



CHALMERS



Bränslecell jämfört med dieselgenerator

En fallstudie; ersättning av dieselgenerator på ett fartyg

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

Hampus Alfredsson

Christian Swenson

RAPPORTNR. SI-17/195

Bränslecell jämfört med dieselgenerator
En fallstudie; ersättning av dieselgenerator på fartyg

Hampus Alfredsson
Christian Swenson

Institutionen för sjöfart och marin teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2017

Bränslecell jämfört med dieselgenerator

En Fallstudie; ersättning av dieselgenerator på fartyg

Fuel cell versus dieselgenerator

Case study; replacement of a diesel generator on ships

Alfredsson Hampus

Swenson Christian

© CHRISTIAN SWENSON, 2017.

© HAMPUS ALFREDSSON, 2017.

Rapportnr. SI-17/195

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Fotot är en bild på en av Stena Jutlandicas dieselgenerator tagen av författarna.

Tryckt av Chalmers

Göteborg, Sverige, 2017

Bränslecell jämfört med dieselgenerator

En fallstudie, ersättning av dieselgenerator på ett fartyg

Hampus Alfredsson
Christian Swenson
Institutionen för sjöfart och marin teknik
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Traditionella bränslen inom sjöfarten är på väg att fasas ut då både internationella och nationella utsläppsregler blir allt striktare. Årsskiftet 2015 började nya regler gälla fartyg som trafikerar Östersjön. Dessa regler innefattade att svavelhalten i bränslet som används för framdrivning och elproduktion inte fick överskrida 0,1% svavel. Detta resulterade i att många fartyg bytte till ett mer lättflytande bränsle som inte innehöll lika mycket svavel. Bytet gav ett lägre svavelutsläpp men en högre kostnad i \$/kWh. I denna fallstudie läggs fokus på bränslecellen som ett annat alternativ till elproduktion ombord på fartyg. Bränslecellen, från Powercell Sweden AB, jämförs i verkningsgrad och bränsleförbrukning mot en dieselgenerator på fartyget Stena Jutlandica. Dieselgeneratoren drivs på lågsvavlig ECA-olja och bränslecellen drivs på vätgas. I studien görs en jämförelse av kostnad, storlek, vikt och lämplighet. Det stora målet med rapporten är att visa läsaren ett annat alternativ till elproduktion och ge en kunskap om bränslecellen och dess potential. Studien kommer fram till att bränslecellen är både miljövänligare, har en bättre verkningsgrad och specifik bränsleförbrukning, är mindre i storlek/vikt och har lägre kostnad i underhåll och inköp. Då vätgaspriset är väldigt högt blir den dyrare i driftkostnad.

Nyckelord: Powercell Sweden AB, Bränslecell, SFC, verkningsgrad, Vätgas, PEM, Dieselgenerator, Jämförelse, Förnyelsebar energikälla, Fartyg

Abstract

Traditional fuels in the shipping industry are about to be phased out as both international and national regulations become more stringent. By the end of 2015, new rules were applied to vessels operating the Baltic Sea. These rules included that the sulphur content of fuel, used for propulsion and electricity production, was not allowed to exceed more than 0.1% sulphur. This resulted in that many vessels changed to a more fluid fuel that did not contain as much sulphur. The changeover gave lower sulphur emissions but higher costs in \$ / kWh. In this case study, focus is placed on the fuel cell as an alternative auxiliary power generator aboard ships. The fuel cell, from Powercell Sweden AB, is compared in both efficiency and fuel consumption against a diesel generator on the vessel Stena Jutlandica. The diesel generator is powered by low-sulphur ECA oil and the fuel cell is powered by hydrogen. This study includes a comparison in cost, size, weight and suitability. The major objective of the report is to show the reader another alternative to production of electricity and to provide knowledge of

the fuel cell and its potential. The study shows that the fuel cell is both more environmentally friendly, has a better efficiency and specific fuel consumption, a lower weight and the cost of maintenance and purchasing is lower than the diesel generator. Though the hydrogen price is very high, the fuel cell becomes more expensive in operating costs.

Keywords: Powercell Sweden AB, Fuel cell, SFC, efficiency, Hydrogen, PEM, Auxiliary power unit, Comparison, Renewable energy resource, Ships

Förord

Författarna skulle vilja tacka Cecilia Gabrieli för en bra handledning under studien, företaget Powercell Sweden AB för all data och information om deras bränslecell och sist maskinpersonalen på fartyget Stena Jutlandica för data och information om deras dieselgenerator.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	i
Förord	iii
Figurförteckning	vi
Tabellförteckning	vi
1 Introduktion	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Bakgrund och teori	3
2.1 Tidigare forskning och studier.....	3
2.2 Teori bränslecell	4
2.3 Bränslecell av typen Proton Exchange Membrane (PEM).....	4
2.3.1 Bränslesystem för en bränslecell	5
2.3.2 Vätgasdrift	6
2.3.3 Elproduktion med bränslecell	7
2.4 Dieselgenerator	7
2.4.1 Stena Jutlandicas dieselgeneratorer	7
2.4.2 Elnätuppbbyggnad.....	7
2.4.3 Bränslesystem för en dieselgenerator	8
2.4.4 Effektförbrukning av dieselgeneratorns kringssystem	8
2.4.5 Driftlägen på Stena Jutlandica.....	9
2.5 Bränslen.....	9
2.5.1 ECA-olja	9
2.5.2 Vätgas	10
2.6 Livslängd och reservdelar	10
2.7 Klassning och regelverk.....	11
2.7.1 Bränslecell	11
2.7.2 Dieselgenerator	12
2.8 Formler och ekvationer	12
3 Metod	15

3.1	<i>Litteraturgenomgång</i>	15
3.2	<i>Beräkningar och analys</i>	15
3.2.1	Beräkningsmetod för SFC och Verkningsgrad	15
3.2.2	Beräkningsmetod för underhållskostnad	16
3.2.3	Beräkningsmetod för driftkostnad	16
3.2.4	Metod för sökande av för och nackdelar	16
3.3	<i>Studiebesök</i>	16
3.4	<i>Källkritik</i>	17
4	Resultat	18
4.1	<i>Verkningsgrad och specifik bränsleförbrukning</i>	18
4.1.1	SFC	18
4.1.2	Verkningsgrad	19
4.2	<i>Kostnad</i>	20
4.2.1	Inköp	20
4.2.2	Underhållskostnad	21
4.2.3	Bränsledriftkostnad	21
4.3	<i>För- och nackdelar</i>	21
5	Diskussion	26
5.1	<i>Resultatdiskussion</i>	26
5.1.1	SFC och verkningsgrad	26
5.1.2	Kostnad	26
5.1.3	För- och nackdelar	27
5.2	<i>Metoddiskussion</i>	28
5.2.1	SFC och verkningsgrad	28
5.2.2	Kostnad	29
5.2.3	För- och nackdelar	30
6	Slutsatser	30
	Referenser	31
	Bilagor	1

Figurförteckning

Figur 1. Uppskalad bränslecell (Powercell Sweden AB, 2016a, s. 38)	5
Figur 2. Ritning över bränslecellssystemet	6
Figur 3. Graf SFC.....	19
Figur 4. Graf verkningsgrad	20

Tabellförteckning

Tabell 1. Kringssystem Dieselgenerator.....	8
Tabell 2. Jämförelse specifik bränsleförbrukning	18
Tabell 3. Jämförelse verkningsgrad.....	19
Tabell 4. Underhållskostnad.....	21
Tabell 5. Bränslekostnad under givna driftlägen	21

Nomenklatur

380VAC	380 Volt Alternative Current (Volt växelström)
Atomisering	Finfördelning av dimma
Booster unit	Bränslesystem för fartygsdiesel
Carno-processen	Grundläggande process i termodynamiken och visar den största mekaniska energi som kan erhållas från en maskin som arbetar mellan två temperaturer
CV	Calorific Value
DNV	Det Norske Veritas, klassningssällskap
El patroner	Elektriska tubvärmväxlare
ECA	Emission Control Area
Elektrokemisk reaktion	Reaktion där bunden energi direkt omvandlas till elektricitet
IGF-koden	The International Code for Ships using Gases and other Low Flashpoint Fuels
IMO	International Maritime Organization
Jet-assistant	Antilagg system för avgasturbo
Kongsberg k-chief	Kontrollsystem för maskinsystem
LNG	Liquefied Natural Gas
MDO	Marine Diesel Oil
Pa	Pascal, SI-enhet för tryck
PEM	Proton Exchange Membrane
Purge	Blåsa, lufta, ventiler
Reformering	Frigörelse av ämnen
S3	Powercell Sweden ABs största bränslecell
SECA	Sulphur Emission Control Area

1 Introduktion

Traditionella bränslen inom sjöfarten är på väg att fasas ut då både internationella och nationella utsläppsregler blir allt striktare. År 2015 höjdes kraven inom Sulphur Emission Control Area (SECA) då bränslen inte fick innehålla mer än 0,1 % svavel. Resultatet blev att flertalet fartyg gick över till diesel eller restbränsle med lägre svavelhalt men användning av fossila bränslen och utsläppen av kväveoxider (NO_x), partiklar och koldioxid (CO₂) kvarstod. (www.IMO.org)

För att skapa elektricitet eller framdrivning på fartyg används oftast en dieselmotor. Bränsleceller är en teknik som börjar komma fram allt mer, men vetenskapen om hur en bränslecell är uppbyggd och skapar energi är något som inte är lika förståeligt. Kortfattat fungerar bränslecellen likt ett batteri, men energin finns inte lagrad i enheten utan tillförs genom en elektrokemisk reaktion mellan väte och syre (Barbir, 2013, kap 2, s. 17).

Ett bränsle inom sjöfarten som redan har stor uppmärksamhet och används på allt fler fartyg är Liquefied Natural Gas (LNG) då det innehåller betydligt mindre svavel, kräver mindre energi för framställning och resurserna är stora för att nämna några av fördelarna jämfört med diesel (Kumar, Kwon, Choi, Lim, Cho, Tak & Moon, II, 2011). Bränsleceller har i dagens läge möjlighet att drivas med LNG, men drivs vanligtvis på vätgas. Vätgas är ett bränsle som inte fått lika stor uppmärksamhet, men tester inom sjöfartssektorn börjar komma. Företaget Powercell i samarbete med flera andra parter har t.ex. nyligen startat ett marint projekt för att ta fram ett vätgasbaserat bränslesystem till deras bränsleceller (Powercell Sweden AB, 2017).

De båda bränslena är attraktiva inom branschen sett till minskad miljöpåverkan. LNG-utbudet är stort men för bränslecellen ger LNG en lägre verkningsgrad än vätgas, eftersom naturgasen först måste omvandlas till vätgas där reformeringen är en endoterm process (De Jong, Reinders, Kok & Westerndorp, 2009). Vätgas ger en betydligt högre verkningsgrad då reformeringsprocessen ej krävs men tillgängligheten för bränslet är tyvärr lågt (Vätgas sverige, 2017).

Användningen av bränsleceller har inte varit stor inom sjöfarten då både utbud och efterfrågan varit lågt. Dieselmotorn har däremot dominerat marknaden då efterfrågan har varit betydligt större, vilket beror dels på dess höga verkningsgrad och dels på hög tillgänglighet på diesel och tjockolja. En viktig aspekt att nämna är den varierande verkningsgraden hos dieselmotorn där den är som störst vid maxbelastning. Då en dieselgenerator sällan körs med max last på fartyg (p.g.a. driftsäkerhet då plötsliga laster kan resultera i blackout) kommer det inte uppnås en optimal verkningsgrad vid normala driftförhållanden. Verkningsgraden för bränslecellen rör sig i motsatt riktning. Vid lägre laster har bränslecellen en hög verkningsgrad men när lasten ökar försämras verkningsgraden (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 4 oktober 2016). Just tekniken för bränsleceller har generellt funnits länge, men på senare år har den fått en allt större uppmärksamhet och utvecklingen har tagit fart. Med förnyad teknik hos

bränslecellen, blir det intressant med en ny jämförelse mellan bränslecellen och den konventionella dieselmotorn.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att jämföra hur en bränslecell ställer sig emot en dieselgenerator på ett fartyg, gällande elproduktionen till förbrukare vid olika laster.

1.2 Frågeställning

Huvudfråga

Hur kan bränsleceller vara ett alternativ till elproduktion istället för en dieselgenerator?

Underfrågor

Hur skiljer sig verkningsgraden och den specifika bränsleförbrukningen (SFC) för respektive energiproducent?

Hur ser de ekonomiska aspekterna ut när det kommer till elproduktion för bränsleceller gentemot dieselgeneratorer?

Vilka för- och nackdelar finns i drift mellan de olika energiproducenterna?

1.3 Avgränsningar

Arbetet avgränsas till ett specifikt RoPax-fartyg och en specifik bränslecell, av typen ”Proton Exchange Membrane” (PEM). Vid jämförandet kommer bränslecellen drivas med vätgas som bränsle och dieselgeneratorn kommer att drivas med ECA-olja. Rapporten kommer inte närmare beskriva hur en dieselmotor fungerar, det förutsätts att läsaren förstår sig på en dieselmotors förbränning och cykler.

Driftanalysen av bränslecellen avgränsas till laborationstester, utförda av Powercell Sweden AB, medan driftanalysen för dieselgeneratorn kommer från ett verkligt fartygsscenario. Utgångspunkten är elproduktion till förbrukare och ej framdrivning.

2 Bakgrund och teori

Kortfattat fungerar bränslecellen likt ett batteri, men energin finns inte lagrad i enheten utan tillförs genom en elektrokemisk reaktion mellan väte och syre (Barbir, 2013, kap 2, s. 17). Ju mer bränsle och luft som tillförs desto större blir effektuttaget. Eftersom väte och syre är de enda som ingår i reaktionen bildas endast vattenånga och värme som biprodukt i avgaserna.

Själva bränslecellstekniken är mycket äldre än dieselprincipen, redan 1839 demonstrerade Sir William Grove dess funktion. Det var inte förrän 1938 som observationer av potentialen hos bränslecellen blev mer känt. Efter 1938 började teknologin utvecklas mer och mer. (Barbir, F. sid. 4)

2.1 Tidigare forskning och studier

Användningen av bränsleceller på handelsfartyg är inte speciellt utbredd (de-Troya, Álvarez, Fernández-Garrido, & Carral, 2016). Försök och tester har gjorts med åren, de-Troya et al. (2016, ss.2857-2863) nämner ett flertal studier där det tidigare utförts tester med bränsleceller till sjöss. Testerna har innefattat såväl elproduktion såsom fartygs framdrift. ZEMSHIP var däribland ett projekt mellan 2007-2010 som utvecklade båten FCS Alsterwasser som är ett mindre passagerarfartyg i Hamburgs stadsdel. Framdrivningen bestod av 2x48kW bränsleceller av typen Proton Exchange Membrane (PEM) parallellkopplat med ett större batteri. Ett annat projekt är *FellowSHIP* som inleddes av Det Norske Veritas (DNV) 2003, men det dröjde ända tills 2009 innan supply fartyget Viking lady hade konstruerats och sjösatts. Framdrivningen är av dieselelektrisk typ och drivs med LNG. En av dess elproducenter består av en bränslecell av typen "High Temperature Fuel Cell" (HTFC) på 330kW. Det var den första installationen i världen av den typen av bränslecell på ett fartyg. Fartyget är än i bruk.

Foss Maritime gjorde tillsammans med U.S. Department of Energy Sandia National Laboratory en undersökning 2015 angående en portabel bränslecellsenhet, byggd i en container, som skulle strömförsörja lastade kylcontainrar på ett fartyg. Hydrogenics Corp. designade och tillverkade enheten. Containern inkluderade en 100kW bränslecellsenhet, lagringstankar för vätegaset och en enhet för omvandling av strömmen. Tanken var att ersätta dieselgeneratorns uppgift för strömförsörjning av kylcontainrarna. Försöket pågick under 6 månader och gav lyckade resultat (Sandia National Laboratories, 2017).

Den 1 januari 2017 satte IMO in IGF-koden, vilken reglerar konstruktionen av ett fartyg som ska drivas på lättantändligt bränsle. I ett utkast från 2013 till IGF-koden hade bränslecellen ett eget kapitel men togs bort i slutliga utgåvan. (www.imo.org)

Ayed, Kostitsky & Falletta. (2009) gjorde en undersökning i sitt examensarbete med inriktning på den teoretiska biten om bränsleceller. Där behandlades vilka möjligheter som finns genom att beskriva olika typer av bränsleceller samt metoder för att producera vätgas. Främsta tillämpningsområdet ansåg de vara på kryssningsfartyg eftersom buller och oljud i princip försvinner med bränslecelldrift.

2.2 Teori bränslecell

Tillverkningen av energi sker kemiskt, med andra ord finns det inte några rörliga delar i energitillverkningen. För att processen ska äga rum behövs två huvudämnen och närmare bestämt två gaser; väte (H) och syre (O). Dessa gaser behöver inte vara helt rena för att skapa energi. Vätet är inte sällan blandat med andra ämnen (kväve, koldioxid eller kolmonoxid) eller med kolväteföreningar (metan, etan eller butan). Även syret behöver inte vara helt rent, rumstempererad luft är ett godkänt alternativ till ändamålet enligt Barbir. (2013, ss. 1-4). Eftersom processen är en elektrokemisk reaktion, vilken sker utan en termodynamisk cykel, begränsas den därmed inte av Carnotprocessen (de-Troya et al., 2016). Carnotprocessen är en grundläggande process i termodynamiken och visar den största energi som kan erhållas från en maskin som arbetar mellan två temperaturer (www.ne.se).

Den kemiska reaktionen som uppstår liknar mycket ett batteri. Skillnaden är att bränslecellen inte har energin lagrad, den behöver alltså ett konstant flöde av bränsle och syre för att bilda elektricitet. Så länge det finns bränsle och syre till cellerna omvandlas energi till elektricitet. Varje cell producerar en spänning på ca. 1.25 Volt i bränslecellen från Powercell Sweden AB. Genom att kombinera fler celler i bränslecellen ökar systemets (kretsens) spänning. Vidare beror strömstyrkan på cellstorleken. (Powercell Sweden AB, 2016a, s. 38). När flera celler kombineras kallas de en stack.

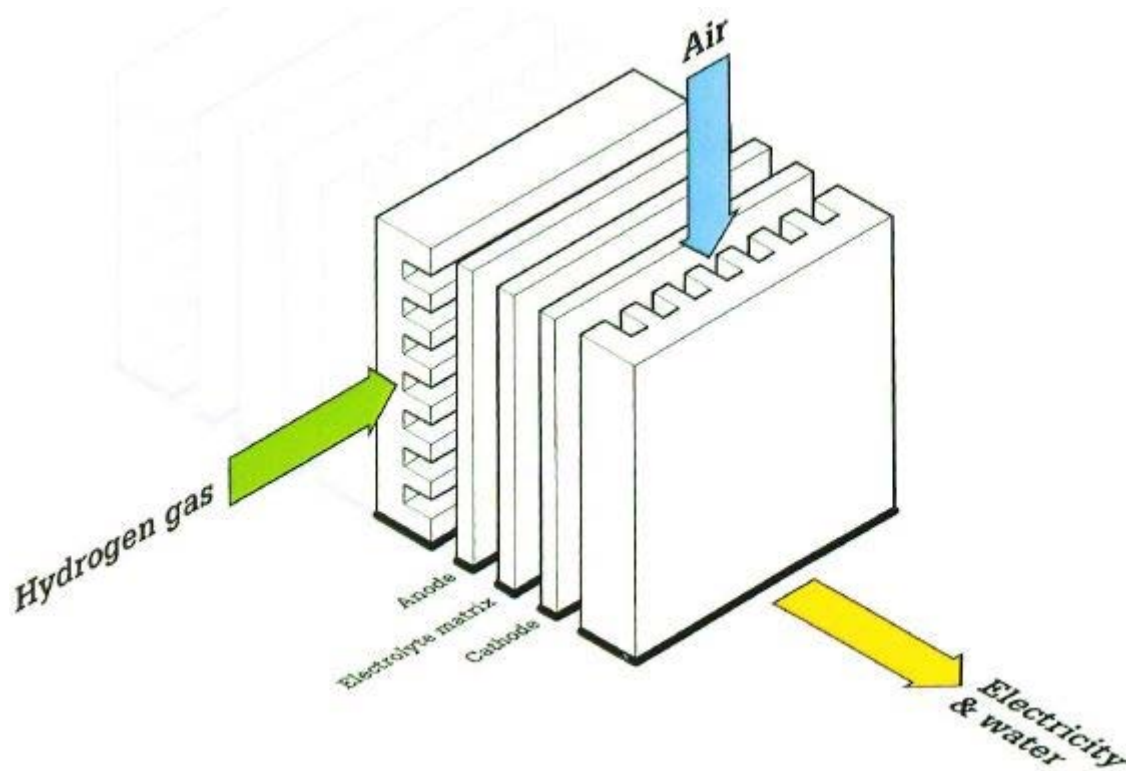
2.3 Bränslecell av typen Proton Exchange Membrane (PEM)

I figur 1. visas en uppskalad bränslecell. Cellen har två elektroder som är separerade från varandra. På ena sidan är elektroden en anod och på den andra en katod. Anoden förses med bränsle, i det här fallet är bränslet vätgas, och katoden förses med luft. De två elektroderna är separerade av ett membran (elektrolyten) (Powercell Sweden AB, 2016a, s. 38). När vätet kommer in i anoden börjar oxidationen av vätet. En katalysator, oftast platinum, påskyndar separeringen av väteprotonen och elektronen ifrån varandra. Vid detta stadiet i processen är dessa vätejoner (H^+) och elektroner (e^-). Just för att de är olika laddade kommer de att ta olika vägar för att sedan nå ett gemensamt mål.

Elektronen tar en extern väg, dvs den lämnar bränslecellen för att kunna ge elektricitet till olika komponenter så som elmotorer, glödlampor, skärmar och mycket annat. När elektronen har tilldelat elektricitet till alla komponenter färdas den vidare tillbaka till bränslecellen, men anländer på andra sidan, katod-sidan. Protonen stannar i stället inom bränslecellen, den passerar igenom elektrolyten, Proton Exchange Membrane (PEM), över till katod-sidan. På katod-sidan förenas protonen med elektronen och syret och bildar vatten (H_2O). För att protonen ska kunna färdas igenom elektrolyten (membranet) måste elektrolyten ha en högre konduktivitet än protonen, men den måste även ha en bra isolation för att hindra elektronerna från att passera (Sanborn Scott, 2004, ss. 2-3).

Det är utefter vilken sorts elektrolyt som används i bränsleceller som bestämmer hur de är klassade. En PEM använder sig av en Proton Exchange Membrane som elektrolyt. PEM-bränslecellen arbetar vid en lägre temperatur än en förbränningsmotor och andra sorters

bränsleceller, lägre än 100°C. Den har snabb uppstart, enligt P. Ekdunge på Powercell tar det ca 3 sekunder för den att starta upp och ge elektricitet (personlig kommunikation, 4 oktober 2016). Nuförtiden är PEM-teknologin den mesta använda, 95% av alla beställningar som görs i världen på bränsleceller är just PEM. (Powercell Sweden AB, 2016a, s.39)



Figur 1. Uppskalad bränslecell (Powercell Sweden AB, 2016a, s. 38)

Powercell AB Bränsleceller Fakta

Nedan är den officiella informationen om Powercell AB bränslecell S3.

Längd (mm): 149

Maximal Effekt: 100 kW

Höjd (mm): 444

Maximal ström: 570 A

Bredd (mm): 419

Spänning per cell: 1.25 V

Vikt (kg): 32.3

Maximala temperatur: 95°C

(Powercells Sweden AB, 2016b)

2.3.1 Bränslesystem för en bränslecell

En skiss över bränslesystemet ses i Figur 2.

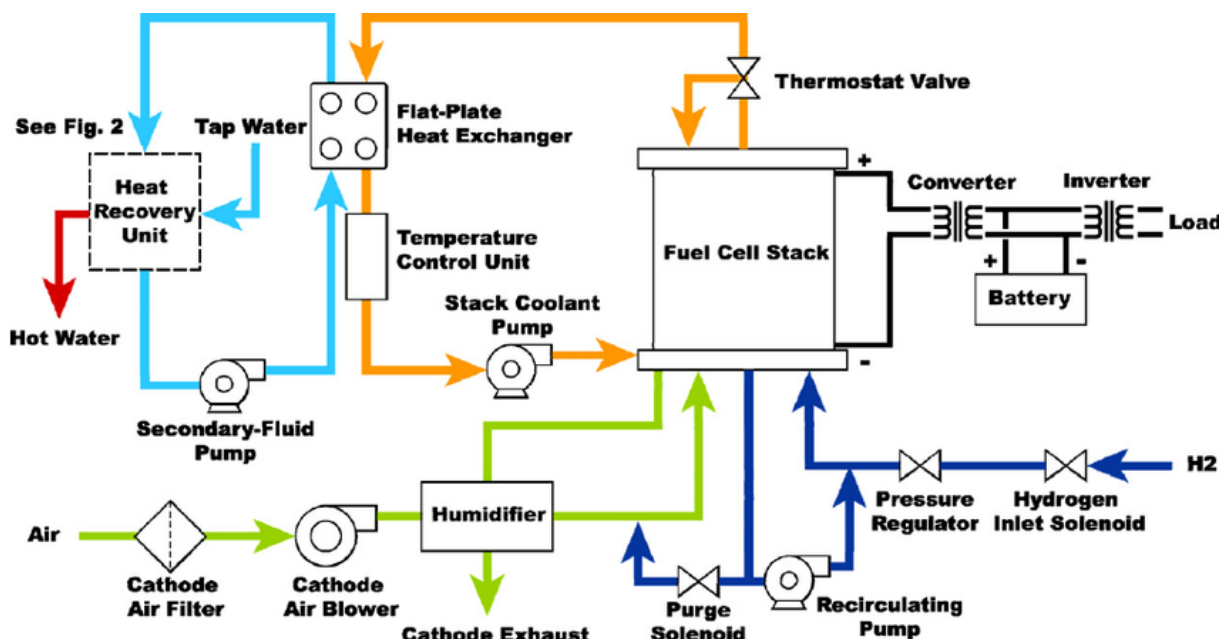
Luften tillförs bränslecellen via en kompressor (ca 1bar övertryck) och det är luftflödet som reglerar den utgående effekten. För att membranet i bränslecellen skall leda joner effektivt krävs det att luften har en relativ luftfuktighet av minst 50%. Denna luftfuktighet uppnås genom att använda en befuktare där vattenångan från utgående luft, i bränslecellen, fuktar den ingående luften. De båda flödena särskiljs i befuktaren med ett semipermeabelt membran,

vilket är ett membran som bara släpper igenom vattenmolekylerna, se Figur 2 (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017).

På vätgassidan cirkulerar vätgasen runt i bränslecellen med hjälp av en cirkulationspump. Fram till stacken hålls vätgasen med ett konstant tryck och en reglerventil tillför lika mycket vätgas som förbrukas i stacken. Cirkuleringen är nödvändig för att vätgaskoncentrationen skall hållas jämn. Efter en tids drift händer det att en del av det kväve som finns i den inkommande luften passerar till vätgassidan. Kvävet spär ut vätgaskoncentrationen, vilket gör att det krävs jämna dräneringscykler ("purge"). Detta sker väldigt snabbt, under en sekund (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017).

Bränslecellen har en drifttemperatur kring 80 °C. För att inte bränslecellen ska överstiga sin tillåtna maxtemperatur kyls den ner med vatten. Den spillvärme som vattnet tar upp kan användas via en sekundärkrets till andra ändamål. Detta ökar i sin tur verkningsgraden på själva systemet till nästan 96% (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017).

Batteriet i systemet har flera olika funktioner, dels agerar det som en buffert vid plötsliga laständringar och används vid uppstart för systemets komponenter (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017).



Figur 2. Ritning över bränslecellssystemet

2.3.2 Vätgasdrift

Vätgasen kan produceras på flera olika sätt vilket beskrivs i kapitel 2.5.2. I reformerad vätgas finns det kolmonoxid som bryter ner och förgiftar bränslecellen. Detta bidrar till att livslängden minskar säger P. Ekdunge (personlig kommunikation, 22 mars 2017). Det är därför viktigt att sträva efter att köra på så ren vätgas som möjligt.

En utmaning med vätgas är hur den ska förvaras. Hyundai har (2017) lanserat en vätgasbil, där bränsletanken är trycksatt till 700 bar (70MPa) vilket säger en del om vilka krav som ställs på bränslesystemet (www.hyundai.se). Det kan jämföras med ett bildäck som brukar ligga mellan 2 - 2,5 bars tryck.

2.3.3 Elproduktion med bränslecell

Då bränslecellen producerar likström måste den ha en omformare som kan omvandla likströmmen till växelström för att den ska kunna sammankopplas med elnätet. Omformaren bör också kunna producera reaktiv effekt då bränslecellen saknar den förmågan samt kunna hantera spänningsvariationer. En växelriktarmetod är pulsbreddmodulering som i de flesta fall klarar av att producera reaktiv effekt, skriver Larson & Holm (2015, kap. 6.5).

2.4 Dieselgenerator

I dagsläget är fossila bränslen den mest använda energikällan till både elproduktion och framdrivning av fartyg. Tillgången på fossila bränslen 2017 är stor, då det finns en överproduktion av dem. Genom att studera oljeprisernas minskning åren 2014 - 2015 framträder denna överproduktion (www.avanza.se).

När en dieselgenerator ska producera elektricitet måste energi tillföras. Detta sker vid förbränning av bränsle, i det här fallet ECA-olja (se avsnitt 2.5.1). Det sker en explosion i cylindern som sedan pressar kolven nedåt av det tryck som uppstår. Kolven i sin tur sätter rotation på vevaxeln som är kopplad till själva generatoren (Kuiken, 2012, kap. 3, s. 41). Alla dessa komponenter är rörliga delar som producerar vibrationer och buller (egna observationer). Då dieselmotorn är en värmemaskin, begränsas dess verkningsgrad av carnotprocessen. Dieselmotorn har dock fördelen att den kan köra på flera olika bränslen såsom destillat, restbränslen och gasbränslen eller kombinera dessa (Kuiken, 2012, kap. 8 och 29).

2.4.1 Stena Jutlandicas dieselgeneratorer

Stena Jutlandica har 4st MAN 8L28/32H (exklusive nödgeneratorn) som hjälpmaskiner vilka producerar en effekt av 1760kW vardera. Tre av dieselgeneratorerna drivs på ECA-olja medan den fjärde kör på Marine diesel oil (MDO) (egna observationer, 14 mars 2017). Enligt manualen väger dieselgeneratoren 40,7 ton med dimensionerna 8749 mm lång, 1800 mm bred och 3374 mm hög.

Under 2016 kördes samtliga fyra generatorer ca 12 000h vilket resulterar i 3000h för vardera enhet säger Johan Stranne, teknisk chief på Stena Jutlandica (personlig kommunikation, 4 maj 2017).

2.4.2 Elnätuppbyggnad

Uppbyggnaden av eldistributionen på fartyg består av minst två dieselgeneratorer som genererar el till fartygets olika förbrukare, vilket är ett redundanskrav (IMO, 2009, 40.1.1). Generatorerna sammankopplas till en gemensam huvudtavla innan strömmen fördelas vidare till förbrukare. Nödgeneratoren är sammankopplad via en separat tavla och särskiljs

automatiskt vid strömavbrott (Jakobsson & Zackariasson, 2017). Förbrukarna består av hjälpsystem till huvudmotorn såsom pumpar, fläktar och reglersystem samt radioutrustning för bryggan, bogar, belysning etc.

Elnätet på Stena Jutlandica är trefas växelström där huvudspänningen är 380 VAC 50 Hz (egna observationer, 14 mars 2017). Då generatoren är direktkopplad till dieselmotorn, innebär det att dieselmotorn måste hålla ett konstant varvtal för att följa fartygsnätets frekvens (Jacobson & Osbeck, 2012, kap 5, s. 13). Samtliga generatorer måste också fasas in mot varandra så att de följer den gemensamma växelverkande sinusspänningen.

2.4.3 Bränslesystem för en diesलगenerator

Bränslesystemet för diesलगeneratorerna på Stena Jutlandica är uppbyggda på följande sätt (egna observationer, 14 mars 2017).

Bränslesystemet för en diesलगenerator på ett fartyg kallas för ”booster unit”. Bränslet pumpas från dagtanken med en matarpump vars syfte är att tillföra bränsle till systemet. Härfter pumpas bränslet genom ett autofilter, via en flödesmätare innan det leds vidare till mixing-tanken. Bränsleflödesmätarens värde motsvarar den kvantitet bränsle som motorn förbrukar. Mixing-tanken fungerar som en buffert för cirkulationspumparna som ständigt cirkulerar bränslet mellan mixing-tanken och motorn så att bränslets temperatur hålls jämn och tillförseln är god. Mellan cirkulationspumpar och motor sitter värmväxlare som värmer bränslet till rätt viskositet, därefter leds bränslet till en viskometer, som mäter flytbarheten på bränslet, innan det leds vidare till motorn (Kuiken, 2012, kap. 8, s.161).

2.4.4 Effektförbrukning av diesलगeneratorns kringssystem

Effektbehovet kan exemplifieras med en sjöresa för Stena Jutlandica då endast en diesलगenerator är igång, se avsnitt 2.4.5.

Tabell 1. Kringssystem Diesलगenerator

Enhet	Märkeffekt (kW)	Uppmätt effektförbrukning (kW)
Booster unit matarpump	3	2
Booster unit cirkulationspump	3	2
LT-pump	55	35
Sjövattenpump	59	5 (frekvens styrd)
Bränsleseparator inkl. matarpump	13,7	9,5
Smörjoljeseparator inkl. matarpump	3,75	2,6
Bränslekvarnar	11	11
Summa	94kW	66kW

Fler enheter inkluderas i Jutlandicas normala driftfall. Uppstarten sker exempelvis med tryckluft, styr och reglersystem kräver elektricitet, jet-assistent arbetar med att motverka turbolagg under snabba lastförändringar med hjälp av tryckluft mm. Effektsumman av dessa anses dock vara försumbara då effekterna är små och svåra att mäta. Effekterna som visas i tabell 1. kan ses som ett riktvärde som är tillräckligt för att få en uppfattning hur mycket det kringliggande systemet förbrukar. Eftersom samma antal enheter också används till upp till fyra dieselgeneratorer beror systemets totala verkningsgrad från fall till fall.

Utöver dessa system tillkommer ett effektbehov för uppvärmning av bränslet i en mängd steg. För att undvika vax och kristallbildning skall bränslets temperatur hållas minst 3 grader över dess stelningpunkt, enligt Pahlm (2015). I nästa steg skall bränslet hålla tillräckligt hög temperatur för att den ska vara pumpbar. Slutligen behövs värme för att få önskad viskositet till reningsprocess och bra atomisering vid insprutningen. Då Stena Jutlandica tar denna effekt från huvudmotorernas spillvärme så behövs det inte räknas med i tabell 1.

2.4.5 Driftlägen på Stena Jutlandica

Effektuttagen från generatorerna varierar beroende på vart Stena Jutlandica befinner sig under rutten. Ute till sjöss klarar de sig vanligtvis med en dieselgenerator för att försörja elförbrukningen ombord. Så snart de närmar sig skärgården och börjar gå in mot hamn ställs det säkerhetskrav på att två dieselgeneratorer måste vara igång, så kallat *coastal mode*, enligt J. Engström 2:e fartygsingenjör på Stena Jutlandica (personlig kommunikation, 14 mars 2017). Strax därefter när bogpropellrarna ska användas startas även en tredje generator. Lastfördelningen mellan de generatorer som går är *equal mode*, dvs lasten fördelas lika.

Nedan ges tre driftlägen, effekten är baserad på en av de tre dieselgeneratorerna. Informationen är baserad på analys av bilaga 1.

1. Till sjöss, lasten varierar kring 800-1100kW.
2. *Coastal mode*, lasten varierar mellan 300-500kW.
3. *Coastal mode* + körning av bogpropellrar, lastens variation, 200-1300kW.

2.5 Bränslen

2.5.1 ECA-olja

Bränslet som används för dieselgeneratorerna på Stena Jutlandica är ECA-olja (RMD80, ISO8217:2010) och har enligt H. Rondahl på Stena oil (personlig kommunikation, 16 mars 2017) ett undre värmevärde (*CV, net calorific value*) av 42,21 MJ/kg. ECA-olja är ett fossilt restbränsle med reducerat svavelinnehåll. När ECA-oljan förbränns i en dieselmotor bildas det kolmonoxid (CO), koldioxid (CO₂), vatten (H₂O), kväveoxider (NO_x), svaveloxider (SO_x), kolväte (HC) och partiklar (Kuiken, 2012, kap. 22, s.143). Snittpriset på ECA-oljan låg på 480\$/t under mars månad 2017 enligt H. Rondahl på Stena oil (personlig kommunikation, 3 april 2017).

2.5.2 Vätgas

Vätgas kan produceras på flera olika sätt, vilket också bestämmer renheten på gasen. Enligt Fernandes, Woudstra, van Wijk, Verhoef, & Aravind. (2016) är vätgas huvudsakligen producerad via "*natural gas steam reforming*", så kallad reformerad vätgas. Det är en metod där vätet särskiljs från naturgasens kolväte-molekyler och förädlas. I reformerad vätgas förekommer spillämnena såsom kolmonoxid, koldioxid och kväve vilket ej är önskvärt, framförallt kolmonoxiden som förgiftar bränslecellen. Den behövs få ner till några ppm säger P. Ekdunge (personlig kommunikation, 22 mars 2017).

Elektrolys av vatten är en annan metod där elektricitet används för framställning. Vätgasen som fås har en hög renlighet eftersom vattnet som spjälkas endast består av väte och syre. Fördelen med denna metod är att förnyelsebara energikällor kan användas vid produktionen och vätgasen blir på så vis mer miljövänlig som energikälla. Den ökade renheten bidrar också till en längre livslängd för bränslecellen enligt P. Ekdunge (personlig kommunikation, 22 mars 2017).

Vätgas är färglös, luktlös och mycket brandfarlig. Den är betydligt lättare än syre och i större mängder är den också kvävande (Woikoski, 2017). För just den här vätgasen som användes i laborationstestet ligger värmevärdet på 33.33 kWh/kg enligt P. Ekdunge på Powercell AB (personlig kommunikation, 3 februari 2017). Detta motsvarar 120 MJ/kg. Det pris vätgas ligger på för en privatperson är 80 kr/kg (9,09 \$/kg), detta är inkl. moms (Nyteknik, 2015). Priset kan se annorlunda ut för ett rederi/företag.

Ett argument till att inte använda vätgas som drivmedel är att den är väldigt explosiv. För att vätgas ska antändas ska det vara en koncentration på 4-75% vätgas i luft, men eftersom vätgas är mycket lättare än luft stiger den upp i atmosfären. Koncentrationen av vätgas kommer därför att minska snabbt under 4%. En annan aspekt är att flytande bränslen inte avdunstar lika snabbt vilket ger i sin tur en möjlighet för dem att rinna iväg till en farligare omgivning (My Fuel Cell, 2017).

Utbyggnaden av vätgasinfrastrukturen i Sverige är låg. För vätgasdrivna bilar invigdes Sveriges fjärde tankstation i december 2016, skriver AGA i ett nyhetsbrev (2016). Bulkleveranser av större kvantitet kan däremot levereras antingen som kryogen vätska eller högtrycksgas till kundens anläggning, enligt AGA (2017).

2.6 Livslängd och reservdelar

Bränslecellens konstruktion består inte av några rörliga delar, därav finns det inget mekaniskt slitage för de olika komponenterna i bränslecellstacken. Eftersom bränslet som används är så pass rent bildas det heller inte föroreningar som kan påverka stackens funktion. När stacken inte längre fungerar som den ska byts den ut mot en ny. (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 4 oktober 2016)

Livslängden på en bränslecell varierar beroende på vad som anses vara en förbrukad bränslecell. Enligt P. Ekdunge (personlig kommunikation, 22 mars 2017), är den förbrukad

när den tappat 20% av den effekt som den producerar när den är som ny. Detta brukar vara det kriteriet som används när Powercell Sweden AB gör tester på bränslecellen för att avgöra livslängden. Efter en viss tid blir spänningsfallet över stacken högre och det bidrar då till en lägre nyttbar effekt. Den tappade effekten blir då värme istället för elektricitet. Efter en tid blir bränslecellen så varm att det blir för svårt att kyla ner den. För att sätta det i ett tidsperspektiv ligger livslängden för en bränslecell på en buss mellan 20 000 – 30 000 timmar, en stationär 40 000 – 60 000 timmar och en bil ligger på 6 000 timmar. När bränslecellen arbetar med konstant last kommer den att ha en längre livslängd (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017).

En dieselgenerator har däremot en mängd rörliga delar som resulterar i friktion inuti motorn, så som skrapringar, lager m.m. Dessa rörliga delar kommer att slitas ut efter en viss gångtid och måste bytas, varför det alltid bör finnas en uppsättning av reservdelar till dieselgeneratoren. Antalet reservdelar ombord bestäms av klassningssällskapen, oftast ger klassningssällskapen riktlinjer/rekommendationer på hur många reservdelar som bör finnas ombord till olika maskiner (Det Norske Veritas, 2015).

Eftersom delarna succesivt byts ut har inte dieselgeneratoren någon jämförbar livslängd mot bränslecellen utan den begränsas snarare av tiden då fartyget skrotas. Årligen görs mindre inspektioner och service medan var 18 000 drifttimma görs en stor överhaling säger Johan Stranne, tekniskt chief på Stena Jutlandica (personlig kommunikation, 4 maj 2017).

2.7 Klassning och regelverk

I följande avsnitt tas klassning och redundanskrav, för bränsleceller och dieselgeneratorer på fartyg, upp.

2.7.1 Bränslecell

Enligt ett utkast från 2013 till IGF-koden står det följande krav (International Maritime Organization, 2013, kap. 10.6).

- Designen av bränslecellen ska försäkra att ett enda fel på någon komponent inte ska leda till förlorad framdrivning eller elektricitet.
- Placeringen av bränslecellen ska vara arrangerad på ett sätt så att framdrivning eller elektricitet inte förloras när den stoppas för underhåll.
- Om bränslecellen används till att producera elektricitet vid en "black out" eller ett dött skepp ska händelsen dokumenteras vid varje fall.
- Alla bränslerör ska vara konstruerade med dubbel gastätning som uppfyller rekommendationerna i 10.4.
- De bränslerör som inte är konstruerade med dubbel gastätning ska vara helt svetsade och ventilationen ska vara så pass effektiv att inga koncentrationer av gas är inom det brännbara området för vätgas. Alla ventiler ska vara läckttestade för bränslet. I rummet där bränslecellen befinner sig ska det finnas en gasdetektor som automatiskt ska stänga av systemet vid läckage.

- Bränslecellsstacken, bränslecells systemet och gas systemet ska befinna sig i olika rum separerade från varandra. De bränslecell system som är under 375kW och har systemen inbyggda tillsammans kan accepteras av myndigheterna om det finns säkerhetsanordning till att stänga bränsletillförseln vid läckage.
- För brandsystem gäller rekommendationerna i kapitel 11. Sprinklersystemet ska väljas utefter bränslecellstypen.

2.7.2 Dieselgenerator

Dieselgeneratorm och kringssystem är byggd och arrangerad ut efter SOLAS regelverk. Detta är ett regelverk som måste följas vid konstruktion av ett fartyg.

2.8 Formler och ekvationer

I följande avsnitt presenteras de ekvationer som används i beräkningarna. Ekvationerna 1-3 är tagna från (Stone, 2012, ss.17-19).

Ekv 1. Specifika bränsleförbrukningen

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}}$$

sfc = Specifik bränsleförbrukning, g/kWh
 \dot{W} = effekt ut, kW
 \dot{m}_f = massflöde, g/h

Ekv 2. Verkningsgrad

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}}$$

η = verkningsgrad
 \dot{W} = effekt ut (kW)
 \dot{Q} = tillförd effekt (kW)

Ekv 3. Tillförd effekt

$$\dot{Q} = \dot{m}_f \times CV$$

\dot{Q} = tillförd effekt (kW)
 CV = nedre värmevärde (net calorific value), kJ/kg
 \dot{m}_f = Bränsleförbrukning, kg/s

Ekvation 4. Nyttig utgående effekt

$$\dot{W}_{nyttig} = \dot{W}_{ut} - \dot{W}_{system}$$

\dot{W}_{nyttig} = Nyttig utgående effekt, kW
 \dot{W}_{ut} = Utgående effekt, kW
 \dot{W}_{system} = Kringliggande systemets effekt, kW

Ekvation 5. Bränsledriftkostnad

$$Y = (\dot{m}_f \cdot x) / (\dot{W} \cdot t)$$

Y = Bränsledriftkostnad, \$/kWh \$/kWh

x = Bränslekostnad, \$/kg

\dot{m}_f = massflöde, kg/h

\dot{W} = Effekt ut, kW

t = Antal timmar, h

Ekvation 6. Vikt-effekt-förhållande (Power-to-weight ratio)

$$A = \frac{m}{W_m}$$

A = Vikt-effekt-förhållande, kg/kW

m = enhetens massa, kg

W_m = Max effekt ut, kW

Ekvation 7. Effekt per volym

$$C = \frac{W_m}{L \cdot H \cdot B}$$

C = Effekt per volym, kW/m³

L = Enhetens längd, m

H = Enhetens höjd, m

B = Enhetens bredd, m

Ekvation 8. Bränslekostnad per energimängd

$$E = \frac{x}{CV} \cdot 10^6$$

E = Bränslekostnad per energimängd, \$/GJ

x = Bränslekostnad, \$/kg

CV = nedre värmevärde (net calorific value), kJ/kg

Ekvation 9. Effektförbrukning trefas elmotorer

$$P = U_h \cdot \sqrt{3} \cdot I_l \cdot \cos\varphi$$

P = Effektförbrukning, W

U_h = Huvudspänning, V

I_l = Linjeströmmen, A

$\cos\varphi$ = Fasförskjutning

Ekvation 10. Totala årliga underhållskostnaden

$$F = \frac{(\text{årlig underhållskostnad} + \text{överhållningskostnad})}{\left(\frac{\text{överhållningsintervall}}{t_{drift}}\right)}$$

F = Totala årliga underhållskostnaden \$/år

t_{drift} = Årlig drifttid, h

Ekvation 11. Kostnad per drifttimme

$$G = \frac{F}{t_{drift}}$$

G = Kostnad per drifttimme, \$/h

F = Totala årliga underhållskostnaden \$/år

t_{drift} = Årlig drifttid, h

3 Metod

Arbetet är en fallstudie vars data kommer från litteratur, studiebesök och egna observationer. För att strukturen i arbetet ska vara läsvänligt och ha ett bra upplägg användes metodikboken av Höst, M. Regnell, B. Runesson, P. (2006). APA:s referenssystem användes för att referera alla artiklar som användes i rapporten.

Bränslecellen som analyseras är tillverkad av Powercell AB och är av typen PEM-bränslecell (Proton Exchange Membrane). Dieselgeneratoren som bränslecellen jämförs mot är en MAN B&W 8L28/32H iakttagen ombord på Stena Jutlandica.

3.1 Litteraturgenomgång

För bakgrund och teori har en beskrivande metodik använts och sekundärdata har analyserats. Från tidigare studier och litteratur samlades fakta in, vilket kompletterades med data från studiebesök på Stena Jutlandica och Powercell Sweden AB.

3.2 Beräkningar och analys

Indata för beräkningarna och analysen härstammar från två parter:

1. Data insamlad från Powercell. Genom kontakt med Per Ekdunge, vice ordförande, har faktablad om deras bränsleceller och driftanalys tagen från deras egna testlaboratorium tilldelats. Två stycken studiebesök gjordes för att få en klarare syn på bränslecellen och för att inhämta kompletterande information.
2. Data insamlad från Stena Jutlandica. Genom två stycken studiebesök har fakta insamlats och analyserats genom egna observationer under ett verkligt driftfall ombord. Joakim Engström, 2:e fartygsingenjör, har väglett oss att finna informationen.

När all information och data var insamlad gjordes en sammanställning och beräkningar av verkningsgrad, SFC, driftkostnad, underhållskostnader och inköpskostnad för dieselgeneratoren respektive bränslecellen. Därefter gjordes en jämförelse mellan bränslecellen och dieselgeneratoren.

3.2.1 Beräkningsmetod för SFC och Verkningsgrad

En av Stena Jutlandicas dieselgeneratorer användes till försöket där utgående effekt och bränsleförbrukning monitorerades ifrån Kongsbergs k-chief system. Under första studiebesöket låg Stena Jutlandica till kaj. Då lades last till i form av elpatroner för huvudmaskins förvärmning samt fläktar för lastbilsdäck för att styra dieselgeneratorns effektuttag. Vid Studiebesök nummer två monitorerades effektuttag under pågående resa från Göteborg till Fredrikshamn. Därefter har verkningsgraden och den specifika bränsleförbrukningen kunnat beräknas genom att använda ekvation 1 och 2, se avsnitt 2.8.

För bränslecellen har Powercell Sweden AB utfört laborationstester och sedan tilldelat oss den informationen. Denna information bestod av verkningsgradkurva för bränslecellsstacken och den totala verkningsgraden för bränslecellsstacken inklusive dess kringssystem (se avsnitt

2.4.4). För att få fram bränsleförbrukningen användes ekvation 2 & 3, därefter kunde ekvation 1 användas för att beräkna den specifika bränsleförbrukningen.

I beräkningar för hela systemet hos dieselgeneratoren beräknades först kringssystemets effektförbrukning genom att mäta strömmen för varje enhet under drift med en tångamperemeter. Med hjälp av strömmen, spänningsmatningen (380V huvudspänning) och fasförskjutningen kunde effekten beräknas, se ekvation 9. För sjövattpumpen som är frekvensstyrd kunde effektförbrukningen läsas av direkt från frekvensomriktaren och för LT-pumpen uppskattades effekten till två tredjedelar av dess märkeffekten. När dessa värden var klargjorda kunde den nyttiga utgående effekten beräknas med ekvation 4.

3.2.2 Beräkningsmetod för underhållskostnad

Underhållskostnaderna för dieselgeneratoren togs fram genom personlig kommunikation med Johan Stranne (4 maj 2017) och motsvarar den kostnad Stena Jutlandica lägger på en dieselgenerator. Genom att känna till underhållsintervallet och den årliga drifttiden för dieselgeneratoren, se avsnitt 2.4.1 och 2.6, kan den totala årliga underhållskostnaden och kostnad per drifttimme räknas ut med hjälp av ekvationerna 10 och 11.

För bränslecellen görs ej något löpande underhåll, den byts ut efter en viss drifttid vilket då anses vara dess underhållsintervall (beskrivs vidare i avsnitt 2.6). Kostnaden för bränslecellen återfinns i avsnitt 4.2.1. Med hjälp av den årliga drifttiden på Stena Jutlandica, avsnitt 2.4.1, kan samma beräkningar utföras med ekvationerna 10 och 11.

3.2.3 Beräkningsmetod för driftkostnad

Bränsleförbrukningen som togs fram i beräkningen av specifika bränsleförbrukningen används också här i beräkningen av driftkostnaden. För att få bränsleförbrukningen vid de bestämda effektuttagen som beskrivs i de olika driftlägena, se avsnitt 2.4.5, görs en linjär interpolering av de insamlade datatabellerna. Tillsammans med ekvation 5 kan slutligen bränsle driftkostnaden beräknas.

3.2.4 Metod för sökande av för och nackdelar

Under arbetets gång har för och nackdelar med respektive elproduktionsmetod stötts på. Genom analys har slutsatser med stöd av fakta från litteratur, studiebesök och egna observationer gjorts.

Vikt-effekt-förhållande, effekt per volymenhet och bränslekostnad per energimängd har beräknats genom att använda ekvation 6, 7 och 8.

3.3 Studiebesök

För att få en bra struktur på studiebesöken gjordes förberedelser i form av en tankekarta vad som skulle fås ut från besöken. Varje underrubrik i tankekartan analyserades och utefter analysen bestämdes tillvägagångssättet för att finna informationen. Utifrån detta kunde ett flertal frågor tas fram som var relevanta för att besvara frågeställningarna.

3.4 Källkritik

Generellt sett bygger ett företags visioner bland annat på vinstintresse. Eftersom Powercell är ett företag finns risken att de vinklar sina resultat positivt för att skapa ett bättre rykte. Internt, i företaget, förekommer problemlösning och utveckling vilket vi strävat efter att hämta information från. Vid studiebesöket användes konkreta faktafrågor, detta för att få ett mer neutralt perspektiv med för- och nackdelar, med målet att erhålla en objektiv jämförelse mellan dieselgeneratoren och bränslecellen.

Insamling av data från Stena Jutlandica bestod av egna observationer. Samtidigt måste det uppmärksammas att de mätpunkter vi antecknade från Kongsberg ej är kontrollkalibrerade.

4 Resultat

Resultatet är framtaget utifrån dem frågeställningarna som nämndes i avsnitt 1.2. För vidare förståelse hur resultatet fåtts fram se avsnitt 3.2.

4.1 Verkningsgrad och specifik bränsleförbrukning

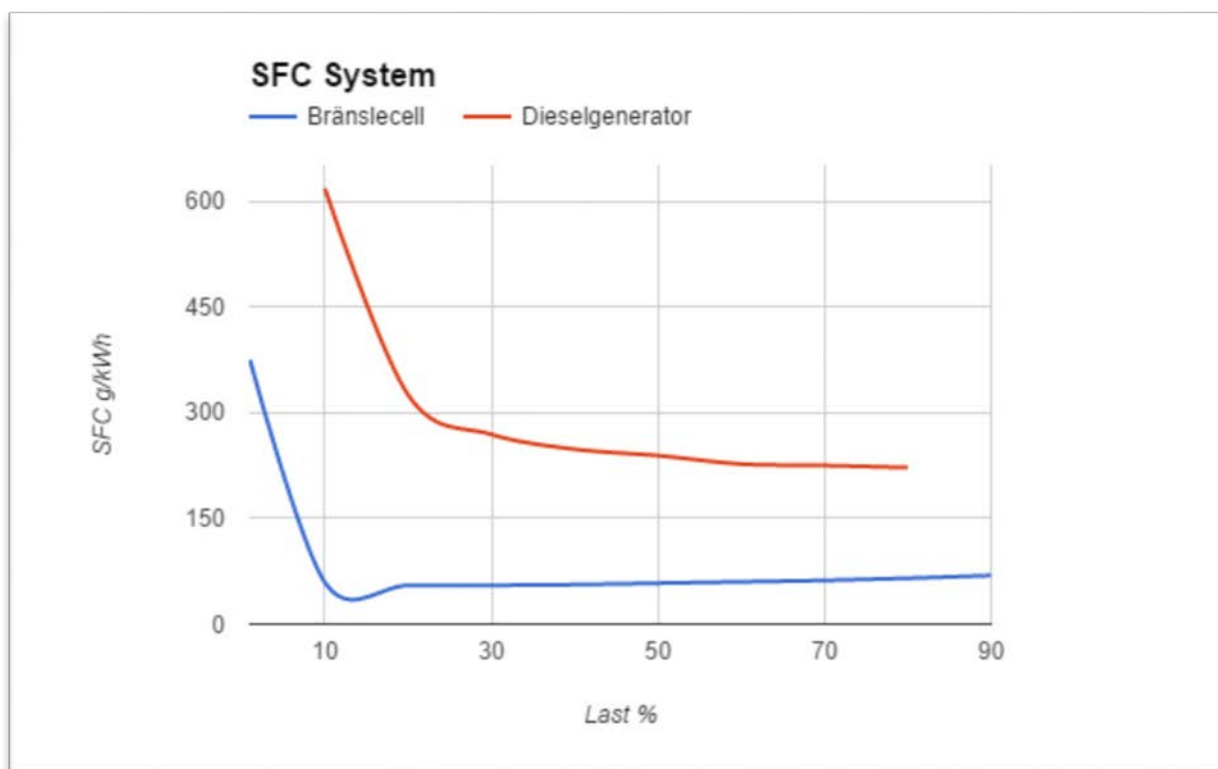
Bakomliggande data i nedanstående tabell 2 och 3, samt Figur 3 och 4, kommer från Powercells laborationstester och egna mätningar från Stena Jutlandica, beräkningarna beskrivs vidare i avsnitt 3.2.1.

4.1.1 SFC

Tabell 2. Jämförelse specifik bränsleförbrukning

Last (%)	Bränslecell (g/kWh)	Systemet Bränslecell (g/kWh)	Diesलगenerator(g/kWh)	Systemet Diesलगenerator(g/kWh) Under sjöresa
1	43	375	-	-
10	46	59	431	618
20	48	55	265	325
30	50	55	237	269
40	51	56	224	248
50	53	58	221	239
60	54	60	215	227
70	55	62	214	225
80	57	65	212	222
90	60	69	-	-
100	-	-	-	-

Tabell 2 visar SFCn för bränslecellen, diesलगeneratorn och deras system. Ur tabellen kan det läsas att SFC:n är lägre för bränslecellen. För grafisk jämförelse se figur 3.



Figur 3. Graf SFC

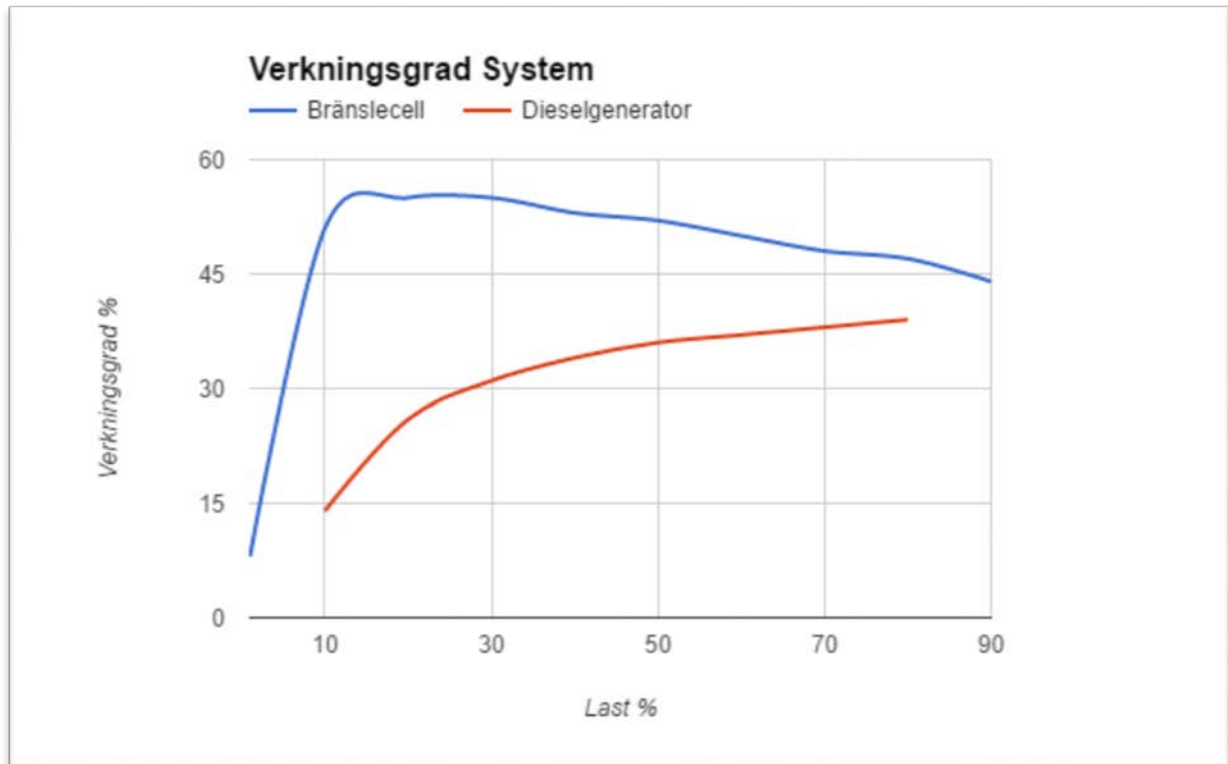
Figur 3 visar karaktistiken mellan bränslecellens och dieselgeneratorns SFC. SFC:n för bränslecellen ökar när lasten ökar och tvärtom för dieselgeneratorn.

4.1.2 Verkningsgrad

Tabell 3. Jämförelse verkningsgrad

Last (%)	Verkningsgrad Bränslecell (%)	Systemet Bränslecell (%)	Verkningsgrad Dieselgenerator (%)	Systemet Dieselgenerator (%) Under sjöresa
1	70	8	-	-
10	65	51	20	14
20	62	55	32	26
30	60	55	36	31
40	58	53	38	34
50	57	52	39	36
60	56	50	40	37
70	54	48	40	38
80	53	47	40	39
90	50	44	-	-
100	-	-	-	-

Tabell 3 visar verkningsgraden för bränslecellen, dieselgeneratoren och deras system. Ur tabellen kan det läsas att verkningsgraden är högre för bränslecellen. För grafisk jämförelse se figur 4.



Figur 4. Graf verkningsgrad

Figur 4 visar karakteristiken mellan bränslecellens och dieselgeneratorns verkningsgrad. Verkningsgraden för bränslecellen minskar när lasten ökar och tvärtom för dieselgeneratoren.

4.2 Kostnad

Nedan presenteras inköpskostnad, underhållskostnad och driftkostnad.

4.2.1 Inköp

Priset för en ny bränslecell av typen S3 är något som inte finns ännu då enheten fortfarande är en prototyp. Powercell har gjort kalkyler på vad priset kan hamna om de har en produktion på cirka 30 000 bränslestackar per år. Kalkylerna visar då ett pris på ca 70 \$/kW (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017). Ett effektbehov av 1760kW, vilket är densamma som en av Stena Jutlandicas dieselgenerator, skulle motsvara 18 st sammankopplade S3:or för att uppnå samma effektkapacitet. Detta skulle motsvara ett riktpolis på 126 000 \$ för ett komplett bränslecellpaket på 1800kW. Exkluderat i priset är kringssystem, tank och rörsystem (P. Ekdunge, personlig kommunikation, 22 mars 2017).

Priset på en dieselgenerator är svårt att få fram då det inte är officiella priser. Johan Stranne, teknisk chief på Stena Jutlandica, nämner en offert han fått den närmsta tiden på en 500kW dieselgenerator vilket kostade 284 091 \$ i inköpspris (personlig kommunikation, 4 maj 2017).

Vidare säger en anonym försäljare att de nyligen sålt en dieselgenerator med en effekt på 1720kW för 538 462\$ (personlig kommunikation, 4 maj 2017). Vilket effektmässigt nästan är likvärdigt med Stena Jutlandicas Dieselgenerator. Den skiljer sig dock i det avseende att det är en V-maskin och varvtalet är mer än dubbelt så högt jämfört med Stena Jutlandicas dieselgenerator. Priset kan därför minskas en aning för en likvärdig rakställd maskin som Stena Jutlandica har. Vad som kan konstateras är att priset för en likvärdig dieselgenerator ligger någonstans i mellan de två priserna men närmast den sistnämnde. En uppskattning av priset sätts därmed till 500 000\$.

4.2.2 Underhållskostnad

I tabell 4 presenteras underhållskostnader för varje enhet. Kringssystemets underhållsbehov inkluderas ej.

Tabell 4. Underhållskostnad

	Dieselgenerator	Bränslecell
Årligt underhåll kostnad	22 727\$	0\$
Överhalning kostnad (inkluderat årliga underhållet det året)	68 182 – 79 545\$ Överhalning av maskin var 18 000 drifttimma	126 000\$ Utbyte av enheter efter 40 000 – 60 000 drifttimmar.
Total årlig kostnad	30 303 – 32 197 \$/år	6300 - 9450 \$/år
Kostnad per drifttimme	10,101 – 10,732 \$/h	2,10 – 3,15 \$/h

4.2.3 Bränsle driftkostnad

För att kunna bestämma driftkostnaden måste ett driftläge bestämmas. Eftersom verkningsgraden varierar då lasten varierar, förändras också bränslekostnaden beroende vilken belastning den ligger på. I tabell 5 ses bränslekostnaden per producerad kWh enligt de tre olika driftlägen som nämns i avsnitt 2.4.5.

Tabell 5. Bränslekostnad under givna driftlägen

Driftläge	Effektförbrukning (kW)	Dieselgenerator (\$/kWh)	Bränslecell (\$/kWh)
Till sjöss	800-1100	0,119-0,109	0,522-0,540
Coastal mode	300-500	0,140-0,121	0,495-0,495
Coastal mode + bogpropellrar	200-1300	0,230-0,104	0,459-0,558

Bränslekostnad ECA-olja = 480\$/t

Bränslekostnad Vätgas = 9000\$/t

Tabell 5 visar att bränslekostnaden är högre för bränslecellen i samtliga tre driftfall.

4.3 För- och nackdelar

Den här delen av rapporten tar upp, utifrån insamlade data från studiebesök, egna observationer och litteratur, för- och nackdelar med de båda energiproducenterna.

	Diesलगenerator	Bränslecell
Vikt-effekt-förhållande	23,125 kg/kW	0,323kg/kW
Effekt per volymenhet	33kW/m ³	3608kW/m ³
Process	Förbränning	Elektrokemisk
Verkningsgrad vid 50% last (systemets verkningsgrad)	Ca 36% (Ökar med högre last)	Ca 52% (Avtar med högre last)
Pris	Riktpris 500 000\$, se avsnitt 4.2.1	Riktpris 126 000 \$, se avsnitt 4.2.1
Installationskrav	Lodrät Dieselmotorn är beroende av att stå upprätt, i allt för hög lutning kan motorn stanna.	Modulär Inga specifika placeringskrav finns för att bränslecellen skall bibehålla sin funktion. Den kan monteras upp och ner, på sidan etc.
Livslängd	Då delarna byts ut succesivt så har inte diesलगeneratorn någon jämförbar livslängd. För Stena Jutlandicas diesलगenerator görs en större överhalning var 18 000 drifttimme. En av MAN:s senare likvärdiga motor klarar istället upp till 20 000h utan överhalning.	Bränslecellens livslängd varierar beroende av körcykel men stationära enheter klarar upp mot 40 000 – 60 000h innan stacken kasseras. Detta är baserat på när bränslecellsstacken har tappat 20% av sin ursprungliga effekt.
Uppstartstid	ca 30s Vid uppstart av en diesलगenerator behöver den komma upp i rätt varvtal och stabilisera temperaturer innan den kan slås in. Detta kan ta upp till 30 sekunder.	ca 3s Tre sekunder för uppstart. Detta beror på att det inte är några delar som behöver komma i rörelse för att bilda elektricitet.
Underhåll	Stort Efter en viss tid bildas det slitage på motorn och dess delar. Dessa delar måste bytas ut eller underhållas med jämna mellanrum. Restbränslen sätter	Litet Då bränslecellen inte har några rörliga delar finns det inget mekaniskt slitage och den kräver därmed inget underhåll tills dess att den anses förbrukad och

	igen filter och ökar föroreningarna i motorn. Fler kringsystem krävs i driften. Underhållsårkomligheten begränsas av motortillverkaren och krav på dess storlek.	ersätts med en ny. Kringssystemet är det enda som kräver underhåll. Då det inte finns några restriktioner hur bränslecellen ska funktionsmässigt placeras kan underhåll på kringssystem göras mer lättillgängligt.
Övervaknings-system	Många En dieselgenerator har många faktorer som måste övervakas, såsom temperaturer och tryck. Den har även ett större kringssystem vilket skapar fler övervakningprocesser.	Få Bränslecellen är inte konstruerad av så många delar som utsätts för stora påfrestningar.
Emissioner	CO ₂ , NO _x , SO _x , PM, H ₂ O	H ₂ O
Bullernivå	Hög I en dieselgenerator sker en explosion i varje cylinder för att skapa energi. Detta transfereras vidare till rörelse som skapar både vibrationer och buller.	Låg Eftersom bränslecellen inte har några rörliga delar och den tar ut effekten elektrokemiskt är den mer eller mindre tystgående. Kringliggande systemet, kompressor och cirkulationspump, är det som genererar ljud.
Bränsle-tillgänglighet	Bra Produktionen av olja är hög och bunkringsmöjligheter är väl utbredd.	Begränsad Utbyggnaden av infrastrukturen för vätgas i Sverige är låg. Bunkringsmöjligheter begränsas därmed till bulkleverans från lastbil. Svårt att förvara vätgasen p.g.a. det höga trycket.
Bränslekostnad per energimängd	ECA-olja (RMD 80) 11,37 \$/GJ	Vätgas (från elektrolys) 75\$/GJ
Bränsleflexibilitet	Bra Dieselmotorn kan köra på flera olika bränslen såsom destillat, restbränslen och gasbränslen eller kombinera dessa.	Begränsad PEM bränslecellen begränsas till vätgas om ej en extern reformer används.
Känslighet för föroreningar	Fasta partiklar ökar det mekaniska slitaget. Andra föroreningar kan vanligtvis kompenseras genom att	Bränslecellen är känslig för svavel och kolmonoxid. Det bidrar till att förgifta

	använda tillsatser och kemikalier, exempelvis alkalier i oljan vid svavelhaltiga bränslen.	bränslecellen och bryta ner dess membran. På så vis minskas dess livslängd.
Klassning och regelverk	<p>Befintlig</p> <p>För dieselgeneratorm finns de väl utformade regelverk i SOLAS och klassens riktlinjer.</p>	<p>Under utveckling</p> <p>Vid konstruktionen av IGF-koden hade bränslecellen ett eget kapitel. Detta kapitel togs bort vid den slutliga koden. För tillfället finns det inte någon konkret klassning eller regler för bränsleceller och dess system utan endast riktlinjer.</p>
Kringssystem	<p>Tankar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bunkertank • Settlingtank • Dagtank • Förrådstant smörjolja • Smörjoljetank • Spilloljetank • Färskvattentank <p>Smörjoljesystem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Påfyllning <p>Bränslesystem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Booster unit <p>Reningsprocesser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bränslefilter • Smörjoljefilter • Tankdränering • Bränsleseparator • Smörjoljeseparator • Luftfilter <p>Värmning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tankar • Booster unit • Separatorer • Tracing • Förvärmning <p>Kylsystem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Färskvatten • Sjövatten 	<p>Tankar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bunkertank (antingen trycksatt eller kryogenisk tank) <p>Bränslesystem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cirkulationspump <p>Kylsystem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Färskvatten • Sjövatten <p>Värmning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förvärmning vätgas <p>Reningsprocesser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luftfilter <p>El</p> <ul style="list-style-type: none"> • Växelriktare

	Avgasreningssystem <ul style="list-style-type: none"> • NOx reducering, Urea • Rökreducering, jet assistant 	
Övrigt	Historisk beprövad metod	Mindre beprövad metod

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras det resultat som framkommit i studien. I slutet förs en diskussion om metoden och tillvägagångssättet för studien.

5.1 Resultatdiskussion

5.1.1 SFC och verkningsgrad

I tabell 2 visas SFC för både dieselgeneratoren och bränslecellen, här syns en tydlig skillnad i SFC hos dieselgeneratoren och bränslecellen. Detta beror till största delen på skillnaden i värmevärde mellan vätgas och det fossila bränslet samt att de har olika verkningsgrad, vilket också visas i tabell 3. Vätgas har ett tre gånger så högt värmevärde än ECA-olja.

När kringssystem tas med i beräkningarna av SFC och verkningsgrad bidrar detta givetvis till att SFC:en ökar och att verkningsgraden minskar. I figur 4 visas karakteristiken av verkningsgraden för bränslecellen och dieselgeneratoren. Skillnaden i verkningsgrad tros bero på att värmeförlusterna hos de båda är olika stora, där dieselgeneratoren har störst värmeförlust. Producenterna har två skilda metoder för att producera elektricitet. Dieselmotorn arbetar mellan två temperaturer och begränsas därmed av Carnot-processen vilket nämns i teorin, avsnitt 2.4. Bränslecellen är däremot en elektrokemisk teknik, den producerar elektricitet direkt från bränslet utan värmecykel inblandad vilket medför att bränslecellen får en högre verkningsgrad. Anledningen till att bränslecellens kurva har motsatt riktningskoefficient, dvs att verkningsgraden minskar något med ökande last, kan bero på det ökade spänningsfallet i stacken som uppstår på grund av att stacken har ett "inre motstånd".

Vid beräkningarna av bränslecellens system-verkningsgrad och SFC har det förutsatts att var och en av de 18 bränslecellsstackarna har ett eget kringssystem. Anledningen är att Powercell inte har tillverkat någon större enhet än 100kW som S3:an är. För att få värden att jämföra med har multipliceringen av de mindre systemen fått accepteras. Som det nämndes i inledningen håller Powercell på att ta fram ett större bränslesystem för fartyg. Systemets verkningsgrad kommer i detta avseende förbättras då dess kringssystem blir mer avstämt till storleken på bränslecellsystemet.

5.1.2 Kostnad

Sett till inköpspris kostar bränslecellpaketet endast en fjärdedel av vad dieselgeneratoren kostar. Detta kan främst bero på att bränslecellen är betydligt enklare i sin konstruktion och inte har några rörliga delar. Den största kostnaden för bränslecellen är membranet enligt P. Ekdunge (personlig kommunikation, 22 mars 2017) medan för dieselgeneratoren behövs en stor del material och massvis med enskilda komponenter. En faktor att spekulera över är också att dieselgeneratoren producerats under en lång tid och är därav mer kostnadseffektiviserad i sin produktion jämfört med bränslecellen. Bränslecellens kostnad kan därför komma minska snabbare i förhållande till dieselgeneratoren längre fram i tiden om användningen av bränsleceller ökar. Samtidigt måste det tas till hänsyn att det baserade priset för bränslecellen är utifrån en massproduktion om 30 000 enheter per år för Powercell

Sweden AB, vilket bara är en teoretisk framräknad siffra då bränslecellen inte har producerats ännu. Det avspeglar då heller inte dagens pris för en bränslecell i brist av produktion.

Underhållsmässigt har bränslecellen också en lägre kostnad. Bränslecellen har inget löpande underhåll och längre drifttid innan utbyte av enheten sker jämfört med dieselgeneratorns överhållningsintervall. Utifrån den aspekten vinner därmed bränslecellen då underhållskostnaderna motsvarar kring en fjärdedel av dieselgeneratorns totala underhåll. Stora underhållsbesparingar kan därför göras vid implementeringen av bränsleceller.

Enligt resultatet kostar det nästan sju gånger mer i bränslekostnad att producera 1 kWh med bränslecellstekniken än vad det gör med den konventionella dieselmotorn. Trots bränslecellens högre verkningsgrad är den mindre kostnadseffektiv ur ett bränsleförbrukningsperspektiv. Orsaken ligger i att vätgas idag är fortsatt dyr i jämförelse med oljan. Det behövs subventioner och produktion i större volymer för att vätgasen ska bli billigare. Troligen kommer oljepriset stiga ytterligare i framtiden och då kommer prisskillnaden bli mindre tydlig. Samtidigt måste den minskade systemstorleken räknas med i kalkylerna för driftkostnaden. Det sparas både vikt och utrymme vilket skulle resultera i en mindre bränsleförbrukning för framdrivningen.

5.1.3 För- och nackdelar

För att producera elektricitet är båda producenterna ett bra alternativ. Vid en jämförelse av ett flertal olika aspekter skiljer sig dock dieselgeneratorn och bränslecellen åt; exempelvis i storlek, kostnad, miljöhänsyn, m.m.

De enda emissioner som bildas vid elproduktion med bränslecellen är vatten och vattenånga. Vattenånga i sig betraktas också som en växthusgas, vilket om stora utsläpp av vattenånga sker, kan resultera i klimatpåverkan och bör därför undersökas vidare. En lösning för att motverka risken skulle vara att kondensera ångan genom att leda avgaserna under vattenytan. Dieselgeneratorn förbränner och andra sidan fossila bränslen. Emissionerna från dieselgeneratorn, se avsnitt 2.5.1, är skadliga och bidrar till växthuseffekten, försurning, övergödning och försämrade luftkvalité för människor, djur och natur. I en övervägning mellan de två alternativen är därför bränslecellen att föredra då dessa utsläpp försvinner, i förutsättning att vätgasen produceras på ett miljövänligt sätt. Möjliga konsekvenser av vätgas utsläpp till atmosfären är däremot inget som undersökts i denna rapport.

Utöver luftemissionerna hos dieselgeneratorn, används kemikalier för flertal ändamål ombord på fartyg. Några av dem är lösningsmedel, monteringspastor, smörjfett, smörjolja och tillsatser för att nämna de vanligaste. Av allt att döma behöver dieselgeneratorn fler skadliga ämnen än bränslecellen. Eftersom bränslecellen inte har några rörliga delar, jobbar med låga temperaturer och använder ett bränsle med hög renlighet, reduceras ämnena markant och smörjolja kan uteslutas. Eftersom bränslecellen varken behöver bunkerolja eller smörjolja kommer risken för oljeutsläpp i naturen försvinna. Hand i hand kommer arbetsmiljön förbättras då underhåll, tunga arbeten, exponering av skadliga ämnen, heta ytor och buller reduceras. Sett till ett etniskt och miljömässigt perspektiv är därmed bränslecellstekniken en

fördelaktig energiproducent. Fördelarna är med andra ord fler än dem Ayed, Kostrisky & Falletta (2009) kom fram till i sitt arbete och tekniken kan även tillämpas på andra typer av fartyg anser författarna.

Fördelen med dieselmotorn är att bränslet är billigare och att den är mer bränsleflexibel än bränslecellen. Det är då lättare att få tag i bränsle och valet av bränsle kan variera. I ett fartyg kan det finnas olika sorters bränslen. När fartyget anländer till ett område där miljökraven är högre kan de byta bränsle till ett miljövänligare alternativ så som LNG, diesel eller ECA-olja. När fartyget är ute till havs kan de använda ett billigare alternativ som tjockolja.

Dieselgeneratoren behöver ett större kring- och övervakningssystem då det är fler faktorer som behövs ta hänsyn till vid driften. Till vikten sett, har bränslecellen endast 1,4% av dieselgenerators vikt men producerar samma effekt. Då bränslecellen även har ett betydligt mindre kringssystem, kan stor vikt- och underhållsbesparing därför göras.

Som det nämnts i rapporten fanns det ett utkast till IGF-koden där bränslecellen hade ett eget kapitel, detta togs bort i den slutliga koden. En orsak till att det redigerades bort är att många fartyg konstrueras till att använda lättantändliga bränslen och var då bråttom att få ut koden. Att bränslecellen hade ett eget kapitel i utkastet visar på att IMO har den i åtanke.

5.2 Metoddiskussion

Delar av fallstudiens resultat är svåra att generalisera då det skiljer sig från fall till fall. Resultatet kan variera exempelvis utifrån vart fartyget opererar, dess omgivande klimat och systemuppbyggnad. Rapporten har avgränsats till ett specifikt fartyg. Med tanke på att det är ett verkligt driftscenario, kan felmarginaler existera vid mätningarna. Dessa felmarginaler hindrar dock inte att resultaten ger en god uppfattning av hur enheterna presterar jämfört med varandra. Resultatet är framarbetat utan handledning från företaget och författarnas strävan har varit att redovisa opartiska resultat. Där litterära källor ej funnits har reliabiliteten säkerställtts löpande genom återkoppling av insamlade data. Vid studiebesök har värden antecknats direkt och muntlig kommunikation, inkluderat följdfrågor, spelats in för att i ett senare skede, vidare kunna analyseras.

5.2.1 SFC och verkningsgrad

Mätdata som användes vid beräkningarna av bränslecellens SFC och verkningsgrad är sekundära data från Powercell Sweden AB laborationstester. Det gav ett resultat som inte är lika kvalitativt som om författarna själva hade varit närvarande vid testerna för bränslecellen med expertishjälp av företagets testingenjörer. Samtidigt, om mätningarna är utförda korrekta, kan de anses ha hög reliabilitet då de troligen är gjorda av kvalificerade personer med rätt kompetens tillsammans med bra utrustning i laborationsmiljö. Gällande beräkningarna tillförlitar sig de på att de första beräkningarna är korrekta, därmed fallerar beräkningarnas noggrannhet om fel skulle finnas. Det bör också beaktas att testerna på Powercells bränslecell inte är utförda i en marin miljö och inte heller har ett kringssystem som är dimensionerat till storleken på systemet. Det kan må hända att värdena för bränslecellen skulle sett annorlunda

ut om den befunnit sig i en marin miljö och kringssystemet hade varit rätt dimensionerat. Ur den vinkeln äventyras validiteten en aning.

Inhämtningen av data för dieselgeneratorns SFC och verkningsgrad gjordes opartiskt av författarna själva vid ett verkligt driftfall. Risken finns att mätresultatets reliabilitet varierar då en viss fördröjning fanns i monitoreringen av mätdata i Kongsberg. Elpatronerna som lades till kopplades automatiskt från och till av reglersystemet då dess temperatur var uppnådd. Detta skapade snabba oönskade lastförändringar och resulterade i att monitoreringen av bränsleförbrukningen fördröjdes då last- och bränsleförbrukning uppdaterades olika snabbt.

Felmarginalerna för mätinstrumenten i Kongsberg kontrollerades aldrig mer än att styrsystemet nyinstallerades ett år innan. Styrsystemet kan ur den meningen anses uppdaterat och nyligen kalibrerat. I jämförelse med ett prestationstest för dieselgeneratorm, som gjordes vid installation år 1995, fann författarna verkningsgraden, vid bestämd last, likvärdig med resultatet i denna studie, vilket stärker verkningsgradskurvan reliabilitet och tillvägagångssättets validitet. Några veckor efter första studiebesöket gjordes ett andra besök, med syfte att komplettera med beräkningar vid en lägre last för dieselgeneratorm, vilket inte var möjligt vid första studiebesöket. Verkningsgraden kontrollerades även här på tidigare mätta värden och samma värden fick igen.

5.2.2 Kostnad

Angående inköpskostnad för bränslecellen härstammar antagandet muntligen från en person. Svårigheter har funnits i att ta fram ett pris eftersom S3:an, under arbetets gång, är en prototyp. Priset baserades på kalkyler som företaget själva utfört. Siffran har inte kunnat kontrolleras och inga andra jämförelser har gjorts. En kvantitativ mätning av kostnaden skulle höjt reliabiliteten. Arbetet avgränsades dock, i ett tidigt skede, till en typ av bränslecell och därmed avser priset vad som skulle mätas.

Priset för dieselgeneratorm kan anses trovärdigt då källan kommer från en försäljare som vidarebefogade ett pris som nyligen hade använts, priset motsvarar därmed dagens pris för den effektklassen. Samtidigt kan priset för dieselgeneratorm behövas justeras då den inte är identisk med typen som återfinns på Stena Jutlandica. Dock kan priset ses som ett gott närmevärde. Reliabiliteten höjs något genom att ta med en offert som Johan Stranne, teknisk chief på Stena Jutlandica, fått den senaste tiden eftersom kostnaden är såpass hög för en mindre dieselgeneratorm.

För underhållskostnaden är validiteten högre för dieselgeneratorm då kostnaderna är tagna från Stena Jutlandicas egna kalkyler, den har också god reliabilitet ur samma avseende. Då bränslecellens kalkyler är mer abstrakt, se inköpspriset som beskrivs ovan i detta avsnitt, blir reliabiliteten inte fulländad. Men med tanke på att priserna skiljer så markant mellan de två alternativen så räcker det för att få en bra uppfattning.

I beräkningarna av bränsledriftkostnaden används verkningsgraden som beräknats från de mätvärden som tagits. Driftscenariona i avsnitt 2.4.5 är direkt loggade från Kongsberg och

stämmer väl överens med hur fartyget opererar sina dieselgeneratorer under gång. Bränslepriset för vätgas är kontrollerade från flera källor och det ligger inom rimliga värden. Ett frågetecken är dock hur priset skulle se ut exklusive moms och med subventioner. Den beräknade bränsledriftkostnaden för bränslecellen kan därmed anses som ett trovärdigt tak i dagens läge med hopp om minskning inom kommande år.

5.2.3 För- och nackdelar

Denna del av resultatet är mer en sammanställning och ställer de båda alternativen bredvid varandra. Här kan validiteten anses vara högre då källorna är baserade från både litteratur, studiebesök och egna observationer.

6 Slutsatser

Ett bra substitut till dieselgeneratören när det gäller elproduktion är bränslecellen. I studien framkom både bra verkningsgrad, SFC och emissioner i jämförelse till dieselgeneratören. Det görs även stora vinster i både vikt, utrymme och underhåll. I dagens samhälle är dock priset på vätgas väldigt högt då det inte finns så stort utbud av vätgas i hamnar. Detta gör även bunkringsmöjligheterna svårare. För fartyg som är i tjänst idag skulle det bli mer kostsamt att konvertera till bränsleceller. Detta system är mer lämpat för fartyg som är i konstruktionsstadiet, men just nu finns det inte något regelverk mer än riktlinjer, som styr hur ett bränslecellssystem ska konstrueras. När dessa regelverk är på plats och tillgången på vätgas har ökat ser bränslecellen ut som ett lovande alternativ för att producera el ombord på fartyg. Då det inte gjorts någon studie i rapporten på de olika sätten att producera vätgas eller den påverkande effekten av utsläpp av vätgas och vattenånga kan detta vara en bra studie i framtiden. Vätgas måste förvaras under ett väldigt högt tryck, i dag är tekniken till detta ändamålet ej tillgängligt men kan vara bra att lägga fokus på framöver.

Referenser

AGA. (2016). *Sveriges fjärde vätgastankstation invigd*. Hämtad från http://www.aga.se/sv/news_ren/news1/news20161206a.html

AGA. (2017). *Bulkleverans*. Hämtad från http://www.aga.se/sv/products_ren/supply_modes/bulk_supply/index.html

Ayed, S., Kostritsky, S., Falletta, S. (2009) *Bränsleceller som alternativ energikälla inom sjöfarten*. (Examensarbete, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för sjöfart och marin teknik)

Barbir, F. (2013). *PEM fuel cells: theory and practice*. Hämtad från http://cx2rl7ub5c.search.serialssolutions.com/?sid=sersol&SS_jc=TC0000713129&title=PEM%20fuel%20cells%20%3A%20theory%20and%20practice

de Jong, M., Reinders, A.H.M.E., Kok, J.B.W., Westerndorp, G. (2009) Optimizing a steam-methane reformer for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volym(34), ss. 285-292. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.09.084>

de-Troya, J. J., Álvarez, C., Fernández-Garrido, C., & Carral, L. (2016). Analysing the possibilities of using fuel cells in ships. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(4), 2853-2866. doi:10.1016/j.ijhydene.2015.11.145

Det Norske Veritas. (2015). *Rules for classification: Part 4, Chapter 1, Section 5 §1.1.1*. Hämtad från <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt4Ch1.pdf>

Fernandes, A., Woudstra, T., van Wijk, A., Verhoef, L., & Aravind, P. V. (2016). Fuel cell electric vehicle as a power plant and SOFC as a natural gas reformer: An exergy analysis of different system designs. *Applied Energy*, 173, 13-28. doi:10.1016/j.apenergy.2016.03.107

International Maritime Organization. (2009). *SOLAS: Consolidated text of the international convention for the safety of life at sea, 1974, and its protocol of 1988: Articles, annexes and certificates* (Consolidat, 2009 ed.). London: International Maritime Organization.

International Maritime Organization. (2013). *Draft International Code Of Safety For Ships Using Gases Or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code)*. Hämtad från http://www.lng-info.de/fileadmin/Normen/Draft_IGF-Code_26.04._2013_rev.12.07.2013.pdf

Jacobson, S. & Osbeck, M. (2012). Elmaskiner och elapparater. I *Elteknik: förberedande för SI 1* (s.13). Göteborg: Chalmers Lindholmen, Institutionen för data- och elektroteknik.

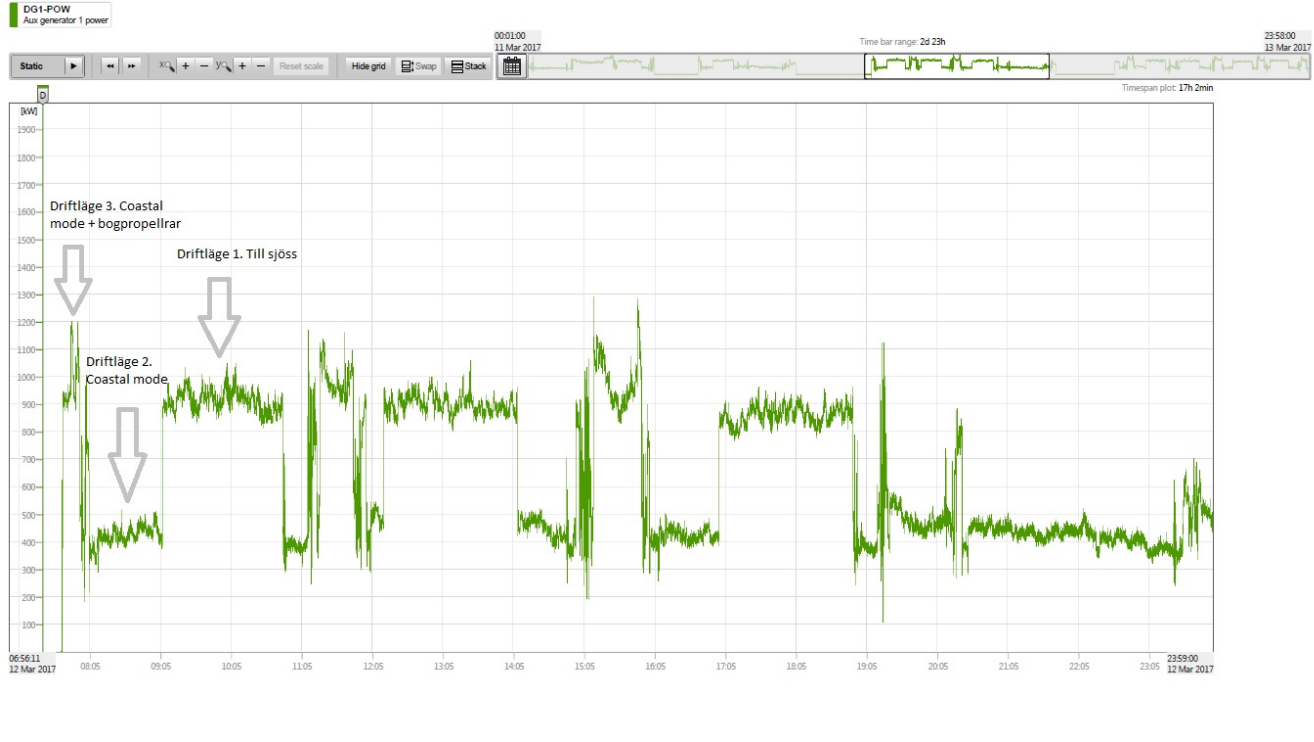
- Jakobsson, Y. & Zackariasson, D. (2017). *Marin Elteknik: Del 6 Strömförsörjning* [Powerpoint-presentation]. Hämtad från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/7568/courseDocsAndFiles.do>
- Kuiken, K. (2012). *Diesel Engines: for ship propulsion and power plants*. Onnen: Target Global Energy Training.
- Kumar, S., Kwon, H., Choi, K., Lim, W., Cho, J.H., Tak, K., Moon, II. (2011). LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. *Applied Energy*, Volym(88), ss. 4264-4273. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.035>
- Larsson, M. & Holm, O. (2015). Förstudie gällande konvertering till bränslecellsbaseerad elkraftsproduktion på Stena Vision. (examensarbete, Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap). Hämtad från <http://hv.diva-portal.org/smash/get/diva2:854127/FULLTEXT01.pdf>
- My Fuel Cell. (2017). *Bränslecellsbilar*. Hämtad från <http://www.myfuelcell.se/bränslecellsbilar>
- Nyteknik. (2015). *Nu är nya vätgasmacken öppna*. Hämtad från <http://www.nyteknik.se/energi/nu-ar-nya-vatgasmacken-oppna-6344599>
- Pahlm, H. (2015) *Bränsleföreläsning HT15: Lägsta flyttemperatur – pour point* [Powerpoint-presentation]. Hämtad från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/5806/node.do?id=2512429&ts=1442912688018&u=2095612651>
- Powercell Sweden AB. (2017). *PowerCell has been granted EU funding for development of a marine fuel cell system together with amongst others ABB*. Hämtad från <http://www.powercell.se/2017/01>
- Powercell Sweden AB. (2016a). *2015 Årsredovisning*. Göteborg: Författare.
- Powercell Sweden AB. (2016b). *Powercell S3: Fuel cell stack (20-100kW)* [Produktblad]. Göteborg: Powercell Sweden AB. Hämtad från <http://www.powercell.se/wp-content/uploads/2016/04/PowerCell-S3-Datasheet.pdf>
- Sandia National Laboratories. (2017). *Hydrogen Fuel Cell Project at Honolulu Harbor*. Hämtad från: <http://energy.sandia.gov/transportation-energy/hydrogen/market-transformation/maritime-fuel-cells/maritime-hydrogen-fuel-cell-project/>
- Sanborn Scott, D. (2004). Inside fuelcells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(12), 1203-1211. doi:10.1016/j.ijhydene.2004.01.013

Stone, R. (2012). *Introduction to Internal Combustion Engines*. Basingstoke: Palgrave Macmillan

Vätgas sverige (2017). Nordisk vätgaskorridor byggs ut till 2020. Hämtad från:
<http://www.vatgas.se/2017/02/09/nordisk-vatgaskorridor-byggs-ut-till-2020/>

Woikoski. (2017). *Industriella basgaser: Väte*. Hämtad från
<http://www.woikoski.fi/sv/node/941>

Bilagor



Bilaga 1. Driftlägen