovisat som nyckeltal.
- Analys av tekniska möjligheter och risker samt genomföra en konsekvensanalys.
- Utveckla nyckeltal för transporter med projektets fartyg jämfört med fartyg med traditionell fossil drivlina gällande energieffektivisering och utsläpp.
 - Nyckeltal: kWh/tonkm, CO₂ ekv/tonkm
 - Bedömningar av reduktion av buller och dess påverkan.
 - Bedömning av den avlastning av vägtransporter och dess påverkan på staden som ett nytt energieffektivt transportsystem kan ha.
- Bedömning av marknads möjligheter till expansion nationellt och internationellt.
- Bedömning av svensk industriell potential.

5 GENOMFÖRANDE

5.1 INGÅENDE PARTER, DERAS ROLLER OCH ANSVARSOMRÅDENS

Projektkonsortiet har bestått av:

- **Sustainable Innovation** – Ansvarat för övergripande projektledning, Fas 3: *Bränsleinfrastruktur och flytande hållplatser*, kommunikation och spridning av resultat samt rapportering till Energimyndigheten.
- **Eurofeeder** – Ansvarat för Fas 1: *Val av plattform (fartyg)*, Fas 2: *Komponentval drivlina* samt Fas 5: *Verifiering av investeringsnivåer och driftskostnader*, samt varit rederi, kravställare och upphandlande part av fartyg.
- **SSPA** – Har bidragit med marinteknisk forskningskompetens om beräkningar av energiförbrukning, resulterande emissioner, energikostnader och systemverkningsgrader. De har ansvarat för Fas 4: *Verifiering av koncept* och Fas 6: *Analys och rekommendation*.
- **Scandinavian biogas** – Har bidragit med kompetens inom lösningar för försörjning och tankning av biogas.
- **Vattenfall** – Har kompetens inom snabbbladdningsteknik, elinfrastruktur och automatiserad laddning.
- **Stockholms Hamnar** – Bedömning av genomförbarhet och ansvarsfrågor gällande hållplatser, hemmahamnar samt dessas möjligheter gällande energiförsörjning.
- **El- och Marinteknik** – Har elteknisk kompetens, genererat el-linjescheman samt byggt en testmodell för hybridlösningen och provkört denna.

- **Place Invest** – har varit delaktig i kontakter med kommuner och kommersiella intressenter samt i utredning och analys gällande industriell potential nationellt och internationellt.
- **Stockholms stad** – Medverkan i Referensgrupp. Samordning med övriga initiativ, planering och strategier inom staden.
- **Lindholmen Science Park** – Medverkan i Referensgrupp. I Göteborg har möten skett med VGR, Styröbolaget, Business Region Göteborg, Göteborg Stad, Göteborg Energi samt Lighthouse.

5.2 ÖVERSIKTLIG PROJEKTPLAN

Projekttiden var 2015-11-01 – 2016-06-30. Energimyndigheten beslutade 2015-11-23 att bevilja projektet sökt bidrag med 48 % av kostnaderna upp till maximalt 755 000 kr.

5.3 UTMANINGAR UNDER PROJEKTET

Trots en bred samsyn och gemensamma intentioner har projektet upplevt att samverkansarbetet är omfattande för genomförbarheten. Antalet huvudmän är i fallet Stockholm är omfattande där de viktigaste är kommunerna och staden, Stockholms Hamnar, Stockholms Läns Landsting (politiker och tjänstemän), Scandinavian Biogas samt distribution av biogas i industrigasnätet samt elinfrastruktur, drift och underhåll. Projektet har nått resultat gällande intentioner och ansvar samt även i vissa fall uttalanden från parter om ekonomiskt stöd till projektet. Detta har dock uppnåtts med omfattande arbetsinsatser. Utmaningen är betydande gällande olika huvudmäns ansvarsavgränsningar, roller och prioriteringar även fortsättningsvis varför till exempel en samordnare inför anbud av fossilfri sjöfart kan vara en möjlig lösning.

Vidare är upphandlingsförfarandet avgörande där tidigare upphandlingar inom Stockholm Läns Landsting inneburit att miljöalternativ och nykonstruktion av fartyg och/eller drivlinor varit omöjliga. Under projektets gång har budget fastställts omfattande investering i fem fartyg i linjetrafik samt två. Här finns hänsyn till miljömål, men även oklarheter hur dessa värderas i upphandlingen samt hur infrastruktur för hur miljöbränsleförsörjning såsom el och biogas kan lösas. Projektet erbjuder konkreta förslag på ett fossilfritt alternativ vilket kommer att framföras till Landstinget.

5.4 SAMVERKAN MED INTRESSENTER OCH ANDRA PROJEKT

Samverkan har skett med intressenter såsom myndigheter och kommuner samt med andra utvecklings- och demonstrationsprojekt.

5.4.1 LANDSTINGET I STOCKHOLMS LÄN SAMT VÄSTRA GÖTALANDSREGIONEN

Möten har skett med både politiker och tjänstemän inom Stockholms läns landsting samt med tjänstemän inom VGR för att informera och diskutera förutsättningar för att introducera konceptet som demonstrationslinje i syfte att bedriva tekniska tester samt utvärdera drift- och underhållsaspekter.

Resultat från denna samverkan är en avsikt uttalad vid möte med landstinget att delta i demonstrationsprojekt, dock utan finansiellt åtagande. Ett gemensamt seminarium sker också under politikerveckan i Almedalen med en panel omfattande Karin Svensson Smith Trafikutskottet, Gustav Hemming (C) Stockholms läns landsting, Michael Olausson Scandinavian Biogas, Johan Castwall VD Stockholms Hamnar, David Hellström Göteborg Energi, Andreas Westergren Eurofeeder AB och Ola Alterå VD Sustainable Innovation som moderator.

Ur Stockholms läns Landstings Mål och Budget för 2017, investeringsbudget för 2017 samt inriktning för 2017-18:

”Under 2017 påbörjas en strategisk utredning i syfte att se över om, hur och var en utbyggnad av nya pendelbåtlinjer kan ske på ett hållbart och effektivt sätt, med hög resenärnyttan och god samhällsekonomisk lönsamhet. Utifrån målen ovan bör utredningen även titta på fördelar respektive nackdelar med att bedriva pendelbåtstrafik med snabbgående fartyg. Stockholm ligger strategiskt invid både Mälaren och Saltsjön. Därför eftersträvas en pendelbåtstrafik som avlastar landtrafiken utan motsvarande behov av investeringar och som förkortar restiderna i länet.

Tillsammans med berörda kommuner och fastighetsägare bör utredningen också titta på om och i så fall hur pendelbåtstrafiken och dess brygglösningar kan standardiseras, effektiviseras och göras mer kostnadseffektiv. Som ett komplement till den strategiska utredningen om tonnage bör utredningen också redovisa kostnader för ett alternativ med en elektrifiering av en eventuell framtida pendelbåtsflotta. I uppdraget ligger även att presentera förslag på hur samfinansiering med fastighetsägare eller andra intressenter kan genomföras, till exempel genom värdestegringar eller andra externa samhällsekonomiska vinster.

Landstinget ska ha en öppen och välkomnande attityd till att fler kollektivtrafikoperatörer vill verka i Stockholms län. Landstinget ska också ha en välkomnande attityd till innovation samt nya och samhällsekonomiskt effektiva kollektivtrafiklösningar. Dessa måste självfallet prövas på samma villkor som andra lösningar och jämföras med dem enligt gängse principer.”

VGR har informerats om projektet och visar intresse för konceptet. Diskussioner pågår om fördjupad studie av möjligheterna i Göteborg i samverkan med Göteborg Energi.

5.4.2 KOMMUNERNA NACKA OCH LIDINGÖ SAMT STOCKHOLM STAD

Bilaterala möten har skett med politiker och tjänstemän både med Stockholm Stad, Nacka och Lidingö Kommun. Av dessa har svar erhållits att vattenvägarna är prioriterade och att fartygen samtidigt ska drivas hållbart. Kommunerna visar intresse för att investera i flytande hållplatser.

5.4.3 RIKSDAGENS TRAFIKUTSKOTT

Möten har skett med Trafikutskottets ordförande Karin Svensson Smith som resulterat i samrodnad förankring för projektet samt medverkan i seminarium under politikerveckan i Almedalen.

5.4.4 TRANSPORTSTYRELSEN

Nybyggnadsmöte med Transportstyrelsen har skett för verifiering av fartygskonceptet mot svenskt regelverk. Resultat från mötet är att konceptet uppfyller svenska regelverk för passagerarfartyg inom E-område (inre vattenvägar) samt för gas- och batteridrift.

5.4.5 DEMONSTRATIONSFARTYGET SJÖVÄGEN OCH MOVITZ PRIVAT LINJE

Goda exempel på ny teknik utan lokala utsläpp med fullelektrisk drivlina. Dessa går idag i linjetrafik och fungerar väl i de aktuella linjerna som består av kort aktionsradie och låg fart. Dessa exempel visar också att den föreslagna rutten för EFW kräver ytterligare energi förutom batterieldrift, tex biogas, för att klara drifttid och fart som motsvarar dagens krav och befintliga dieseldriva fartygs prestanda. En potential finns i gemensam teknisk lösning för laddinfrastruktur mellan dessa projekt och EFW.

5.4.6 BB GREEN OCH ENCHANDIA MARINE

Echandia Marine är specialiserade på elektriska drivsystem med s.k. podar för fartyg, ett system som bygger på permanentmagnetiserade motorer. De är en produktutvecklare och systemintegratör inom elektrifierad sjöfart. De har sin teknik installerad i fartyget Movitz som går i reguljärtrafik i Stockholm. I Stockholm lanserade Echandia Marine med stöd av Energimyndigheten det första superladdade elfartyget i samarbete med Green City Ferries. Idag driver Green City Ferries två eldrivna demofartyg, E/S Movitz och BB Green.

BB Green är ett demofartyg som tagits fram i ett forskningsprojekt delfinansierat av EUs 7:e ramprogram. BB Green är en så kallad Air Supported Vessel (ASV) vilket innebär att fartyget körs på en luftkudde. Luften hålls i en hålighet i skrovet under fartyget och en fläkt håller upp trycket. Luftkudden gör att fartyget lyfter från vattenytan och minskar både skrovfriktion och vågbildning. Därmed minskar energibehovet med upp till 40 % vid en hastighet av 30 knop. Med lågt vågbildningsmotstånd skapas väldigt lite svallvågor vilket i sin tur också bidrar till hög energieffektivitet för fartygstypen. Det låga motståndet i vattnet möjliggör användandet av elektriska drivlinor för vissa tillämpningar, tex kan fartygstypen användas i tätorter vid kustsamhällen för arbetspendling vid sträckor på upp till 12 NM avstånd (ca 22 km). Genom användning av superladdning i vändlägena på fartygsrutten möjliggörs att köra enbart på batterier även i höga farter vilket inte är möjligt med konventionell skrovt teknik. Flera möten har genomförts för att se om det finns möjligheter till samarbete.

5.4.7 WATERWAY 365 OCH VATTENBUSSEN

Vattenbussen är ett avslutat projekt delfinansierat av Energimyndigheten som utvecklats till ett nätverk i samverkan med KTH och forskningsplattformen Waterways 365. Intentionen är att plattformen utgör forskningspartner för Emission Free Waterways demonstrationsprojekt.

Slutrapporten från Vattenbussen bekräftar att sjövägarna har stor potential samt att direkt närhet till kollektivtrafikens bytespunkter och resecentra är avgörande.

5.5 GENOMFÖRANDE

Projektet har genomförts i 6 faser som kortfattat beskrivs nedan.

5.5.1 FAS 1: VAL AV PLATTFORM (FARTYG)

Fasen omfattade kravställning, teknisk specifikation och upphandlingsunderlag av fartyg för linjetrafik och godstransport.

5.5.2 FAS 2: KOMPONENTVAL DRIVLINA

Ta fram systemdesign, tekniska specifikationer och komponentval samt upphandlingsunderlag för dessa.

5.5.3 FAS 3: BRÄNSLEINFRASTRUKTUR OCH FLYTANDE HÅLLPLATSER

Funktionell specifikation för flytande hållplatser omfattande lösning som motsvarar stadens och Stockholms Hamnars krav, automatiserad lösning för bränsleförsörjning (biogas samt snabbbladdning av el).

5.5.4 FAS 4: VERIFIERING AV KONCEPT

Analys av teknisk genomförbarhet, kritiska komponenter samt klassnings- och myndighetskrav, internationella omvärldsjämförelser.

5.5.5 FAS 5: VERIFIERING AV INVESTERINGSNIVÅER OCH DRIFTSKOSTNADER

Genom att projektet begärt in offerter för att verifiera kostnadsnivåer för investeringar samt driftkostnader. Omfattar helheten med fartyg, komponenter, flytande hållplatser med bränsleförsörjning samt drift.

5.5.6 FAS 6: ANALYS OCH REKOMMENDATION

Studiens resultat omfattade analys av finansiella förutsättningar för investering och driftsnetto relativt dagens drivlinor, nyckeltal för energieffektivisering och utsläpp samt buller.

6 RESULTAT, ERFARENHETER OCH REFLEKTIONER

6.1 PLATTFORM (FAS1)

6.1.1 VAL AV PLATTFORM

Enligt tidigare praxis så har utgångspunkten varit ett existerande fartyg som utgångspunkt samtidigt som en initial rimlighetsbedömning har gjorts om den existerande plattformen kan akkommodera den nya och förbättrade funktionalitet som man vill skapa.

Den existerande plattformen är "Älvsnabben 5" i Göteborg och anledningarna är följande:

1. Fartyget har rätt storlek för att kunna ta ca 250 passagerare och ett antal cyklar.
2. Man vet fartprestanda och vilken effekt man har på huvudmaskineriet.
3. Dimensioner, vikter och tyngdpunktsläget kommer inte att förändras nämnvärt
4. De funktioner som är inbyggda idag har visat sig vara framgångsrika under 20 år.
5. Fartyget är godkänt för kommersiell passagerartrafik av myndighet idag.
6. Fartyget bedöms initialt kunna bära system och komponenter för en biohybrid-drivlina.

Följande huvudkrav ställdes

- Två mans besättning
- 250 passagerare
- 20 cyklar
- ca 30 m längd
- 12 knops fart fullastat i isränna
- Samtidig av- och på-stigning med hög säkerhet
- Uppfyller klasskrav och myndighetskrav
- Bra logistik för passagerare ombord inklusive lösningar för handikappade och barnvagnar
- Höga komfortkrav för passagerare och besättning
- Fartyg så lättdrivet som möjligt
- Bra sikt från styrplats
- Skrovform för åretruntbruk inklusive förmåga att gå i isränna
- Låg svallbildning och liten erosionspåverkan (erodering av botten och stränder)
- Välisolerat från värme, kyla och buller
- Miljövänliga och återvinningsbara material
- Energieffektiva och energisnåla system
- Hög grad av övervakning, kontroll och automation
- Smarta system och bra ergonomi för funktioner gällande drift, service och underhåll
- Låga externa bullernivåer

Kommentarer till huvudkrav

Kravet på året runt bruk och förmåga att bedriva trafik i isränna och under "Vinter- och isförhållanden" ger ett enskrovsfartyg.

Kravet på ett så lätt fartyg som möjligt som klarar vinterförhållanden ger ett isförstärkt fartyg i aluminium vars skrovform, komponenter och funktioner är anpassade för gång i is. Samtidigt minskar man energiåtgången för start och stopp vilket påverkar den totala energiåtgången.

Det skall påpekas att för passagerarfartyg byggda i annat material än stål så ökar myndighetskraven med avseende på brandisolering. Detta krav gör att skillnad i total vikt mellan ett aluminiumfartyg och ett stålfartyg minskar.

Om kravet på förmåga att gå i is tas bort, vilket är inriktningen i SLLs pendelbåtsutredning, kan man tänka sig ett katamaranskrov som minskar framdrivningseffekten samtidigt som fartyget blir lättare tack vare att kraven på isförstärkning försvinner. Skrovet blir dock dyrare att bygga pga. mer komplicerad form.

Detta bedöms inte påverka storleken på framdrivningsmaskineri och total energiförbrukning i någon större utsträckning, detta tack vare det fartregister man valt att lägga sig i.

Den maximala farten på 12 knop har valts av tre anledningar. Den första är att 12 knop är ofta den maximala fart man kan operera i hamnar och i inre vatten. Den andra är att vid högre farter än 12 knop vid den fartygslängden så börjar effekten för framdrivning öka exponentiellt. Den sista anledningen är att vid denna maximala fart och givna fartygslängden så är vågbildningen måttlig vilket ger en liten miljöpåverkan.

Således är ett enskrovsfartyg i längden ca 30 m och max 12 knop byggd i aluminium, isförstärkt och med form- och systemanpassat för isgång en bra kompromiss för att hålla energiförbrukningen nere, ökad sannolikhet att kunna operera under isförhållanden samt minimalt med svallvågor en god kompromiss för ett åretruntfartyg.

6.1.2 UPPHANDLINGSUNDERLAG

Offertförfrågningar i form av generalarrangemang, initial kravspecifikation och preliminär fartygsspecifikation har gått ut till tre varv för byggnation av två fartyg. Prisindikationen ligger mellan 25 och 35 MSEK per fartyg.

I tillägg har offertförfrågan gått ut till design- och konstruktionsföretag för designdelen i projektet. Anledningen till detta är att man kan se en utvecklingsprocess av detta slag i flera steg. Man vill skapa ett ägarskap till sin produkt samt att man vill tydliggöra de olika aktörernas roller.

Denna del i konstruktionsprocessen kallas ofta "basic design" och är ett komplett underlag till ett varv för att bygga ett fartyg. Basic design bygger på att man inte under byggprocessen eller "detailed design"-fasen inte gör väsentliga avvikelser.

6.1.3 OFFERTER

Tre svenska varv har inkommit med offerter. I tillägg så har tre ytterligare företag inkommit med separata offerter på basic design.

Företag	Offert	Pris MSEK	Kommentar
1	Helt fartyg	25	Offerten lämnad av ett Light Craft Design/Delta, ett svensk designföretag/fartygsbyggare med stark koppling till ett modernt varv i Baltikum. Offertomfånget kräver ytterligare specificering.
2	Helt fartyg förutom merkostnaden för drivlina	30	Offerten lämnad av det helsvenska varvet Swede Ship Djupvik, som har stor vana vid denna typ av fartyg. Dock omfattar offerten inte merkostnaden för drivlinan, vilka bedöms till 20% merkostnad dvs 6 MSEK.
3	Helt fartyg	35	Offerten lämnat av Damen, ett stort internationellt varv med kopplingar till ett svensk varv med goda möjligheter att leverera fartygen. Offerten bedöms vara komplett.
4	Basic design	5	Offerten täcker de viktigaste och mest kritiska områdena för att verifiera att fartyget fungera. Dessa områden är framdrivningseffekt, total vikt, stabilitet och skrovstyrka
5	Basic design	7	Denna offert täcker förutom de mest kritiska områdena en detaljerad design och verifiering av drivlina inklusive kontroll och reglering
6	Basic design	9	Denna offert täcker en komplett basic design samt underlag för kontraktsförhandlingar och produktionsdokument

Den mest genomarbetade och kompletta offerten är alternativ 3, Damen. Denna omfattar drivlinan för biohybriddrift i fartyget samt Basic Design. En jämförelse visar att nyproduktion av fartyg med biogasdrift istället för traditionell drift med diesel innebär en merkostnad på ca 20 % orsakad främst av teknisk anpassning för hybriddrift och gas, säkerhets- och övervakningssystem samt tillkommande komponentkostnader såsom batterier samt styrsystem. Projektet bedömer investeringen till totalt 38 MSEK per fartyg.

6.2 DRIVLINA (FAS 2)

6.2.1 VAL AV DRIVLINA

Drivlinan är en så kallad biohybrid vilket innebär en fullelektrisk drivlina där biogas under optimerade driftsförutsättningar omformas till el och ett batteri som dels laddas med el och dels balanserar den av biogas producerade energin med fartygets energibehov för framdrift och ombordfunktioner.

Drivlinan är en hybrid av biogas och el, ”biohybrid”. Detta för att klara den driftprofil som linjetrafik kräver. Hybriddrift möjliggör även optimering av komponenter för bästa totalverkningsgrad samt rimliga investeringar i batterier. Framdriften är helelektrisk och kraftgenereringen sker med biogas och el. Biogasen kan omvandlas till el i en gasgenerator eller i en bränslecell.

Bränsleceller erbjuder ett tekniksprång som kan ske i steg och som i hybriddrift innebär en genomsnittlig verkningsgrad kring 52 % från bränsle ombord till framdrift och fartygets hela energibehov. Målet är att direkt förse en bränslecell med biogas, vilket även innebär en hög total verkningsgrad även inräknat distributionen av biogas genom stadens befintliga industrigasnät till kaj samt trycksättning och tankning vid hemmahamn. Idag finns bränsleceller med hög verkningsgrad (60-80%) av högtemperaturtyp. Dessa har idag låg effekt och inte fullgod driftsäkerhet, men visar en potential och målsättning för energieffektiv och fossilfri sjöfart.

Idag behöver biogas omvandlas till vätgas för att driva bränslecellen, vilket innebär en energiförlust samtidigt som bränslecellerna är av lågtemperaturtyp vilket innebär en något lägre verkningsgrad. Att idag bygga drivlina med gasgenerator, som i senare skede kan bytas till en bränslecell, innebär att känd teknik används i samtliga komponenter med god verkningsgrad och en fossilfri lösning i närtid.

Fördelarna med den nya drivlinan är följande:

1. Biogas är CO₂-neutralt samt när den förbränns orsakar den inte några svavelväten, partiklar och lägre halter av kväveoxider än motsvarande dieseldrivlina.
2. Även med gasgenerator som första steg blir verkningsgraden högre, ljudnivå lägre och den kan drivas med lägre underhålls- och servicekostnader än en dieselmotor.
3. Drivlinan är uppbyggd av standardkomponenter som är väl beprövade.

Nackdelarna med den nya drivlinan är följande:

1. Systemkomplexiteten ökar jämfört med en traditionell dieseldrivlina och medför ökade investeringskostnader.

2. Förvaring av gas kräver en annan infrastruktur och tekniklösningar än system för diesel i fartyg.

Projektets syfte är utreda om traditionell förbränningsteknik helt kan ersättas med moderna bränsleceller samt belysa effekterna av detta och förstå de skillnader som finns mellan konventionell dieselmotordrift, gasmotordrift och bränsleceller vad gäller arrangemang, systemlösningar och prestanda. Följande frågeställningar har belysts.

1. Kan man driva bränsleceller på biogas? Om inte kan man effektivt tillverka vätgas av biogas?
2. Finns det tillräckligt stora bränsleceller för marint bruk?
3. Är de typgodkända av klassningssällskap eller motsvarande av myndighet?
4. Hur skall systemkonfigurationen se ut med en biohybrid baserad på bränsleceller?
5. Hur skall laddning ske i hemmahamn och vid ändhållplatser?

Slutsatser är följande:

1. Bränsleceller inbyggd i vår biohybrid är fullt möjlig och realistisk. Det finns tillverkare som erbjuder storlekar som motsvarar specifikationerna för fartyget.
2. Bränsleceller kräver en annan systemkonfiguration där batteriet får en primär roll som lastutjämnare/tagare av energi, dvs buffert för den av bränslecellens producerade energi under optimal drift och fartygets behov för framdrift och ombordfunktioner.
3. Bränsleceller finns för flera olika gaser och kan drivas med både vätgas och biogas. De olika tekniska lösningarna befinner sig i olika utvecklingsstadier avseende kommersiella produkter, driftsäkerhet, pris och verkningsgrad.
4. Laddning vid hemmahamn kan ske på traditionellt sett med manuell landanslutning och laddningstid är minst 10 timmar vilket gör att strömstyrka och därmed kostnad för laddinfrastruktur kan hållas nere.
5. Laddning vid ändhållplats kräver någon form av automatladdning och då antingen en pantograf-, robot- eller induktionsladdning, se kapitel 6.4.3 El.

Drivlina med bränslecell

Denna drivlina kan beskrivas som en laddhybrid som består av bränsleceller som matas med biogas och samverkar med batterier som laddas nattetid. Systemkonfigurationen kan också utökas med möjligheter till snabbladdning vid hållplatser under dagtid, vilket i aktuella

driftfall dock ger marginell påverkan på komponenter och verkningsgrad (ca 1% högre energieffektivitet).

Preliminära fördelar med Biohybrid med bränslecell

1. Ännu högre ombordverkningsgrad
2. Helt emissionsfri
3. Tystare
4. Lägre underhåll

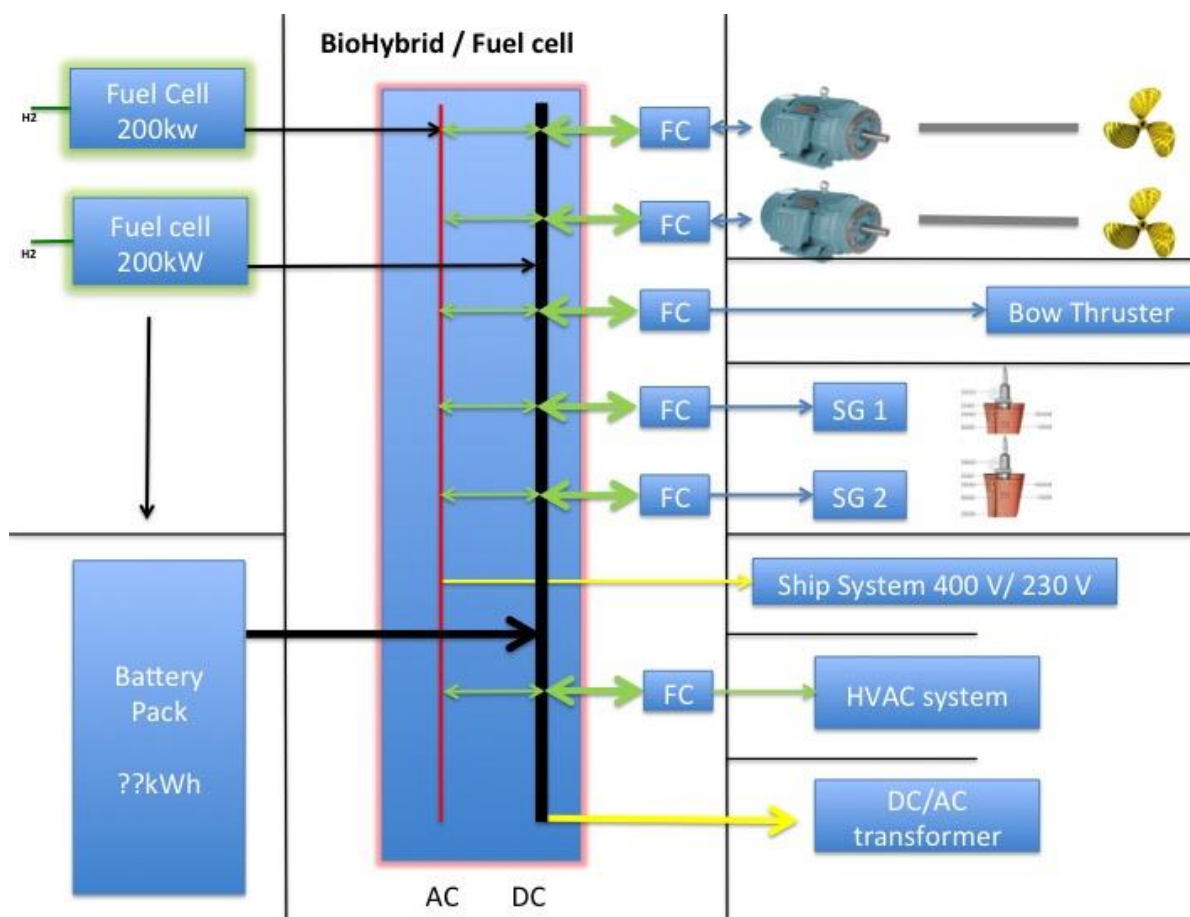


Bild Drivlinearrangemang baserad på bränsleceller och batterier

6.3 FLYTANDE HÅLLPLATSER (FAS 3)

6.3.1 KONCEPT

Utmaningarna för hållplatserna är följande:

1. Avsaknad av standard som möjliggör en säker och effektiv på- och avstigning från de olika rederier och fartyg som verkar och använder hållplatsen.
2. Hållplatser inbyggda i kaj genererar höga infrastrukturkostnader, kräver yta på land och en komplex tillståndsprovning, kan inte kompensera för olika vattenstånd och är permanenta.
3. Lång etableringstid både i ett initialt skede och för öka eller komplettera med nya hållplatser på en befintlig linje.
4. För framtidssäker lösning krävs även standard för laddning av el och biogas.

Lösningen på allt ovanstående är flytande hållplatser (modell Göteborg). Hållplatsen håller samma flytläge ovanför vattenytan hela tiden samt matchas med höjden på båten vilket gör att steget mellan hållplats och båt minimeras. Hållplatserna ställer låga krav på befintlig kajkvalitet, vilket gör att de kan placeras både där befintlig kaj är sämre (äldre träkaj) och vid nybyggda kajer i betong. Hållplatsen kan på ett enkelt sätt flyttas eller kompletteras med flera bredvid varandra. De produceras i stort antal och tiden för att etablera en ny hållplats handlar om dagar till en relativt låg kostnad.

Hållplatsen kräver en enkel elanslutning (230 V) för att kunna erbjuda belysning, uppvärmning av däck (minimerar snöskottning och halkrisk) samt kraftförsörjning till trafikinformationssystemet.

6.3.2 UPPHANDLINGSUNDERLAG

En kravspecifikation för den flytande hållplatsen skapades samt en första idéskiss. Detta sändes tillsammans med offertförfrågan på byggnation och leverans om 10 enheter.

Kravspecifikationen var enligt följande:

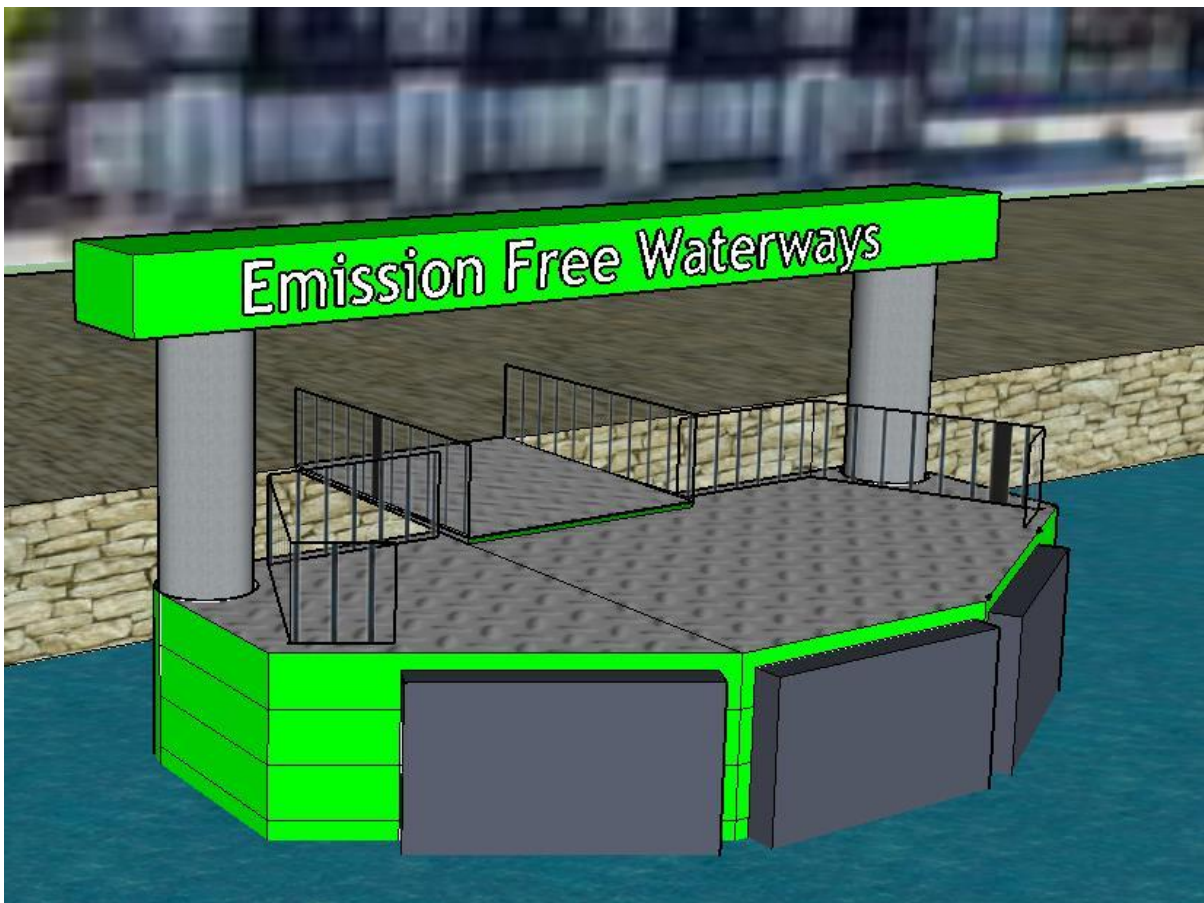
- Material: Stål
- Ca 3 x 4 m i yta
- Skall kunna anpassa sitt flytläge till fartygens fribord
- Dykdalblösning och/eller konsollösning i kaj för positionering
- Tak (regn, snö och solskydd) med möjlighet att fästa PV paneler och informationsskyltar x 2
- Landgång som uppfyller handikapp krav och som är ca 2 m bred
- 230 V anslutning samt WIFI via GSM
- Två varianter (enkel angöring och dubbel angöring)
- Inbyggd avisning (el) och halkskydd
- Räckverk och dörrar i glas med stålram

- Högtalare och elektronisk informationstavla för passagerarinformation
- Transport och lyftbar med lastbil (bredd och vikt)
- Skall kunna monteras på fyra timmar exklusive dykdalber
- Skall kunna bytas mot en ny enhet på fyra timmar
- Utvändigt och invändig korrosion skyddad med epoxi för minimalt underhåll
- Slitdelar skall kunna bytas ut för hand
- Klara 45 personer á 75 kg på däck
- Lätt att städa och hålla rent

6.3.3 OFFERTER

Den offert vi fick in visade en tillverkningskostnad exklusive transport och installation på ca 1,6 MSEK per enhet. Parallellt med detta gjorde Eurofeeder en egen produktkalkyl inklusive transport och installation. Priset totalt hamnade då på 1,4 MSEK per enhet.

Skillnaden i pris kan hänföras till 5 saker. 1. Engineering kostnaden, 2. Stålpriset (färdig produkt), 3. Pris för korrosionsskydd, 4. Pris för fender och 5. pålagd vinst.



Visualisering av flytande hållplats

6.4 BRÄNSLEINFRASTRUKTUR (FAS 3)

6.4.1 BIOGAS

Biogasproduktion innebär att organiskt avfall kan återanvändas och bli en resurs genom att omvandlas till förnybar energi. Biogas bildas vid syrefri nedbrytning av organiskt material genom rötning och kan produceras från avfall, restprodukter, energigrödor och skogsmaterial. Vid biogasproduktion används bland annat slam från avloppsreningsverk, matavfall från restauranger och hushåll samt restprodukter från etanolproduktion, jordbruket och livsmedelsindustrin. Utöver biogas genererar processen en näringsrik rest som i många fall kan användas som gödningsmedel. Biogas kan också produceras genom s.k. termisk förgasning, vilket innebär att t.ex. skogsråvara upphettas kraftigt och den därvid genererade gasen renas till biogas.

Miljönyttan vid produktion av biogas kan enkelt sägas bero av typ av substrat, typ av förbehandling och hur väl det organiska materialet utnyttjas i processen. Att röta avfall för biogasproduktion innebär ett bättre utnyttjande av redan använda resurser medan man från restprodukter, energigrödor och skogsmaterial med rätt förutsättningar kan producera förnybart bränsle. Rötning av avfall och restprodukter kan också innebära minskade utsläpp av rökgaser och andra föroreningar.

Biogas är ett utmärkt drivmedel för olika typer av fordon. Förutom en hög CO₂ reducering ger biogasen lägre utsläpp av kolmonoxid, kolväten, svavelföreningar och kväveoxider än en motor som drivs med bensen eller diesel. Dessutom är utsläppen av stoft och partiklar försumbara.

Stockholm

I Stockholms län produceras biogas idag uteslutande genom rötning av reningsverksslam och matavfall. Produktionen sker i Käppala Reningsverk genom Käppalaförbundets försorg, i Henriksdals och Bromma reningsverk genom Stockholm Vatten och Scandinavian Biogas försorg, samt i Gladö Kvarn genom SRV Återvinning och Scandinavian Biogas försorg. Produktionen i länet uppgår idag till 24 miljoner m³ biogas men det finns en stor outnyttjad potential. Samtliga kommuner i länet har som målsättning att öka sin insamling av matavfall i enlighet med de nationella målen. Total produktion baserad på reningsverksslam och matavfall bedöms kunna växa till ca 45 miljoner m³. En m³ biogas motsvarar ungefär en liter diesel.

Göteborg

Gobigas (Gothenburg Biomass Gasification Project) är en storskalig demonstrationsanläggning för förgasning av träråvara till biogas. Anläggningen, som invigdes i mars 2014, har kapacitet att leverera 20 MW biogas (med naturgaskvalitet) in i det regionala gasnätet. I full drift (8000 timmar/år) ger detta c:a 160 GWh biogas per år. Det är den största förgasningsanläggningen i sitt slag i EU. Anläggningen är byggd för att demonstrera och verifiera att den valda tekniken, för att sedan bygga kommersiell anläggning i full skala på

80-100 MW (Gobigas 2). På grund av den rådande prisutvecklingen inom energiområdet, finns det de kommande åren inte någon marknad för Gobigas 2.

Gobigas har körts under 2015 och början av 2016 på pellets. Under våren 2016 övergick man till att köra på flis. Målet är att köra anläggningen på grot, dvs. grenar, rötter och andra rester från skogsbruket. Anläggningens verkningsgrad vid omvandling från skogsavfall till biogas ska vara ca 65 %. Utöver biogas, producerar anläggningen även fjärrvärme till Göteborgs fjärrvärmenät.



Produktionsanläggning för biogas i Henriksdal

Distribution av biogas kan ske antingen via gasnät eller via trailer. Vid distribution via gasnät transporteras gasen genom ett fast rörnät från producenter direkt ut till förbrukare. I västra Sverige finns en storskalig nätdistribution genom Swedgas AB nät som förbinder sydvästra Skåne längs västkusten upp till Stenungsund. I Stockholm finns ett mindre nät som administreras av Gasnätet i Stockholm AB. Distribution med trailer innebär att biogasen trycksätts, normalt till 250 bar, och lastas på för ändamålet byggda mobila gaslager. Dessa gaslager rymmer ca 4 500 m³, är monterade på en traditionell lastväxlarram för rationell logistik, och kan transporteras med lastbil till förbrukare som t.ex. tankstationer och bussterminaler

Distribution av biogas till tankstationer för pendelbåtar kan i Stockholm och i Göteborg ske via gasnät till ett flertal lämpliga platser enligt Scandinavian Biogas och Göteborg Energi.

I det fall som tankning måste ske på platser där det av olika skäl inte går att ansluta till gasnätet, kan tankning mycket väl även arrangeras med mobila gaslager.



Mobila gaslager

Tankning av biogas sker på ungefär samma sätt oavsett om biogasen används i personbilar, bussar eller lastbilar. Vid tankning ansluts fordonet till tankstationen med ett munstycke. Därefter trycks gasen över i fordonet. Beroende på tidskrav och flödet på biogasen kan detta ske med långsamtankning eller snabbtankning. Snabbtankning innebär att en kompressor fyller ett lokalt högtryckslager till 250-300 var. Vid tankning strömmar gasen över till fordonets tank till önskat tryck uppnåtts, ca 200 bar vid full tank. En buss tar 10-15 minuter att tanka. Långsamtankning innebär att en kompressor arbetar direkt mot fordonets gastankar och höjer trycket tills tanken är full. Tankningen tar flera timmar och sker ofta nattetid. Långsamtankning sker främst av biogasdrivna bussar och sopbilar. Hela fordonsflottan tankas vanligen samtidigt med samma kompressor. Då många bussar tankar samtidigt används alltid långsamtankning.



Tankning av bussar på bussterminal

Tankning av pendelbåtar kan ske med samma teknik och infrastruktur som tankning av bussar och ske genom långsamtankning nattetid.

6.4.2 HEMMAHAMN OCH BUNKRING AV FARTYG

Hemmahamnen skall brukas av fartygen nattetid. Här har man möjlighet att ladda gastankar och batterier samt att pumpa ur grå- och svartvatten till kommunala avloppssystemet. Dessutom kan bunkring av andra förnödenheter som fartyget kräver ske. Vidare finns stora möjligheter att bedriva service och underhåll av fartyget. Ovanstående påverkar då inte den operativa driften som sker dagtid.

I diskussion med Stockholms Hamnar och Scandinavian Biogas har följande specifikation tagits fram:

1. Flytande ponton med länkar och landgång till kaj med Y-Bommar för förtöjning.
2. Stängsel eller motsvarande lösning inklusive låsbara grindar på kaj för hindrande av obehörig.
3. Förrådshus på pontonen med utrustning och material till fartyget.
4. Två kompressorer för 230 alternativt 300 Bar med total kapacitet 150 nm³/h.
5. Landanslutningar för gas, el och färskvatten inklusive flexibla slangar.
6. Röranslutning för mottagande av grå- och svartvatten till kommunalt avloppsnät.
7. Kommunikation, övervakning och bevakning.

6.4.3 EL

Skillnaden jämfört med konventionell stationär landladdning är främst fartygets rörelser, korrosiva ämnen som saltvatten samt fysiska förutsättningar som längre avstånd. Idag installerar Vattenfall snabbbladdning med pantograflösning på upp till 600 kW och normalt 150 - 300 kW för laddning av elbussar. Detta är i det närmaste en kommersiell teknisk lösning. Det finns ett antal leverantörer att upphandla färdiga lösningar från. Exempelen på leverantörer är Heliox, ABB och Siemens. Dock är anslutning mot buss känslig för mindre rörelser, till exempel att bussen niger då den tar upp passagerare. Det gör pantografkontaktning krävande i marin miljö. Utmaningen består även av att pantograflösningen är öppen idag och inte skyddas för väder. Dock finns installation i Norge där fartyg laddas med pantograf.

Finska Wärtsilä utvecklar nu tillsammans med Cavotec en induktiv laddning med vaccum-sugsystem. Induktionsladdning med hög effekt demonstreras även i Norge vid laddning av en bilfärja. Induktion är rimligen den mest genomförbara lösningen med hänsyn till de fysiska förutsättningarna/utmaningarna. Detta kräver dock en annan kraftteknik där man switchar hög frekvens med stora effekter. Vidare krävs en anpassning till angöring med endast fören mot flytbryggan då konceptet hittills inneburit en kontaktning mot farkostens sida, jfr Norge.

Oavsett teknisk lösning ger snabbaddning vid hållplatser under linjetrafik ger ett ytterst marginellt bidrag (ca 1% högre verkningsgrad) till hög kostnad, varför detta alternativ undantagits. Förutsättningar har under analysen varit 5 min laddtid med upp till 600 kW. Laddning sker därför under natt i hemmahamn samt under drift genom hybridsystemet samt möjligheten vid ändhållplatserna.

6.5 VERIFIERING AV KONCEPT (FAS 4)

En relativt omfattande undersökning har gjorts för att finna liknande koncept i omvärlden. De enda fartyg som har bränslecellsbaserad energigenerering är två turistbåtar. Den ena seglar i Hamburg (Alsterwasser) och den andra i Amsterdam (Nemo H2). Bedömningen är att priserna på bränsleceller har sjunkit kraftigt, närmare halverats, sedan dessa projekt. Som del i projekten medverkade klassällskapet Germanischer Lloyd (GL) i syfte att testa och vid behov ändra klassreglerna för vätgasanvändning på passagerarfartyg. Med dessa projekt som bas kan man konstatera att klassreglerna är utprovade och att dessa inte innebär hinder.

De kritiska komponenterna för fartyget är i detta fall det som har med bränslesystemet och bränslecellerna att göra. Helelektrifierad drivlina och stora batteriinstallationer på mindre passagerarfartyg anses vara beprövad teknik och något som är väl känt för Transportstyrelsen i sin roll som tillsynsmyndighet. Vätgas som bränsle är däremot inte prövat på något tidigare fartyg i Sverige. Metan är däremot infört som koncept på fartyg som trafikerar svenska hamnar i och med Viking Grace. Dessutom tillkommer inom kort ytterligare två fartyg i och med leveranserna av Gotlandsbolagets två beställda fartyg, vilka båda kommer att ha dual fuel-motorer. Kraven är något högre för vätgas som bränsle än för metan, men skillnaden är inte omfattande.

För att stödja dialoger med myndigheter gällande klass har som del i Fas 4-rapporten en översiktlig genomgång gjorts av de mest kritiska regelverken från DNVGL och Transportstyrelsen.

SSPAs bedömning är att konceptet är väl realiserbart, men att delar av systemlösningen kommer att vara utmanande och krävande. Om projektet genomförs som en demonstrator bedöms det ge betydande kunskapsökning om utveckling och design av mindre fartyg med gasbaserade bränslen hos deltagande organisationer och företag. En aspekt på det är hur, och om, det går att sprida kunskapen till fler företag inom branschen i syfte att maximera möjligheten för fler företag (varv, designföretag, forskningsinstitutioner) att bidra till svenska arbetstillfällen och kunskapsuppbyggnad.

6.6 VERIFIERING AV INVESTERINGSNIVÅER OCH DRIFTSKOSTNADER (FAS 5)

6.6.1 INVESTERINGSBUDGET

Varje fartyg med biohybriddrivlina kostar 38 MSEK att bygga (enligt offert från Damen Shipyard). Merkostnaden för biogasdrift och anpassning till bränsleceller beräknas till ca 8 MESK per fartyg, vilket gör en merkostnad på ca 20% per fartyg. I den kostnaden ingår konstruktionsanpassning av fartyget vid nyproduktion samt biogasanpassade motorer till generatorerna, bränsleceller samt system för gasdrift och övervakning.

6.6.2 DRIFTBUDGET

Driftbudget för en biohybrid blir i praktiken kostnadsneutral, detta beror flera olika faktorer. Ett exempel med pendelbåtar som trafikerar ett hamn- och närområde där det råder hastighetsbegränsningar är att man i mjukvaran kan bestämma hur driftprofilen kommer att se ut och vilka värden som tillåts. I praktiken innebär det att pendelbåten i fartområdet 0-8 knop (vilket kan begränsas geografiskt i systemets mjukvara) endast använder batteridrift, för att i farter mellan 8-12 knop stötta batteridriften med biogasgeneratorer.

Underhållet blir för en biohybrid mycket effektivt och billigare jämfört med konventionell drift. Underhållskostnaden för huvudmotorerna som drivs på el är försumbar, generatorerna som alltid körs på optimalt effektuttag har en väsentligt lägre underhållskostnad jämfört med dieselmotorer som ofta körs stor del av sin drifttid på dellast eller låg last. Gassystemet och bränsletankar fordrar inte högre underhåll än normalt. Övervakningssystemet är dock mer omfattande och kräver mer underhåll och service.

6.6.3 ANALYS OCH KOMMENTARER

En biohybrid är en mycket energieffektiv lösning som visserligen innehåller fler komponenter jämfört med en konventionell dieseldrift men är bättre på att effektivt utnyttja tillförd energi. Det ökade antalet komponenter genererar vissa effektförluster men dessa kompenseras av de effektivare elmotorerna för framdrift samt biogasgeneratorer som alltid går på optimalt effektuttag.

En dieselmotor i en pendelbåt har en låg utnyttjandegrad och blir då ett ineffektivt sätt att bränna fossila bränslen. Dieseln skall också efter utvinning framställas i ett raffinaderi, transporteras med tankfartyg, lagras i cistern och slutligen levereras ut med lastbil till slutanvändaren. Den totala påverkan på miljön blir betydande.

Att istället använda en lokalproducerad biogas som framställs av mat- och toalettavfall och som är helt fossilfri blir ett mycket lyckat sätt att använda en restprodukt på ett miljösmart sätt. Att biogasen dessutom kan levereras direkt till pendelbåten genom ett befintligt rörsystem gör att den totala påverkan på miljön blir minimal.

6.6.4 BRÄNSLEPRIS OCH SKATTEEFFEKTER

De fossilfria bränslealternativen biogas och el erbjuder samma driftnetto som dagens fartyg som drivs med diesel. Detta även med skatt på el till sjöfart samt med dagens låga dieselpriiser. Kostnad för diesel plus underhållskostnader ska jämföras med kostnaden för el plus "slitage" på batterier. Livslängden bestäms av antalet laddcykler så varje laddning har en slitagekostnad. En ökning av dieselpriiset till tidigare nivå på 5:50 och ett borttagande av skatten på el innebär att dieseldriften blir dubbelt så dyr som eldriften. Drift med HVO innebär en högre kostnad jämfört med drift med diesel.

6.6.5 KOSTNADSBESPARING FÖR MILJÖPÅVERKAN

Trafikförvaltningen använder i sin utvärdering av projekt Sjövägen Trafikverkets modeller. Man räknar på samhällets kostnader för globala utsläpp av koldioxid (CO₂) samt lokala utsläpp av kväveoxider (NO_x) och partiklar (PM). Utifrån denna utvärdering kan man räkna fram att varje kWh el (som bör kosta max 1 kr/kWh) som kan används för framdrivning av pendelbåtar istället för diesel skapar en samhällsbesparing om drygt 25 kr. I exemplet Sjövägen summeras denna besparing till hela 4,9 Mkr.

6.6.6 NETTOKOSTNAD OCH RESTVÄRDE

Investeringen i nya fartyg blir högre, ca 20 %, jämfört med nybyggnation av traditionella dieseldrivna fartyg. Dock kan fullelektriska fartyg byggas till samma kostnad som traditionella om batterierna leasas och överförs på driftnettot. Vidare kan en fossilfri flotta i linjetrafik och/eller demonstration innebära ett värde som forskningsplattform.

Fartyg skrivs som regel av på 25 år. Det innebär en årlig avskrivning på SEK 1,5 MSEK och värdet skulle då år 5 i driftfasen vara värda 19 MSEK per fartyg. Vidare ser man en tydlig effekt av byte av batterier vart sjunde år där nya batterier skulle tillföra ett värde på mellan 1,5-1,7 MSEK. I det långsiktiga underhållet finns planerat en uppgradering efter 10-15 år av storleken 3-5 MSEK som också skulle öka värdet.

6.7 AFFÄRSPOTENTIAL NATIONELLT OCH INTERNATIONELLT, EXPANSIONSMÖJLIGHETER, SVENSK INDUSTRIPOTENTIAL

Möjligheterna till affärspotential och internationellt genomslag för den aktuella lösningen bygger på att ett industrikonsortium lyckas visa på en konkurrenskraftig lösning som förutom att bygga på en fossilfri drivlina samtidigt är energieffektiv och att det finns en bränslelösning som är attraktiv ur ett lokalt perspektiv.

Inom projektet har en omvärldsgranskning gällande motsvarande tekniska lösningar genomförts, delvis i samverkan med det internationella varvet Damen. Inga motsvarande eller närliggande lösningar med biohybrider har hittats.

Efter konstaterat nyhetsvärde har samtal förts med Näringsdepartementet om att lösningen skulle kunna utgöra en demonstrationsplats för Sverige och svensk teknik, likt andra framgångsrika exempel såsom Hammarby Sjöstad och Norra Djurgårdsstaden, som båda har direkt koppling till vattenvägarna. Dessa två platser förenar samarbetat mellan kommun och det privata näringslivet på ett konkret och positivt sätt. Företagen i Sverige har haft nytta av att kunna visa på ett konkret sätt vad den svenska ingenjörskonsten kan prestera genom samverkan.

En ny demonstrationsmiljö skulle kunna manifesteras med den nya EFW. Konceptet kan vara ett konkret sätt att visa cirkulär och hållbar teknik på ett mycket publikt sätt. Kontakter med bland andra Exportkreditnämnden (EKN) visar att det finns ett intresse. Man har dock ställt ett naturligt krav: den första prototypbåten bör finnas som ett referensprojekt i Sverige.

En bedömning av marknaden i Norden och i Europa för EFW-lösningen, med lokaltproducerad biogas och städer med sjövägar är att det finns ett 30-tal platser med liknande urbana utmaningar som Stockholm. Samtidigt ska sägas att Stockholm har en något större utmaning i den meningen att det under del av året normalt är is i vattnen. Detta ställer extra krav i Stockholm på att kunna verifiera en robust fungerande kollektivtrafik på året runt trafik.

Stockholm som en demonstrationsplats förstärks ytterligare av att bygg- och fastighetsbolagen visar starkt intresse av att exploatera waterfront-projekt och att det vid dessa finns en säkerställd infrastruktur för kollektivtrafik, se bilaga 9 JM.

6.7.1 FÖRESTÅENDE ANBUD GÄLLANDE PENDELBÅTAR I STOCKHOLM

Aktuellt är att Stockholms läns landstings budget för 2017 och plan för 2017-2018 samt investeringsbudget omfattar upphandling av fem plus två nya fartyg för linjetrafik i Stockholm omfattas. Inom denna upphandling och med stöd av inriktningen ges möjligheten att presentera ett anbud för fossilfri sjöfart. Se även kapitel 5.4.1 samt länk.

Under 2017 påbörjas en strategisk utredning i syfte att se över om, hur och var en utbyggnad av nya pendelbåtlinjer kan ske på ett hållbart och effektivt sätt, med hög resenärsnytta och god samhällsekonomisk lönsamhet. Utifrån målen ovan bör utredningen även titta på fördelar respektive nackdelar med att bedriva pendelbåtstrafik med snabbgående fartyg. Stockholm ligger strategiskt invid både Mälaren och Saltsjön. Därför eftersträvas en pendelbåtstrafik som avlastar landtrafiken utan motsvarande behov av investeringar och som förkortar restiderna i länet. Tillsammans med berörda kommuner och fastighetsägare bör utredningen också titta på om och i så fall hur pendelbåtstrafiken och dess brygglösningar kan standardiseras, effektiviseras och göras mer kostnadseffektiv. Som ett komplement till den strategiska utredningen om tonnage bör utredningen också redovisa kostnader för ett alternativ med en elektrifiering av en eventuell framtida pendelbåtsflotta. I uppdraget ligger även att presentera förslag på hur samfinansiering med fastighetsägare eller andra intressenter kan genomföras, till exempel genom värdestegringar eller andra externa samhällsekonomiska vinster.

Landstinget ska ha en öppen och välkomnande attityd till att fler kollektivtrafikoperatörer vill verka i Stockholms län. Landstinget ska också ha en välkomnande attityd till innovation samt nya och samhällsekonomiskt effektiva kollektivtrafiklösningar. Dessa ska prövas på samma villkor som andra lösningar och jämföras med dem enligt gängse principer.

6.8 ANALYS OCH REKOMMENDATION

SSPA har ansvarat för beräkningen av konceptens energi- och emissionsprestanda samt som del av detta beräknat energikostnader.

Två drivlinor har studerats:

- En traditionell dieselmekanisk drivlina som används som referens
- En helelektrifierad drivlina

Den helelektiska drivlinan har kraftförsörjts via en kombination av bränsleceller och batterier, d.v.s. en hybriddrivlina. Bränsleceller som analyserats har varit dels PEM¹-bränsleceller matade med vätgas och dels SOFC²-bränsleceller matade med biogas. För samtliga dessa bränsleceller behövs minst 2 x 200 kWe uteffekt för den studerade rutten, men för att ha effektreserv för t.ex. gång i bruten ränna vid is har 2 x 250 kWe bränslecellstorlek använts för beräkningarna. Dessutom har för PEM-bränslecellerna undersökts hur energiåtgång och utsläpp påverkas om fartygets batterier snabbbladdas med 300 kWe från land under 5 av de 7 minuter fartyget ligger vid kaj i sina ändhållplatser.

För att erhålla vätgasen till PEM-bränslecellerna så har två alternativ undersökts: att tillverka den med omvandling av biogas eller att tillverka den med elektrolys av vatten. Båda dessa processer avses ske lokalt vid fartygets nattförtöjningsplats kontinuerligt under hela dygnet, och fartygets tankar ombord fylls på från landsystemet då det ligger vid kaj nattetid under cirka elva timmar.

För tillverkningen av vätgasen har användning av svensk elmix respektive "grön el" (ursprungscertifierad vindel) undersökts avseende miljöbelastning (CO₂-emissioner bl.a.).

Således så har följande koncept studerats:

- Dieselmekanisk referens
- För 2 x 250 kWe PEM-bränslecellskoncepten kombinationer av:
 - Vätgas från omvandling av biogas eller elektrolys av vatten (2 fall)
 - Landström endera svensk elmix eller "grön el" (2 fall)

¹ PEM = Proton Exchange Membrane

² SOFC = Solid Oxide Fuel Cell

- Användande av snabbbladdning eller ej vid ändhållplats (2 fall)

d.v.s. totalt $2 \times 2 \times 2 = 8$ kombinationer.

- 2 x 250 kWe SOFC bränslecell + 145 kWh batteri, ingen snabbbladdning i ändhållplats

För dessa koncept (totalt tio stycken) har följande parametrar beräknats:

- Energiåtgång ombord
- Total energiåtgång (energiåtgång ombord plus inklusive energi som förbrukas iland t.ex. vid elektrolys av vatten)
- "Nyttig" energi använd ombord (definierad som införd energi på propelleraxel och genererad hotellel)
- Verkningsgrad för ombordsystemen (definierad som "nyttig energi" delad med "energiåtgång ombord")
- Verkningsgrad för hela systemet inklusive energiförbrukning iland (definierad som "nyttig energi" delad med "total energiåtgång")
- Genererade utsläpp från energianvändningen ombord avseende
 - CO₂
 - NO_x
 - SO₂
 - PM
- Beräknad kostnad för de genererade utsläppen baserat på kostnadsfaktorer ur ASEK 6.0
- Beräknad kostnad för den förbrukade energin, inklusive kostnad för den energi som förbrukas iland.

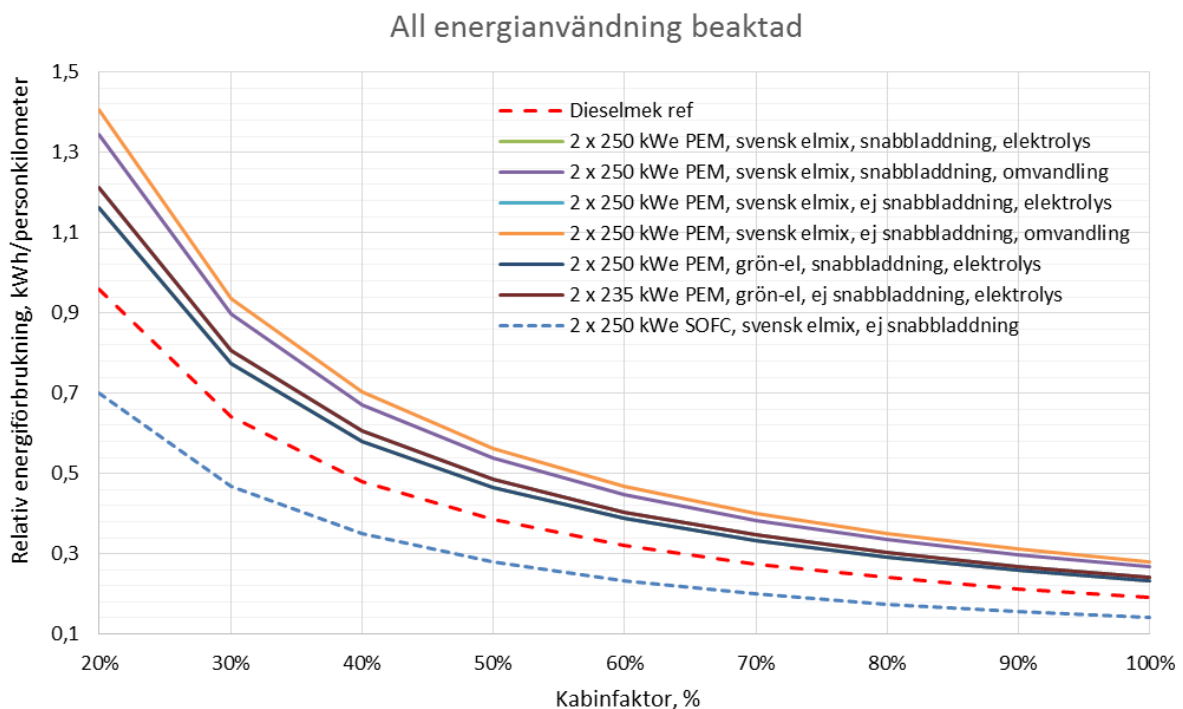
6.8.1 RESULTATEN AVSEENDE ENERGI FÖRBRUKNING OCH VERKNINGSGRAD

Baserat på den studerade ruten är den förbrukade energin ombord enligt tabellen nedan:

Koncept	Energiförbrukning för 5 ToR-resor (en dag), kWh	
	Ombord	Totalt
Dieselmekanisk referens	7 440	7 924
2 x 250 kW PEM bränsleceller, vätgas från elektrolys	7 022	9 992
2 x 250 kW PEM bränsleceller, vätgas från elektrolys – med snabbbladdning av batteri vid ändhållplats	6 795	9 586
2 x 250 kW PEM bränsleceller, vätgas från omvandling	7 022	11 593
2 x 250 kW SOFC, biogas	5 783	5 783

Samtliga ovanstående koncept är utan använd snabbladdning vid ändhållplatserna utom den post som markerats särskilt i tabellen. Med den föreslagna batteristorleken, 145 kWh, tas endast en begränsad mängd av dagsbehovet av energi från landström även om snabbladdning i ändhållplatser nyttjas – detta gör att nyttan av den högre verkningsgraden från landströmmen inte ger någon stor påverkan på den totala energiförbrukningen. Slutsatsen blir att man antingen måste installera ett betydligt större batteri ombord eller att ladda vid varje stopp. Att installera ett större batteri kommer att kräva längre stopptid vid ändhållplatserna (upp emot 30 minuter) eller att laddning sker med högre effekt än de idag ansatta 300 kW.

För att möjliggöra jämförelse med annan kollektivtrafik har också grafer över energiförbrukningen i relation till det utförda transportarbetet tagits fram. En av dessa visas nedan. En ofta använd referens för stadsbussar är 0,3 kWh per personkilometer. "Kabinfaktor" nedan är hur stor andel av antalet maximalt tillåtna passagerare som medföljer i genomsnitt under en dag. Vid 100 % kabinfaktor medföljer under hela dagen 250 av 250 passagerare.



Slutligen har verkningsgraden (ett mått på hur effektivt fartyget nyttjar tillförd energi och omvandlar den till transportarbete) analyserats. Nedan visas tabellen för verkningsgraden baserad på endast ombord förbrukad energi.

Diesel-mekanisk	Hybrid m PEM-bränsleceller	Hybrid m SO-bränsleceller
-----------------	----------------------------	---------------------------

	referens	Med snabbladdning		Ej snabbladdning		Ej snabbladdning
		Elektrolys	Omvandling	Elektrolys	Omvandling	
"Nyttig" energi, kWh	2 801	2 991				
Förbrukad energi, kWh	7 440	6 795	6 795	7 022	7 022	5 783
Systemverkningsgrad, %	38%	44%	44%	43%	43%	52%

Tabell 1: Systemverkningsgrader då energiåtgång iland (t.ex. för tillverkning av vätgas) inte medtas i energikalkylerna – energiåtgång räknad på ingående effekt till propelleraxel

Det kan konstateras att SOFC-bränslecellen har cirka 14 procentenheter högre verkningsgrad och PEM-bränslecellskoncepten cirka 6 procentenheter högre än den dieselmekaniska referensen. Skall skillnaden ökas måste detta ske genom att ta en större andel av använd energi från elnätet iland.

6.8.2 RESULTATEN AVSEENDE EMISSIONER OCH KOSTNADER FÖR DESSA

För de studerade koncepten har emissioner av CO₂, NO_x och SO₂ beräknats, både med användande av svensk elmix och "grön el" från ursprungscertifierad vindkraft.

Nedan presenteras resultatet när "grön el" används för beräkningarna.

	Dieselmek ref	Hybrid m PEM-bränsleceller "grön el"				Hybrid m SO-bränsleceller
		Med snabbladdning		Ej snabbladdning		Ej snabbladdning
		Elektrolys	Omvandling	Elektrolys	Omvandling	
CO ₂ , kg	2 157,6	2,9	1 085,2	3,0	1 154,9	172,6
NO _x , gram	7 440,0	9,4	26,3	9,8	27,8	21,2
PM, gram	148,8	0,0	0,6	0,0	0,6	17,6
SO ₂ , gram	2,2	9,4	45,9	9,8	48,6	11,5

Tabell 2: Beräknade emissioner för 5 ToR-resor (en dags drift)

Nedan presenteras besparingen uttryckt i procent för respektive emission relativt det dieselmekaniska referensalternativet.

Hybrid m PEM-bränsleceller "grön el"

Hybrid m SO-bränsleceller

	Med snabbbladdning		Ej snabbbladdning		Ej snabbbladdning
	Elektrolys	Omvandling	Elektrolys	Omvandling	Svensk elmix
CO ₂	-99,9%	-49,7%	-99,9%	-46,5%	-92,0%
NO _x	-99,9%	-99,6%	-99,9%	-99,6%	-99,7%
PM	-100,0%	-99,6%	-100,0%	-99,6%	-88,2%
SO ₂	321,1%	1955,0%	338,8%	2077,8%	414,2%

Tabell 3: Skillnad i emissionsmängd uttryckt i % mot referensalternativet, forts.

Besparingarna i emissioner är alltså i princip mellan 50 % och 100 %, förutom avseende svaveldioxid. Dessa utsläpp beräknas med använda ingångsvärden för svavelinnehåll i biogas öka. I procent är ökningen mycket hög, men den reella ökningen uttryckt massa är låg. Biogasen kan också innehålla exakt noll, eller mycket nära noll, svavel beroende på vilken reningsteknik som används i uppgraderingen av gasen. Inget värde har erhållits från Scandinavian Biogas om svavelinnehållet, valt värde ligger mitt i spannet på uppgifter från litteratur och forskningsrapporter.

6.8.3 KOSTNADER FÖR ANVÄND ENERGI OCH EMISSIONER

Energikostnaden för en dags drift har också beräknats och presenteras nedan. Bedömt blir energikostnaden för att använda omvandling av biogas för att tillverka vätgas hög. Detta beror på att biogasen är ganska kostsam till att börja med (per kWh), den omvandlas med cirka 65 % verkningsgrad till vätgas och det åtgår ett antal kWh el i tillverkningen av varje kWh vätgas. Vad SSPA kan bedöma verkar det avseende energikostnad i det aktuella fallet mindre kostsamt att satsa på elektrolys i det fall vätgas väljs som bränsle. Se tabell nedan för ingående energikostnader.

	Kostnad (SEK) för energi för en dags drift		
	Min	Trolig	Max
Dieselmekanisk referens	3 896	4 583	5 271
2 x 250 kWe PEM snabbbladdning, vätgas från omvandlad biogas, grön el	24 548	26 439	28 331
2 x 250 kWe PEM snabbbladdning, vätgas från omvandlad biogas, svensk elmix	22 046	23 806	25 567
2 x 250 kWe PEM ej snabbbladdning, vätgas från omvandlad biogas, grön el	25 997	28 004	30 011
2 x 250 kWe PEM ej snabbbladdning, vätgas från omvandlad biogas,	23 355	25 223	27 090

svensk elmix			
2 x 250 kWe PEM snabbbladdning, vätgas från elektrolys, grön el	5 919	6 231	6 542
2 x 250 kWe PEM snabbbladdning, vätgas från elektrolys, svensk elmix	5 009	5 272	5 536
2 x 250 kWe PEM ej snabbbladdning, vätgas från elektrolys, grön el	6 170	6 495	6 820
2 x 250 kWe PEM ej snabbbladdning, vätgas från elektrolys, svensk elmix	5 221	5 496	5 771
2 x 250 kWe SOFC, ej snabbbladdning, svensk elmix	4 758	5 350	5 941

Tabell 4: Beräknade energikostnader per dag (5 ToR).

Att använda SOFC-bränslecellsteknik beräknas alltså vara mellan 12 % och 22 % dyrare per dag jämfört med den dieselmekaniska referensen avseende bränslekostnad. PEM-bränslecellskoncepten med användande av vätgas från elektrolys med "grön el" beräknas vara mellan 29 % och 58 % dyrare per dag avseende bränslekostnad.

	Kostnad (SEK/kWh)		
	Min	Trolig	Max
Diesel MK1	0,52	0,62	0,71
Biogas	0,83	0,93	1,03
Landström, svensk elmix	0,52	0,55	0,58
Landström, "grön el"	0,62	0,65	0,68
Vätgas från omvandling av biogas, grön el	3,74	4,03	4,32
Vätgas från omvandling av biogas, svensk elmix	3,36	3,63	3,90
Vätgas från elektrolys av vatten, grön el	0,88	0,93	0,98
Vätgas från elektrolys av vatten, svensk elmix	0,75	0,79	0,83

Tabell 5: Använda energikostnader för beräkning av kostnad per dag – uppgifter från Eurofeeder.

Till sist har kostnaden för emissionerna beräknats med kostnadsfaktorer enligt ASEK 6.0. Kostnaderna beräknas till följande med användande av "grön el" för använd landström.

	Dieselmek ref	Hybrid m PEM-bränsleceller "grön el"				Hybrid m SO- bränsleceller
		Med snabbbladdning		Ej snabbbladdning		Ej snabbbladdning
		Elektrolys	Omvandling	Elektrolys	Omvandling	Svensk elmix
CO ₂ , SEK	2 524	3	1 270	4	1 351	202
NO _x , SEK	640	1	2	1	2	2
PM, SEK	723	0	3	0	3	85
SO ₂ , SEK	0	1	7	1	7	2
Summa (SEK):	3 887	6	1 282	6	1 364	291
Diff mot ref.	-	-3 882	-2 606	-3 881	-2 523	-3 596

Tabell 6: Beräknad kostnad för emissioner (SEK) och differens mot referensalternativet för en dags drift (5 ToR resor).

Det kan då konstateras att alla koncept förutom de som använder omvandling av biogas (med de ingående antagna förutsättningarna för omvandlaren) blir billigare än den dieselmekaniska referensen då både kostnaderna för emissioner och energi summeras – se de två tabellerna nedan.

	Dieselmek ref	Hybrid m PEM-bränsleceller, svensk el-mix				Hybrid m SO- bränsleceller
		Med snabbbladdning		Ej snabbbladdning		Ej snabbbladdning
		Elektrolys	Omvandling	Elektrolys	Omvandling	Svensk elmix
Energi (trolig kostnad)	4583	5272	23806	5496	25223	5350
Emissioner	3887	8	21	8	22	0
Summa:	8470	5280	23827	5504	25245	5350
Diff mot ref.	-	-3191	15357	-2967	16774	-3121

	Hybrid m PEM-bränsleceller "grön el"			
	Med snabbbladdning		Ej snabbbladdning	
	Elektrolys	Omvandling	Elektrolys	Omvandling
Energi (trolig kostnad)	6231	26439	6495	28004
Emissioner	0	1	0	1
Summa:	6231	26440	6495	28005
Diff mot ref.	-2240	17970	-1975	19534

Tabell 7: Sammanlagd kostnad i SEK för energiförbrukning och emissioner beräknade enligt ASEK 6.0.