

Examensarbete, Högskolan på Åland

TEKNISK/EKONOMISK JÄMFÖRELSE AV VÄTGASDRIFT FÖR FARTYG

Andreas Sjöberg & Arnold Rekilä



2022:13

Datum för godkännande: 14.05.2022
Handledare: Kenneth Andersson och Key Ginman

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Andreas Sjöberg, Arnold Rekilä
Arbetets namn:	Teknisk/ekonomisk jämförelse för vätgasdrift av fartyg
Handledare:	Kenneth Andersson & Key Ginman
Uppdragsgivare:	Kongsberg Maritime

Abstrakt

I vårt examensarbete har vi jämfört vätgasbränsleceller, batterier och konventionella dieselmotorer för propulsion av fartyg. Vi har jämfört dessa system för en landskapsfärja som heter M/S Viggen. För att uppnå detta har vi samlat in data från Kongsberg Maritime, Wärtsilä och Ålands Landskapsregering. Vår slutsats är att lågutsläppspropulsion är dyrt ifall det implementeras idag.

Nyckelord (sökord)

Kongsberg, Viggen, vätgas, alternativa bränslen, grönvätgas, vindkraft, Landskapsregeringen, bränslecell, förnybar energi, utveckling, Ballard, Nedstack, Teco2030, Hexagon purus, Powercell, Plug Power, DNV, Xperion, Xstore, Wärtsilä

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2022:13	1458-1531	Svenska	93 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
16.05.2022	13.05.2022	14.05.2022

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Degree Programme:	Bachelor of Engineering
Author:	Andreas Sjöberg and Arnold Rekilä
Title:	Technical/economical comparison for hydrogen powered ships
Academic Supervisor:	Kenneth Andersson and Key Ginman
Commissioned by:	Kongsberg Maritime

Abstract

In our thesis we have compared hydrogen powered fuel cells, battery power and conventional diesel engines as main propulsion power for ships. We have compared these different systems for a government ferry named M/S Viggen. To accomplish this we have gathered information from Kongsberg Maritime, Wärtsilä and the principal government of Åland. Our conclusion is that low emission propulsion is expensive if implemented today.

Keywords

Kongsberg, Viggen, vätgas, alternativa bränslen, grön vätgas, vindkraft, Landskapsregeringen, bränslecell, förnybar energi, utveckling, Ballard, Nedstack, Teco2030, Hexagon purus, Powercell, Plug Power, DNV, Xperion, Xstore, Wärtsilä

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2022:13	1458-1531	Swedish	93 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved:
16.05.2022	13.05.2022	14.05.2022

1.INLEDNING	7
1.1 Historia	7
2.VÄTGAS	9
2.1 Vad är vätgas?	9
2.2 Tillverkning av vätgas	9
3.M/S VIGGEN	10
3.1 Nuvarande system	12
3.2 Förbränningsmotorförbrukningar	13
3.3 Förbränningsmotor utsläpp	16
3.4 Förbränningsmotorns vikt och volym	16
4.BRÄNSLECELLER	18
4.1 Lågtemperaturs PEM-bränslecell	18
4.2 Högtemperaturs-fastoxidbränslecell	19
4.3 Smältkarbonatbränslecell	20
4.4 Bränslecellstillverkare	21
4.4.1 Powercell	21
4.4.2 Ballard	22
4.4.3 Nedstack	23
4.4.4 Teco2030	24
4.5 Jämförelse mellan två bränslecellstillverkare	25
4.6 Bränslecellsutsläpp	27
5.BATTERIER	28
5.1 Litiumbatterier	28
5.2 Bly-syrabatterier	28
5.3 Nickel-hydridbatterier	28
5.4 Val av batterityp	29
5.5 Batteriåtervinning	30
6. MASKINERI FÖR M/S VIGGEN	31
6.1 Bränslecellmaskineri för FC/S Viggen	31
6.1.1 Bränslecellshybriddrift	31
6.1.2 Bränslecellsförbrukningar	32
6.1.3 Bränslecellers vikt och volym	32
6.1.4 Dimensionering av bränslecellspaket	33
6.2 Batteridimensionering	35
6.2.1 Batteridrift	35

6.2.2 Batteriernas energiförbrukning	36
6.2.3 Batterivikt och volym	37
6.2.4 Dimensionering av batteripaket	38
6.3 Propulsion	38
7.ERSÄTTNING AV PANNA	40
8.FÖRVARING AV VÄTGAS	43
8.1 Komprimerad vätgas	43
8.2 Containerförvaring	44
8.3 EU-krav för förvaringen av vätgas	45
8.4 Huvudsakliga produktionsanläggningen	47
8.5 Reserv-produktionsanläggning	49
9.TEKNISK JÄMFÖRELSE FÖR EXEMPELFARTYG	51
9.1 Jämförelse av förbrukningar	51
9.2 Jämförelse av utsläpp	52
9.3 Jämförelse av vikt och volym	52
10. EKONOMISKA BERÄKNINGAR	54
10.1 Förbränningsmotorkostnader	54
10.2 Bränslekostnader för dieselmotorerna	55
10.3 Bränslecellskostnader	56
10.4 Vätgaskostnader	56
10.5 Batterikostnader	57
10.6 Laddningskostnader	57
11. EKONOMISK JÄMFÖRELSE FÖR EXEMPELFARTYG	59
11.1 Jämförelse av kostnader	59
12. KRAV FÖR BUNKRING AV VÄTGAS	62
12.1 DNV bunkringskrav	62
12.1.1 Bunkring i allmänhet för vätgas i vätskeform	62
12.1.2 Bunkring i allmänhet för vätgas i komprimerad form	63
12.2 Naturgasstandarder för bunkring	63
13. DNV SÄKERHETSKRAV FÖR BRÄNSLECELLER	65
13.1 Områdesklassificering	73
13.1.1 Riskområde 0	73
13.1.2 Riskområde 1	74
13.1.3 Riskområde 2	74
13.2 Riskanalys	74
13.3 Kontrollsystem	75
13.4 Övervakningssystem	76

13.5 Säkerhetssystem	77
13.7 Analys av säkerhetskrav	77
14. DNV SÄKERHETSKRAV FÖR BATTERIER	79
14.1 Arrangemang	79
14.2 Ventilation	80
14.3 Gasdetektion och övervakning	80
14.4 Brandsäkerhet	81
14.4.1 Branddetektion	81
14.4.2 Brandsläckning	81
14.5 Systemsäkerhet	81
14.6 Batterisäkerhet	82
14.6.1 Batterihanteringssystem	83
14.6.2 Batterilarm	83
14.6.3 Säkerhetsfunktioner	84
14.7 Systemuppbyggnad	84
14.7.1 EES-konverterare	85
14.7.2 Provning	85
14.8 Drift och underhåll	85
14.9 EES-kapacitet	86
14.10 Energihanteringssystem	86
14.11 Analys av säkerhetskrav	88
15. DISKUSSION	89
16. SLUTSATS	90
KÄLL OCH LITTERATURFÖRTECKNING	91

1.INLEDNING

I dagens situation är det viktigt att se över våra möjligheter för alternativa bränslen och det är det vi kommer att göra här. Vi valde detta ämne eftersom vi är intresserade av förnybara bränslen då det blir mer och mer aktuellt i dagens värld och Kongsberg Maritime rekommenderade vätgasen som ett ämne. I framtiden så har vätgasen en stor potential för att vara en ersättare för fossila bränslen eftersom vätgasen är ett förnybart bränsle. Vätgasdrivna bränsleceller och vätgasförbränningsmotorer har möjlighet att driva fordon, fartyg, datorer och industri.

Meningen med detta examensarbete är att se över möjligheterna för vätgasdrift för en mindre skärgårdsfärja där resorna är så pass långa att batteridrift inte nödvändigtvis lönar sig. Man kommer tydligt att kunna se skillnaderna eftersom det kommer göras jämförelser för batteridrift och bränslecellsdrift jämfört mot konventionell fyrtakts dieselmotor.

Det har valts ett exempelfartyg för att dessa jämförelser ska kunna utföras på ett bättre sätt, fartyget är M/s Viggen och det behandlas i ett skilt kapitel nedan. För att kunna jämföra dessa olika system så kommer vi använda oss av egna beräkningar som grundar sig på driftdata från M/s Viggen som vi fått från Ålands Landskapsregering, egna beräkningar och noggrannare motordata från Wärtsilä. Beräkningar och jämförelser för bränsleceller och batterier möjliggörs med vägledning från Kongsberg Maritime.

1.1 Historia

I dagens värld studerar vi framtida bränslen men för att lyckas så måste vi även se bakåt i tiden. I början på 1800-talet inducerade två stycken forskare en elektrisk ström till vatten som bildar vätgas och syrgas, processen namngavs senare till elektrolys (Altenergymag 2009):

- År 1838 upptäckte en schweizisk kemist med namnet Christian Friedrich Schoenbein bränslecellseffekten genom att kombinera vätgas och syrgas som resulterade i att det avgavs en elektrisk ström.
- År 1889 gjordes det ett försök på att bygga den första bränslecellen genom att använda sig av luft och kol gas. Apparaten namngavs till bränslecellen.

- På 1920-talet utvecklade en tysk ingenjör med namnet Rudolf Erren förbränningsmotorer från lastbilar, bussar och u-båtar att gå på en vätgasblandning.
- År 1958 bildades NASA och använder i dagsläget mest vätgas i flytande form i världen, mest till raketpropulsion och som bränsle till bränsleceller.
- År 1990 Togs världens första soldrivna vätgas produktions verk i bruk.
- År 2000 presenterade Ballard Power Systems sin första produktionsklara bränslecell.
- År 2004 började test av världens första bränslecellsdrivna ubåt i Tyskland.
- Det första fungerande fartyget med bränslecellsdrift är Hydra. Hydra körs med batteridrift sedan 2021 men skall använda vätgas i vätskeform som bränsle. Hydra använder sig av Ballards bränsleceller (Baird Maritime 2021).

2.VÄTGAS

2.1 Vad är vätgas?

Vätgasens kemiska beteckning är H_2 . Väte är det vanligaste och det lättaste grundämnet i periodiska systemet. Vid rumstemperatur och vanligt atmosfärstryck är väte i gasform. Vätgasens energidensitet är låg per volymenhet men hög per massenhet. På grund av att vätgasen har en låg volymenhet så är den svårare att lagra samt transportera på ett effektivt sätt.

Vanligaste sätten att lagra vätgas är i flytande eller komprimerad form. Då vätgasen är i flytande form så lagras den vid $-253\text{ }^\circ\text{C}$, medan i komprimerad form så lagras man vätgas under ca 200-700 bars tryck. Vätgasen har funnits inom den landbaserade industrin över hundra år vilket gör att man har en bra vetenskap över säkerhetsåtgärderna (Svenska gasföreningen 2009).

2.2 Tillverkning av vätgas

Det finns olika sätt att tillverka vätgas. Från naturgas är det ena som i dagens läge är mest kostnadseffektivt men då får man höga kolmonoxid- och koldioxidutsläpp. Inom den kemiska industrin uppstår vätgas som en biprodukt som där skulle kunna tas till vara och användas som bränsle.

Inom detta projekt koncentrerar vi oss mera på den gröna vätgasen som är ett förnybart bränsle och mera naturvänligt. Den gröna vätgasen framställs genom en process som heter elektrolys. Detta innebär att man använder elektricitet från vattenkraftverk, vindkraftverk eller solenergi för att spjälka upp vatten till vätgas och syre. Vid tillverkning av den gröna vätgasen med elektrolys förlorar man ca 30-40% av energin vilket gör att det är ett dyrare sätt att tillverka (Svenska gasföreningen 2009).

3.M/S VIGGEN

M/s Viggen är en skärgårdsfärja på Åland som kommer att börja trafikera på Södra linjen. Vi har valt M/s Viggen som exempelfartyg enligt rutten i första hand och eftersom den har stor potential för användning av vätgas i framdriften. Södra linjen är cirka 60 sjömil en väg med fem stycken mellanhamnar och den sträcker sig från Långnäs på Åland till Galtby i Korpo. Restiden är omkring fem timmar från Långnäs till Galtby. Nedan i tabell 1 ses M/s Viggens huvuddimensioner. I figur 1 ses exempel fartyget M/S Viggen (Fakta om fartyg 2021).

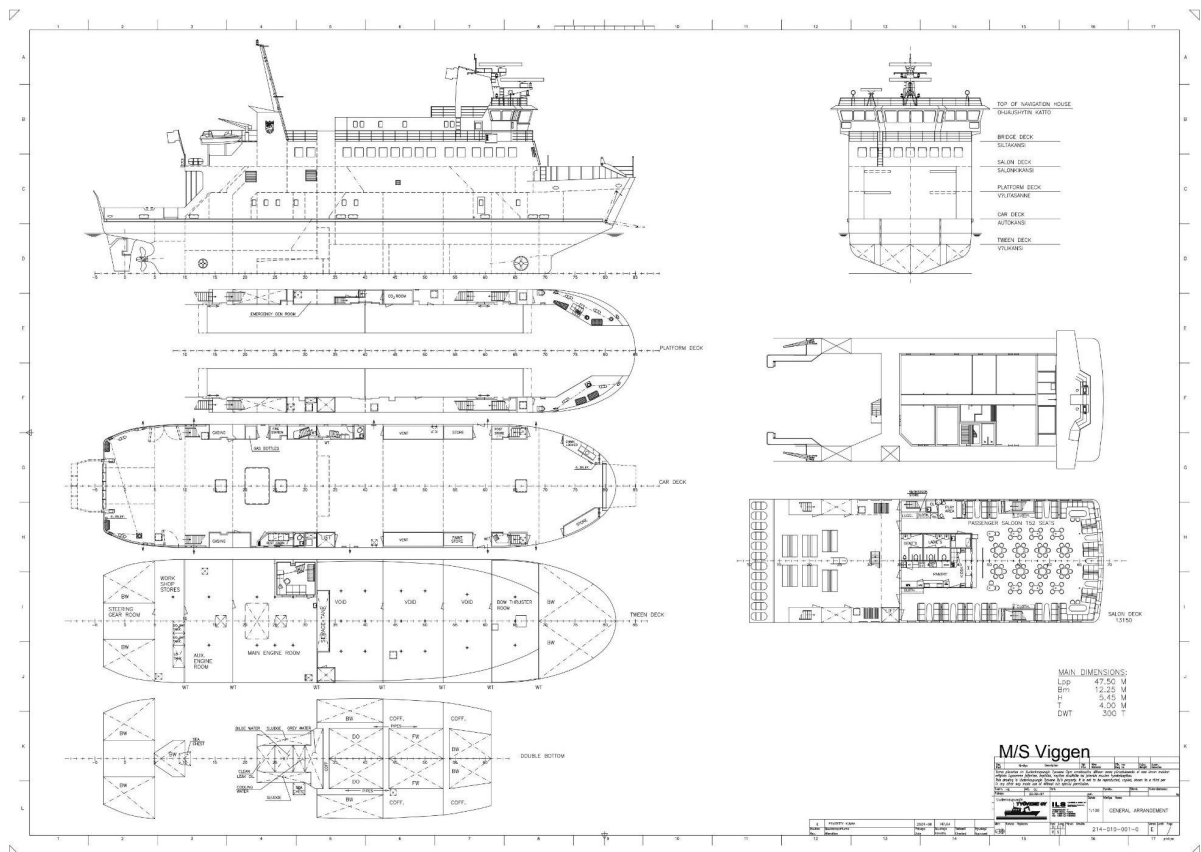
Tabell 1. Huvuddimensioner för M/s Viggen

<i>Huvuddimensioner</i>	
Längd	53,5 m
Bredd	12,45 m
Djupgående	4 m
Dödvikt	300 t
Huvudmaskiner	Två stycken Wärtsilä 8L20
Passagerare	300 personer
Bil kapacitet	50 bilar
Lastmeter utrymme	130 m
Hastighet	13 knop
Byggd	1998



Figur 1. M/S Viggen (Flickr 2013)

Vätgasdriften kommer att planeras för ett fiktivt nybygge med samma dimensioner och operation som M/s Viggens eftersom det inte skulle löna sig att installera framdriftsanordningen för vätgas i efterhand. Tanken är även att nya FC/S Viggens bränsleceller skulle drivas med grön vätgas. Den gröna vätgasen skulle tillverkas genom elektrolys. Energin som används till elektrolysören skulle alstras från förnybara energikällor t.ex vindkraftverk i den åländska skärgården. Nedan i figur 2 ses M/s Viggens allmänna ritning.



Figur 2. Allmänna ritningen för M/s Viggen (Eriksson 2021)

3.1 Nuvarande system

Det befintliga systemet ombord som jämförelsen kommer att grunda sig på är två stycken Wärtsilä 8L20 dieselmotorer som driver fartyget och två stycken hjälpmaskiner som tar hand om elförsörjningen. Huvudmaskinerna har en installerad effekt på 1 320 kW per maskin, hjälpmaskinerna har 170 kW per maskin och nödgeneratoren har 60 kW, den totala installerade effekten blir då 3 040 kW. I tillägg kommer pannan att ersättas med elektrisk uppvärmning, det kommer att beskrivas i kapitel 7. Den nuvarande propellern är av typen CPP (Styrbara propellerblad) (Wärtsilä 2020, Eriksson 2021).

3.2 Förbränningsmotorförbrukningar

Då man analyserar diagram 1 nedan kan man konstatera att bränsleförbrukningen ökar avsevärt vid högre belastning av motorerna, detta är delvis på grund av det ökade motståndet av skrovet. Viggens servicefart är oftast ca 12 knop.

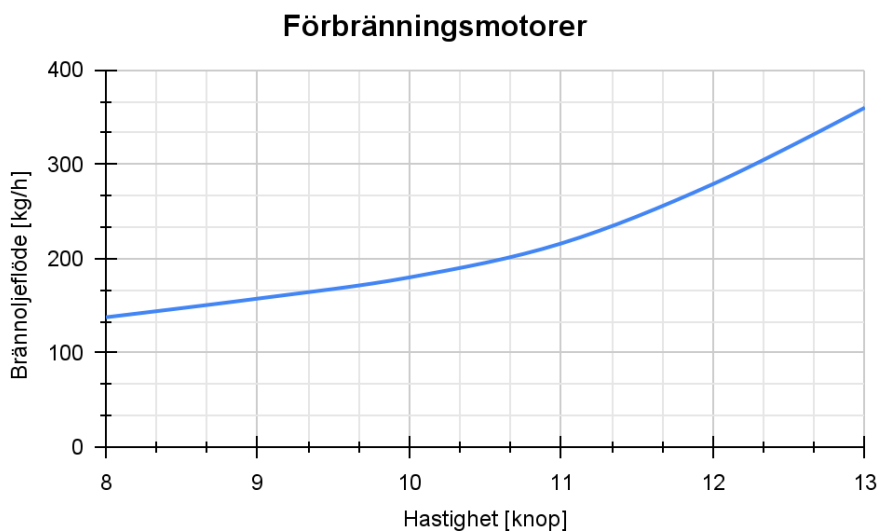


Diagram 1. Bränsleförbrukning för nuvarande förbränningsmotorer (Magnus Eriksson 2021)

För att kunna bestämma energi- och effektbehovet har det gjorts hastighetsmätningar för alla aktuella rutter. Med hjälp av den samlade datan så kunde man sedan göra olika körprofiler med hjälp av de olika medeltalen. Det blev totalt tre stycken driftlägen och dessa är avgång, servicefart och ankomst. För att kunna beräkna ett medeltal på bränsleförbrukningen används datan från diagram 1 för de olika driftlägena. Nedan i diagram 2 ses den beräknade avgångsprofilen.

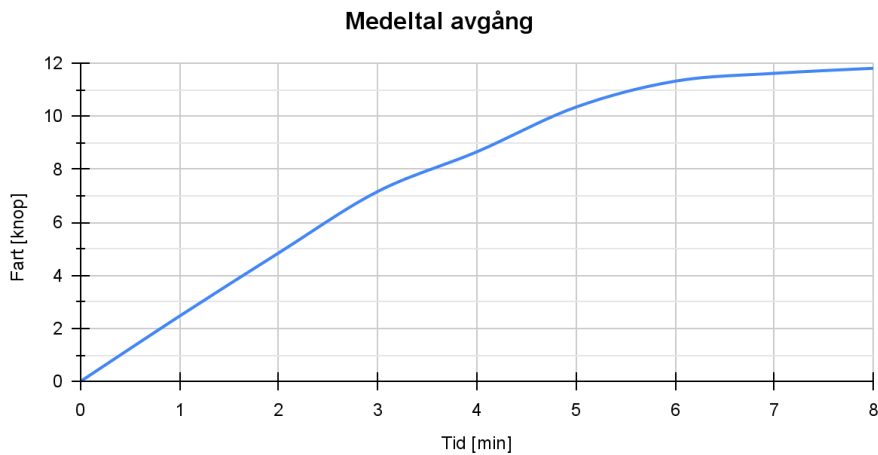


Diagram 2. Medeltal på avgångar

Då accelerationen är känd för avgången kunde vi beräkna medeltalet på bränsleförbrukningen till 3,38 liter/min för axeleffekten 1 030 kW. Nedan i diagram 3 ses den beräknade servicefartprofilen.

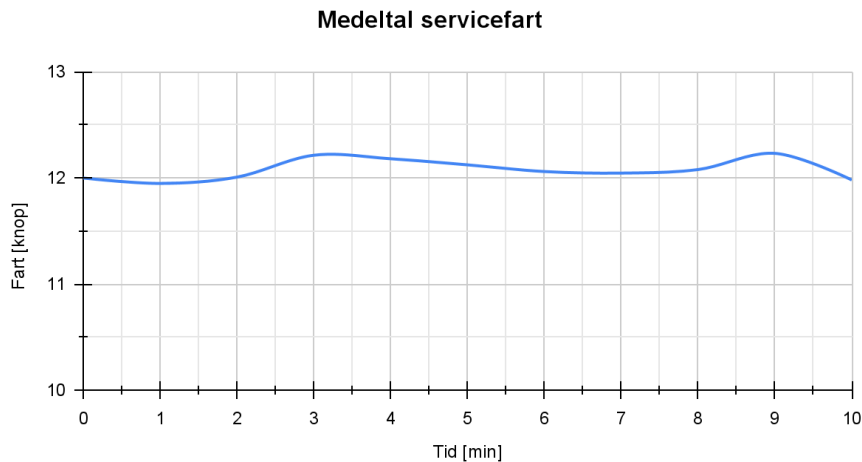


Diagram 3. Medeltal på servicefart

Då servicefarten är känd kunde vi beräkna att medeltalet för bränsleförbrukningen blev 5,82 liter/min för axeleffekten 1 610 kW. Nedan i diagram 4 ses den beräknade ankomstprofilen.

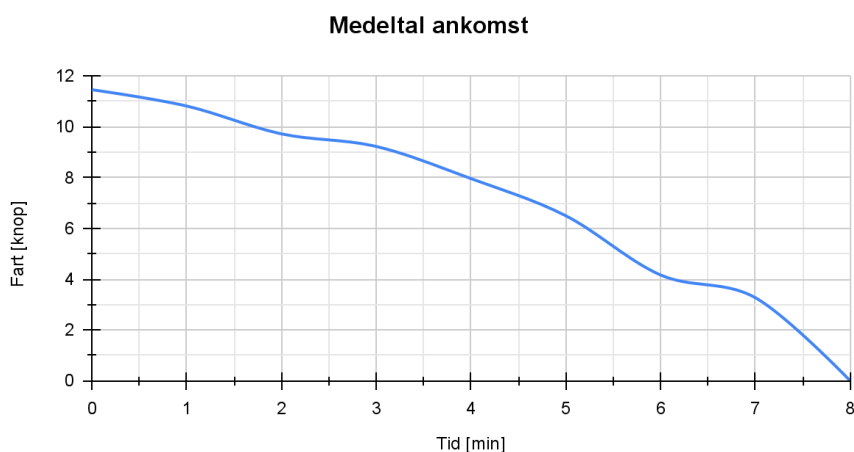


Diagram 4. Medeltal på ankomster

Då retardationen är känd för ankomsten kunde vi beräkna medeltalet på bränsleförbrukningen till 2,97 liter/min för axeleffekten 920 kW. Nedan i tabell 2 ses tiderna i de olika körprofilerna för en veckas tid.

Tabell 2. Tider i de olika körprofilerna per vecka

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>	<i>Enhet</i>
Avgångar/ankomster	68	stycken
Avgångsläge	9	h
Servicefart	44	h
Ankomstläge	9	h
Hamnläge	6	h
Total drifttid	68	h
Viloläge	100	h
Total tid	168	h

I tabell 2 ser man att hamntiderna är väldigt korta för hela ruten, det är endast längre hamntider i de större hamnarna. Det gör att den årliga drifttiden är ca 3 300 h. Nedan i tabell 3 ses beräknade bränsleförbrukningar för den längsta kördagen.

Tabell 3. Brännoljaförbrukningar för den längsta kördagen

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>	<i>Enhet</i>
Huvudmaskiner	4 828,6	liter/per dag
Panna	139,4	liter/per dag
Hjälpmaskiner drift	343,5	liter/per dag
Hjälpmaskiner hamn	20,7	liter/per dag
Hjälpmaskiner manöver	73,43	liter/per dag
Totalt	5 405,7	liter/per dag

Värdena i tabell 3 har fått genom att mäta hur länge fartyget drivs i varje läge. Sedan kunde förbrukningarna beräknas för de aktuella driftlägena genom att använda medeltalen för diagram 2-4. För att sedan få den totala förbrukningen per dag adderades de olika lägenas förbrukningar.

3.3 Förbränningsmotor utsläpp

En Wärtsilä 8L20 har de huvudsakliga utsläppen O_2 , N_2 , förbränningsrester som CO_2 , H_2O , CO , SO_x , NO_x och partiklar. Det finns övervakningssystem som håller koll på de olika utsläppen. Förbränningsmotorns utsläpp beror på vilket bränsle man använder och om man använder sig av ett avgasreningssystem för att reducera förbränningsutsläppen. För att minska utsläppen så finns det flera olika alternativ, t.ex. bränsleval för en renare förbränning, optimering av motorns uppbyggnad och avgasrening i olika former (Wärtsilä 2020).

3.4 Förbränningsmotorns vikt och volym

Driften med förbränningsmotorer kräver mycket mera komponenter och tankar jämfört med bränslecellsdriften. Nedan i tabell 4 listas en del av komponenterna som inte behövs för bränslecells- eller batteriinstallationen.

Tabell.4 Komponenter för förbränningsmotordrift

Komponenter		
Smörjoljetankar	Växel	Förvärmning
Läckoljetank	Axlar från växel till propeller	Separator/bränsle reningssystem
Spilloljetank	Startluftkompressor	Lagerbockar
Expansionstankar	Starluftkärl	Värmeväxlare
Bränsletankar	HT kylvattensystem	Reservdelar
Pannan	Hjälpmaskiner	Nödgenerator

En Wärtsilä 20 med 8 cylindrar väger omkring 12 ton med vätskor och svänghjul enligt våra estimeringar. Det används endast en växel för bägge motorerna och vi har estimerat växelns vikt till 15 ton. Vikten blir då 51,5 ton för huvudmaskinerna och växeln. Nedan i diagram 5 ses estimerade vikten för det nuvarande systemet.

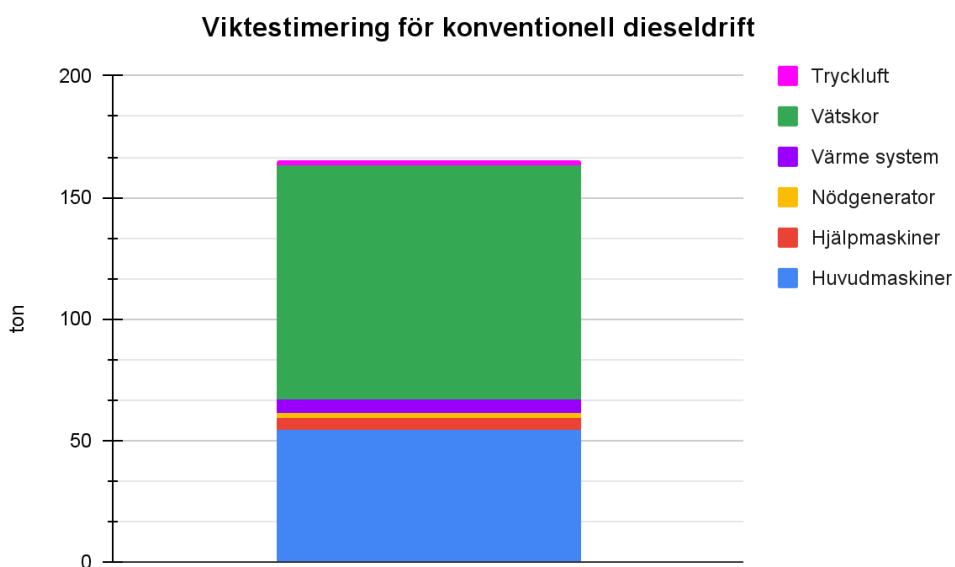


Diagram 5. Estimerade vikter för det nuvarande systemet

4. BRÄNSLECELLER

Bränsleceller fungerar genom att konvertera den kemiska energin från bränsle till elektricitet, genom en kemisk reaktion med syre eller annat oxiderande medel. Bränsleceller producerar elektricitet så länge bränsle och syre levereras. Bränslecellen har inga rörliga komponenter i sig. Inom den marina industrin används huvudsakligen två typer bränsleceller, lågtemperatur- och högtemperatursbränslecell och dessa kommer att förklaras i detta kapitel (DNV 2021).

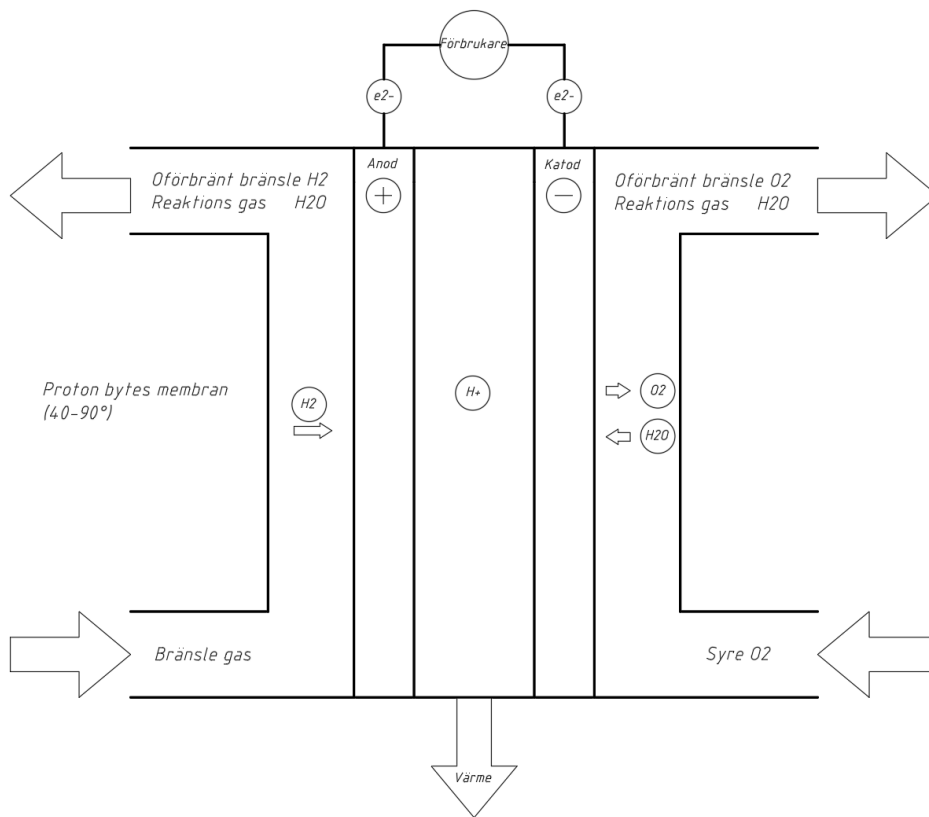
Den generella livslängden för en bränslecell i kommersiell maritim användning ligger vid ca. 20 000-30 000 h innan större service behövs, enligt H.Sjöblom, vice vd, affärsidéer (personlig kommunikation, 30 september 2021). Om en bränslecell skall startas och stoppas flera gånger inom en dag så kommer det förkorta livslängden. Bränslecellernas verkningsgrad minskar med tiden, beroende på hurdan belastning bränslecellen körs på. Om man har bränsleceller installerade så krävs det även externa batterier som tar hand om spänningstoppar och snabba förändringar i energiförbrukningen (DNV 2021).

Små servicearbeten får göras av fartygets besättning om de har fått en skolning av tillverkarna. Bränslecellerna kräver marginellt lite servicearbeten. Oftast handlar det om sensorer, filterservice, ventiler, pumpar, mm. Större servicearbeten sköts av de olika tillverkarna (DNV 2021).

4.1 Lågtemperaturs PEM-bränslecell

Dessa bränsleceller har funnits längst inom den marina industrin. De har en relativt låg kostnad jämfört med de andra typerna. De kräver ren vätgas eftersom de är känsliga mot föroreningar i vätgasen. De har ett komplext internt vattenhanteringssystem för att reglera vattenmängden i bränsleceller. Den använder protonutbytande membran för att leda protoner till jonbyte, membranet separerar vätgasen från syret. Den har stor effekt jämfört med vikten. Den fungerar med låg driftstemperatur som gör att den är mera flexibel att användas. Vi har valt att jämföra denna typens bränslecell eftersom den är billigare än de andra typerna.

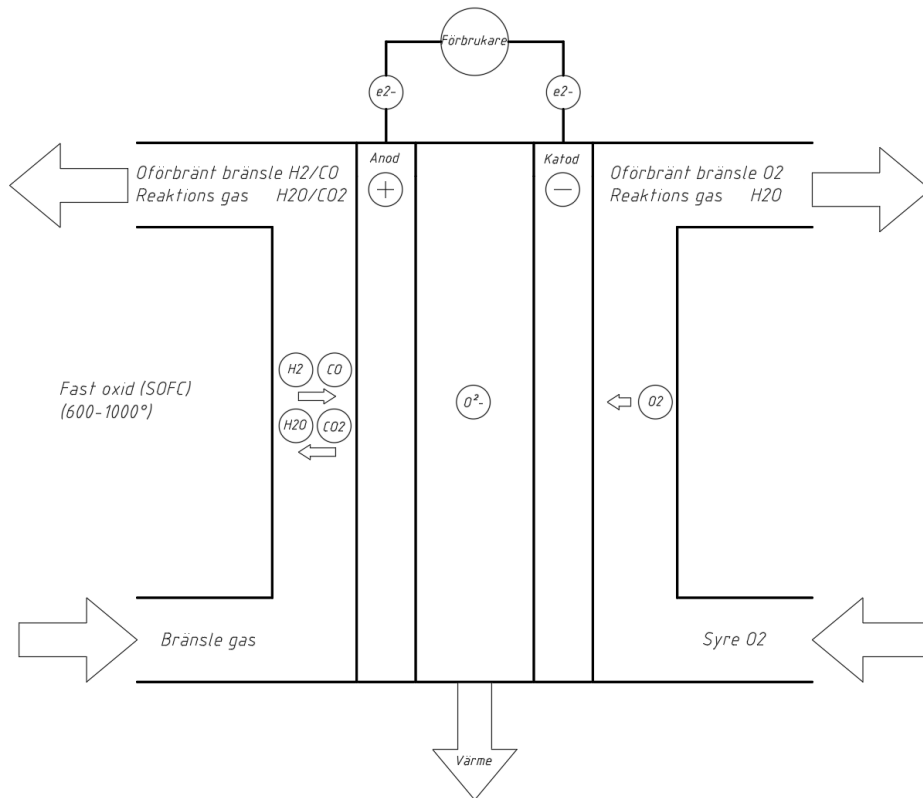
Den är även certifierad av DNV sällskapet för marint bruk vilket underlättar planeringen. Nedan i figur 3 ses den kemiska reaktionen i bränslecellen (The University of Strathclyde).



Figur 3. Kemiska reaktionen för lågtemperaturs PEM-bränslecell (The University of Strathclyde)

4.2 Högtemperaturs-fastoxidbränslecell

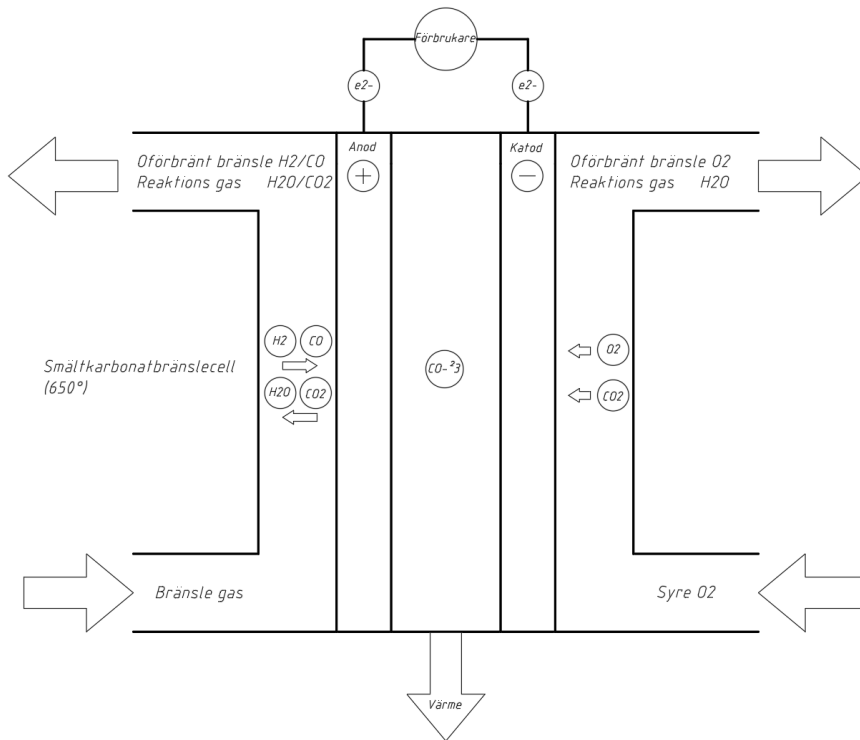
Högtemperaturs-fastoxidsbränslecellen har en bra bränsleeffektivitet. Den är flexibel för olika vätgaskvaliteter och förändringen av kolväte till vätgas sker internt i bränslecellen. Det är ett dyrt system. Eftersom elektrolyten är fast så behöver denna bränslecellen inte vara konstruerad med typiska diskar som de andra bränslecellstyperna. Eftersom den drivs med hög temperatur kan man ta till vara värmen från processen vilket ger en högre verkningsgrad. Bränslecellen har en lång uppstartningstid eftersom den körs på så höga temperaturer. Nedan i figur 4 ses den kemiska reaktionen i bränslecellen (The University of Strathclyde).



Figur 4. Den kemiska reaktionen för högttemperaturs-fastoxidsbränslecellen (The University of Strathclyde)

4.3 Smältkarbonatbränslecell

Smältkarbonatbränslecellen körs på höga temperaturer och använder sig av en elektrolyt som består av smältkarbonat-saltblandning som är fäst i en porös inert keramisk litium-aluminiumoxid. Den höga drifttemperaturen minskar bränslecellens känslighet mot föroreningar i vätgasen och förenklar vattenhanteringssystemet. Det finns möjlighet att ta till vara värmen från bränslecellens process vilket gör denna bränslecell mycket effektiv jämfört med PEM-bränslecellen. Livslängden är kort på grund av den höga drifttemperaturen och den korrosiva elektrolyten försnabbar komponenternas nedbrytning. Nedan i figur 5 ses den kemiska reaktionen i bränslecellen (The University of Strathclyde).



Figur 5. Kemiska reaktionen för smältkarbonatbränslecell (The University of Strathclyde (2006))

4.4 Bränslecellstillverkare

I detta kapitel kommer fyra olika tillverkare av PEM-vätgasbränsleceller beskrivas. De olika tillverkarna är Powercell, Ballard, Nedstack och Teco2030. I texten beskrivs bland annat historien om företaget och produktinformation om bränslecellerna som de har på marknaden. Dessa tillverkare har valts eftersom de leder marknaden för bränsleceller inom marint bruk. Alla dessa företag strävar att hålla sina utsläpp till så nära noll som möjligt.

4.4.1 Powercell

Powercell har funnits länge på bränslecellsmarknaden. Powercells grunder är från början av 90-talet men själva företaget blev grundat 2008. De tillverkar bränslecellspaket till landbaserade anläggningar, marina industrin och bilindustrin. Powercell har endast en storlek på sina bränsleceller, om mera effekt krävs till anläggningen så görs det genom att placera flera bränsleceller på varandra. Som samarbetspartner har powercell bl.a. Robert Bosch GmbH. Powercell satsar på att tillverka sina bränslecellsmembran av rostfritt stål (Powercell 2021). Nedan i tabell 5 ses data om deras bränslecell.

Tabell 5. Teknisk data om Powercell (Powercell 2021)

<i>Powercell</i>		
Namn	PS-185	
Form	Integrerat	
Max effekt	400	kW
Min effekt	200	kW
Bränsleeffektivitet	54	%
Min driftspänning	450	VDC
Max driftspänning	850	VDC
Min ström	45	A
Max ström	450	A
Min vätgas tryck	3	Barg
Max vätgas tryck	3,6	Barg
Vikt	650	kg

4.4.2 Ballard

Företaget grundades 1979. De började med att undersöka högenergilitiumbatterier. År 1983 började de med att undersöka nollutsläppsanläggningar, deras första undersökning inom vätgasindustrin var om högtemperatursbränsleceller. De tillverkar bränslecellspaket till landbaserade anläggningar, marina industrin och till bilindustrin. Ballard har flera olika storlekar på sina bränsleceller. Ballard är ett världsledande företag inom vätgasindustrin. De är även de första som har blivit godkända av klassificeringssällskapet DNV för marina industrin (Ballard 2021). Nedan i tabell 6 syns mera teknisk data om bränslecellen.

Tabell 6. Teknisk data om Ballard (Ballard 2021)

<i>Ballard</i>		
Namn	FC-Wave	
Form	Integrerat	
Max effekt	200	kW
Min effekt	30	kW
Bränsleeffektivitet	56	%
Min driftspänning	350	VDC
Max driftspänning	720	VDC
Min ström	2 x 300	A
Max ström	1 x 550	A
Min vätgas tryck	3,5	Barg
Max vätgas tryck	5	Barg
Vikt	875	kg

4.4.3 Nedstack

Nedstack blev grundat 1999. Nedstack har börjat sin undersökning inom bränsleceller i början av 2000-talet. De har det äldsta fungerande kraftverket med en PEM-bränslecell i världen. De har den första megawatts storleken på en kraftverksanläggning. De tillverkar bränslecellspaket till landbaserade anläggningar, marina industrin och till bilindustrin (Nedstack 2021). Nedan i tabell 7 syns mer data om bränslecellen.

Tabell 7. Teknisk data om Nedstack (Nedstack 2021)

<i>Nedstack</i>		
Namn	MT-FCPP-100	
Form	Integrerat/Container	
Max effekt	100	kW
Min effekt	50	kW
Min driftspänning	300	VDC
Max driftspänning	1 200	VDC
Bränsleeffektivitet	~50	%
Min ström	0	A
Max ström	400	A
Min vätgas tryck	0,3	Barg
Max vätgas tryck	4	Barg
Vikt	2 500	kg

4.4.4 Teco2030

Företaget Teco har påbörjat sina undersökningar för bränsleceller vid början av 2000-talet. Teco2030 satsar mest på den marina industrin. Teco2030 har en storlek på sina bränsleceller, om mera effekt krävs till anläggningen så görs det genom att placera flera bränsleceller på varandra i paket (Teco2030 2021). Nedan i tabell 8 syns mera teknisk data om bränslecellen.

Tabell 8. Teknisk data om Teco2030 (Teco2030 2021)

<i>Teco2030</i>		
Namn	FCM-400	
Form	Integrerat	
Max effekt	400	kW
Min effekt	240	kW
Bränsleeffektivitet	55	%
Min driftspänning	550	VDC
Max driftspänning	750	VDC
Min ström	276	A
Max ström	570	A
Min vätgas tryck	2,5	Barg
Max vätgas tryck	10	Barg
Vikt	1 000	kg

4.5 Jämförelse mellan två bränslecellstillverkare

Nedan i tabell 9 jämför vi data för två stycken bränslecellstillverkare. Vi valde dessa två bränslecellstillverkare eftersom att Ballard är ett av de äldsta och mest framgångsrika inom produktionen av bränsleceller för marint bruk. Företaget Teco2030 är även med eftersom de är nya inom branschen och deras framtid ser lovande ut på grund av de låga priserna och den höga prestandan de lovar. Nedan i tabell 9 listar vi upp fördelarna för de två olika tillverkarna.

Tabell 9. Bränslecells fördelar för de olika tillverkarna (Personlig information av Kongsberg)

<i>Ballard</i>	<i>Teco2030</i>
Lättare i vikt än Teco2030.	Tål större tryckförändring i vätgasen.
Bättre verkningsgrad.	Kan drivas under större temperaturskillnader.
Godkänd av DNV-GL klassen.	Certifieringar på gång.
Mycket erfarenhet och finns på marknaden.	Låter som ett lovande företag för framtiden.
Har flera typer av bränsleceller.	Teco2030 billigare än Ballard.

Ballards största fördel är att de är godkända av klassningssällskapet DNV och de får användas ombord på fartyg. Man kan köra Ballards bränslecell på en mycket mindre belastning än Teco2030. Teco2030 bränslecellen kan köras vid större temperaturförändringar som är bra i Norden där det är stora temperaturskillnader beroende på årstiderna (Ballard 2021, Teco2030 2021). Nedan i tabell 10 ses mer noggrann data om de olika tillverkarnas bränsleceller.

Nedan beräknas vikt- effektförhållandet för de olika tillverkarna med formel 1.

$$PWR = \text{Massa/Effekt} \quad [kg/kW] \quad (1).$$

Tabell 10. Bränslecellsdata från bränslecells tillverkare enligt H.Sjöblom, vice vd, affärsidéer (personlig kommunikation, 30 september 2021)

<i>Tillverkare</i>	<i>Ballard</i>	<i>Teco2030</i>
Kostnad per cell	1 800 €/kW	1 000 €/kW
Vätgas tryck	3 - 5 Barg	2,5 - 10 Barg
Verkningsgrad	56 %	55 %
PWR	0,23 kW/kg	0,4 kW/kg
Livslängd med 0-80% last	Ca 34 000 h	30 000 - 35 000 h
Dimensioner (L*B*H)	1 220 x 738 x 2 200 (mm)	1 3000 x 900 x 2 000 (mm)
Servicekostnader (per år)	36 500€ per bränslecell	6 000€ per bränslecell

I tabellen ser vi att Teco2030 är billigare i priset €/kW. Båda företagens verkningsgrader för bränslecellerna är nästan lika. Teco2030 har en lägre servicekostnad på sina bränsleceller jämfört med Ballard men det återstår att se hur det blir då de kommer ut på marknaden. I Ballards servicekostnader ingår bränslecells utbyte.

Eftersom Teco fortfarande inte finns på marknaden och deras löften om låga kostnader inte går att verifiera så väljer vi att jämföra Ballards bränsleceller. Valet grundar sig på att Ballard är ett säkert val eftersom de är certifierade av DNV och deras egenskaper är kända.

4.6 Bränslecellsutsläpp

Bränsleceller kräver syre och bränsle för att hålla reaktionen igång. Från figuren ser vi att bränslecellens utsläpp blir kvarstående gas och reaktionsgas som är H_2O , CO_2 , CO och N_2 . Detta beror också på vilken av bränslecellstyperna man har. Bränslecellen som vi valde är av typen lågtemperaturs-PEM som betyder att de enda utsläppen som tillkommer är H_2 , H_2O och O_2 (The University of Strathclyde). Bränslecellens utsläpp kan ses från figur 3.

5.BATTERIER

Nedan kommer det att listas upp de mest använda batterityperna samt deras olika egenskaper. Detta görs för att visa varför vi har valt just denna batterityp för detta fartyg. Vissa av dem är mera återvinnbara än de andra som påverkar valet i dagens läge vid val av batteritypen.

Batteridriften kommer att fungera genom att man laddar batteripaketerna på natten då fartyget ligger i hamnen. Laddningen kan ske i Långnäs, Galtby och Kökar eftersom där finns möjlighet till landström. Vi har valt att jämföra batteridriften för att man ska få en bättre förståelse för valet av bränsleceller som energikälla. Batterikapaciteten kommer att bestämmas med körprofilernas data kombinerat med den beräknade energiförbrukningen.

5.1 Litiumbatterier

Litiumbatterier är oftast en blandning av olika metaller enligt önskade egenskaper. De har hög specifik energidensitet jämfört med de andra typerna. Litium-titaniumoxid batteriet (LTO) har termiska egenskaper för snabbladdning och urladdning men har istället låg energitäthet. Litium-nickel-mangan-koboltoxid batteriet (NMC) är det som vi kommer att jämföra, för det är den mest lyckade blandningen för tillfället. Den har en längre livslängd, lägre kostnad och högre energidensitet än de andra typerna och denna typ används ofta i eldrivna fordon (Peng Wu, Richard Bucknall 2016).

5.2 Bly-syrabatterier

De är pålitliga eftersom de har funnits länge. De går bra att återvinna. Nackdelen är deras låga specifika energi och effekt. Effektivitet ligger omkring 70%. Urladdning av 80% eller mer av kapaciteten kommer att förkorta livslängden. Deras livscykel är kring 500-1 000 laddningar (Peng Wu, Richard Bucknall 2016).

5.3 Nickel-hydridbatterier

De har en mycket större specifik energi och högre effekt jämfört med bly-syrabatterierna. De har en motsvarande kostnad som för bly-syrabatterierna. Nackdelen är att dessa inte är lika

återvinnbara. Deras livscykel är kring 500-2 000 laddningar (Peng Wu, Richard Bucknall 2016).

5.4 Val av batterityp

Här kommer vi att se över möjligheterna av batteridrift för vårt exempelfartyg. Vi har valt Kongsberg som batteritillverkare för att underlätta jämförelsen. Vi valde deras batteripaket som heter SAve Energy +. Fördelen med att välja ett sådant batteripaket är enkelheten med att dimensionera enligt olika fartygs effektbehov samt säkerheten eftersom den är integrerad i varje enskilt batteripaket (Kongsberg 2020). Nedan i tabell 11 ses den tekniska datan för SAve Energy + batteripaketet.

Tabell 11. Teknisk data för Kongsbergs batteripaket (Kongsberg 2020)

<i>SAve Energy +</i>	
Blandning	NMC (Lithium-nickel-manganes-cobalt-oxide)
Energi kapacitet	150 - 203 kWh
Cell energi kapacitet	100 Ah
Max CP rate	2
Max ström	280 A
DC - huvudmatning	614 - 1 145 VDC
Kabinetts IP klass	IP 54
Vikt	1 510 kg
Dimensioner (L*B*H)	2 380 x 950 x 1 000 (mm)

De största nackdelarna med batteridrift är den låga energidensiteten både viktmässigt och volymmässigt samt krävande infrastrukturen i hamnen som behövs för laddning. Behovet av snabbaddning påverkar det lokala elnätet negativt eftersom det går åt så mycket energi på en kort tid (Peng Wu, Richard Bucknall 2016).

5.5 Batteriåtervinning

Batterierna måste bytas med ca 10 års mellanrum beroende på användning och körtimmar.

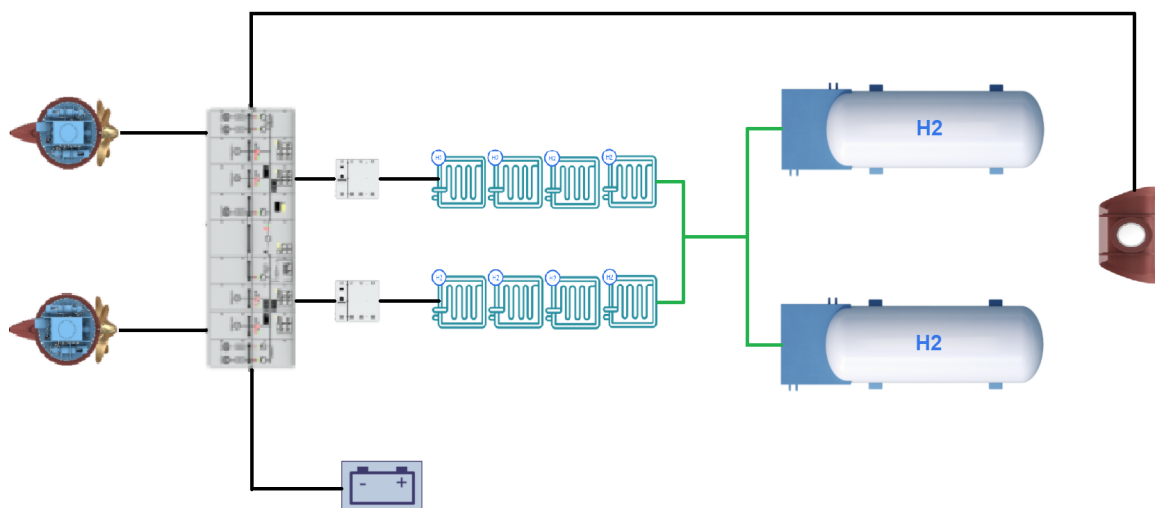
Nyligen har ett företag som heter Northvolt konstruerat ett återvinningssystem för NMC (nickel-magnesium-cobolt) batterier och de kan återvinna upp till 95 % av NMC-batteriernas metaller. Restprodukter i själva återvinningen blir skalet som batterierna är inne i (Recyclingportal 2021).

6. MASKINERI FÖR M/S VIGGEN

6.1 Bränslecellmaskineri för FC/S Viggen

6.1.1 Bränslecellshybriddrift

Systemet kommer vara uppbyggt på ett liknande sätt som dieselektriskt men istället för generatorer som laddar batterierna kommer där finnas bränsleceller som driver propulsionsen. Batterierna finns till för att kunna hantera större spänningstoppar så att man kan köra bränslecellerna på en jämn belastning. Ju mindre man belastar bränslecellerna desto bättre verkningsgrad har de (Kongsberg 2019). Nedan i figur 6 ses en översikt över ett bränslecellshybridssystem.



Figur 6. Bränslecellshybridssystem (Kongsberg 2022)

Figur 6 ger en översikt hur en bränslecellsanläggning skulle se ut på ett fartyg. Vätgastankarna är placerade fram till i denna ritning för att göra den tydligare. Tankarna matar vätgas till bränslecellerna som försörjer huvudtavlan. Huvudtavlan matar spänning till huvudtrustrarna och bogpropellern. Batteripaketet som är fäst vid sidan av huvudtavlan är till för att hantera större strömtoppar (Kongsberg 2022).

6.1.2 Bränslecellsbrukningar

Då man analyserar diagram 6 nedan kan man konstatera att verkningsgraden ökar då man har fler bränsleceller eftersom man då kan köra på en lägre belastning. Vätgasförbrukningen sjunker eftersom verkningsgraden ökar. Fördelen med att välja fler bränsleceller är att man får lägre vätgasförbrukning och en ökad verkningsgrad som i sin tur förlänger bränslecellernas livslängd.

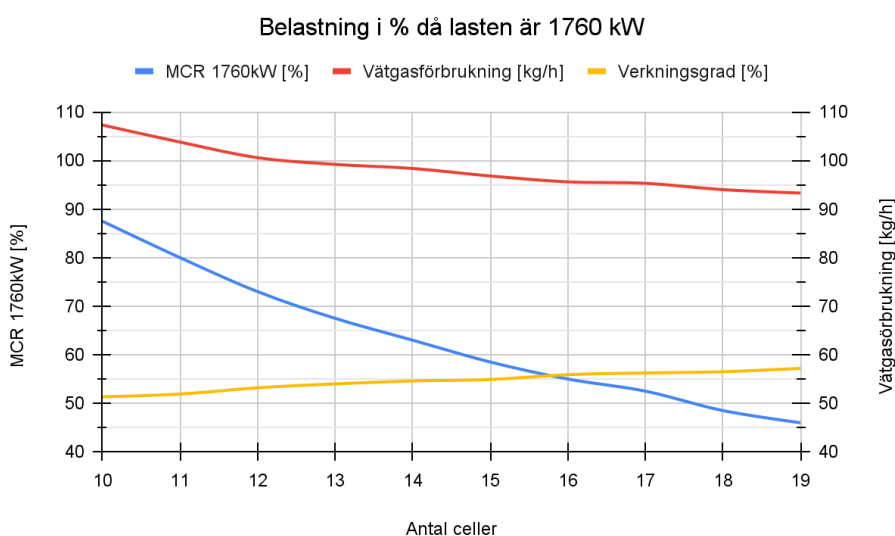


Diagram 6. Verkningsgradens ökning vid ökning av bränsleceller samt vätgasförbrukningen enligt H.Sjöblom (personlig kommunikation, 23 november 2021)

6.1.3 Bränslecellers vikt och volym

Det kan konstateras att det såklart medför nackdelar med att installera flera bränsleceller som den ökade vikten och utrymmet som krävs, även fast bränslecellerna har ett bra effekt- och viktförhållande jämfört med de andra systemen. Volymen för bränslecellerna beräknas enligt formel 3. Nedan i diagram 7 ses vikt- och volymökningen vid ökning av bränsleceller.

$$V = L * B * H * \text{antal bränsleceller} \quad (3)$$

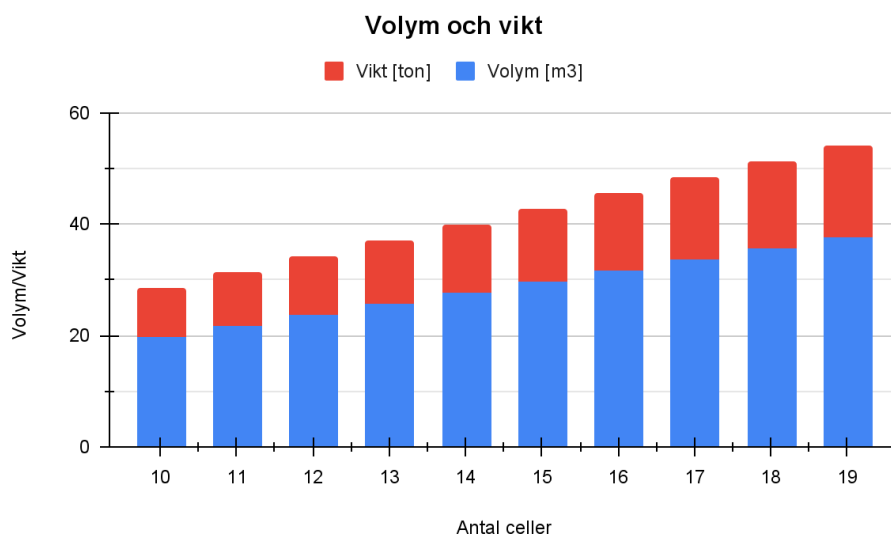


Diagram 7. Volym och vikt för olika antal bränsleceller (Ballard 2021.)

6.1.4 Dimensionering av bränslecellspaket

Då man ska fastställa hur många bränsleceller man behöver så måste man ta i beaktande inköpspris, årlig service, vätgasförbrukning, produktionskostnad och verkningsgraden som varierar med antalet bränsleceller. Nedan i diagram 8 ses kostnaden per år för en 15 årsperiod.

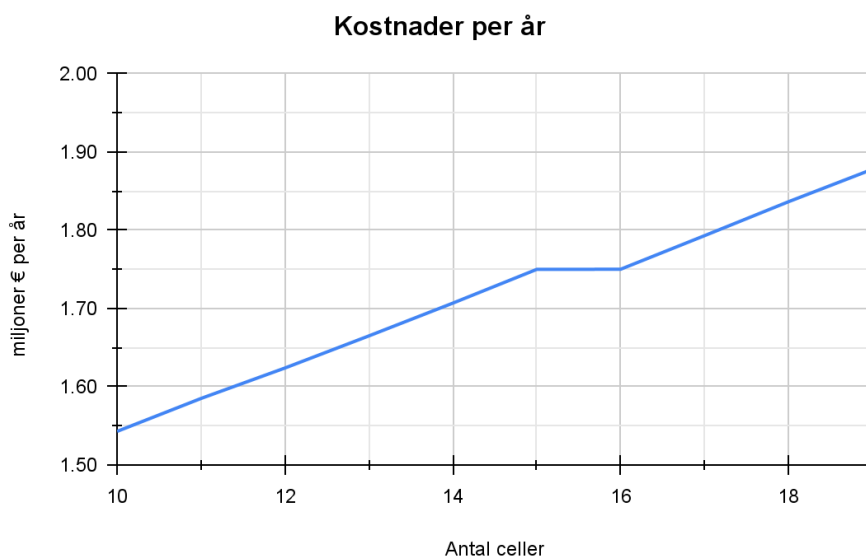


Diagram 8. Kostnader vid ökning av bränsleceller enligt H.Sjöblom, vice vd, affärsidéer (personlig kommunikation, 22 mars 2022)

Efter analys av kapitlets diagram och data har vi konstaterat att 16 stycken bränsleceller skulle vara ett lämpligt antal eftersom man får två stycken containertankar att räckta till för den längsta driftdagen. I diagram 8 ses det att den totala kostnaden är som lägst för 10 stycken bränsleceller men då måste man ha tre stycken containertankar ombord för att upprätthålla säkerhetsmarginalen för tillgängligt bränsle. Eftersom vi valde 16 stycken bränsleceller så skulle vikten bli 14 ton och utrymmet som de skulle ta upp är 31,68 m³. Med 16 stycken bränsleceller klarar vi oss med två stycken containertankar ombord, dessa blir att väga 40,65 ton och utrymmet de kommer ta upp är 163,0 m³. Batteripaketet skulle väga 3,02 ton och ta upp 4,52 m³ utrymme med en energikapacitet på 0,4 MWh (Kongsberg 2020).

Den årliga servicekostnaden är beräknad för 3 300 drifttimmar. Då man ser på diagrammen kan man konstatera att 16 stycken bränsleceller skulle vara ett rimligt alternativ, vi valde detta antal eftersom det är en kompromiss mellan inköpspris och verkningsgrad. Inköpspriset skulle bli omkring 5,96 miljoner € som innehåller batteripaketets kostnad.

Servicekostnaderna skulle bli omkring 330 000 € per år för bränslecellerna, i servicekostnaderna ingår bränslecellsutbyte som sker med ca 24 000 h mellanrum. Nedan i tabell 3 ses de beräknade effekterna för de olika körprofilerna. Effekten ökar på grund av att pannan har ersatts med bland annat luftvärmepumpar, detta redovisas i kapitel 7 enligt H.Sjöblom, vice vd, affärsidéer (personlig kommunikation, 22 mars 2022). Nedan i tabell 12 ses de beräknade effekterna för de olika körprofilerna.

Tabell 12. Beräknade effekter för de olika lägena

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>
Servicefart	1 758,75 kW
Ankomst	952,8 kW
Avgång	1 058,7 kW
Hamn	389,63 kW

I hamnprofilen körs huvudmaskinerna på tomgång, en hjälpmaskin förser fartyget med el och uppvärmningen görs med luft-vattenvärmepumpar. Nedan i tabell 13 ses förklaringar för vätgasförbrukningsberäkningar.

Tabell 13. Förklaringar för vätgasförbrukningsberäkningar

Beteckningar	
\dot{m}_S = Massflödet vid service effekt	t_S = Körtid i servicefart
\dot{m}_{An} = Massflödet vid ankomst effekt	t_{An} = Körtid i ankomst
\dot{m}_{Av} = Massflödet vid avgångs effekt	t_{Av} = Körtid i avgång
\dot{m}_H = Massflödet vid Hamn effekt	t_H = Körtid vid hamnen

Massflödet för de olika körprofilerna har avlästs från bränslecellsförbrukningstabellen, för de olika körprofilernas effekter. Nedan beräknas vätgasflödet för 15 h och 20 min resa med formel 2, 3, 4, 5 och 6.

$$\text{Vätagas } \dot{m}_{\text{Servicefart}} = \dot{m}_S \times t_S = 95,6 \text{ kg/h} * 11,3 \text{ h} = 1\,080,3 \text{ kg/dag} \quad (2)$$

$$\text{Vätagas } \dot{m}_{\text{Ankomst}} = \dot{m}_{An} \times t_{An} = 49 \text{ kg/h} * 2 \text{ h} = 98 \text{ kg/dag} \quad (3)$$

$$\text{Vätagas } \dot{m}_{\text{Avgång}} = \dot{m}_{Av} \times t_{Av} = 53,6 \text{ kg/h} * 2 \text{ h} = 107,2 \text{ kg/dag} \quad (4)$$

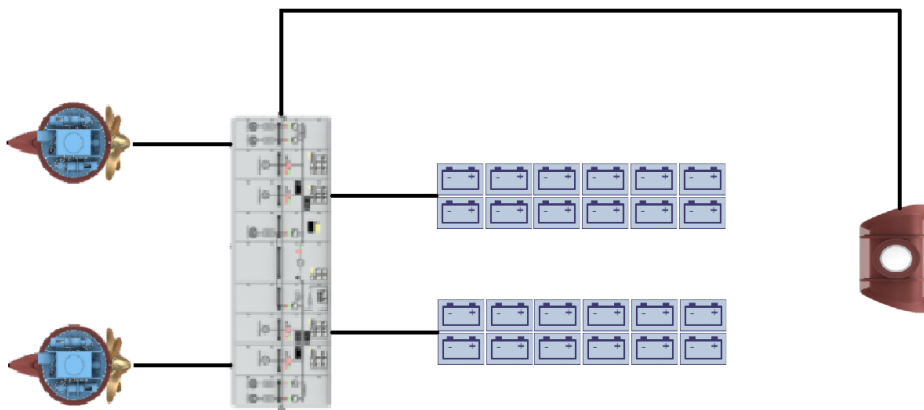
$$\text{Vätagas } \dot{m}_{\text{Hamn}} = \dot{m}_H \times t_H = 19,85 \text{ kg/h} * 1,33 \text{ h} = 26,4 \text{ kg/dag} \quad (5)$$

$$\text{Vätagas } \dot{m}_{\text{Tot}} = \dot{m}_{\text{Servicefart}} + \dot{m}_{\text{Ankomst}} + \dot{m}_{\text{Avgång}} + \dot{m}_{\text{Hamn}} \approx 1\,300 \text{ kg/dag} \quad (6)$$

6.2 Batteridimensionering

6.2.1 Batteridrift

Nedan i figur 7 kan man se hur anläggningen skulle se ut för batteridriften. Skillnaden från bränslecells anordningen är att bränslecellerna och vätgas tanken helt försvinner och man laddar upp batterierna innan körning. Batteripaketet kommer att vara mycket större för denna anordning.



Figur 7. Batteridrift med trustar och en bogpropeller (Kongsberg 2022)

6.2.2 Batteriernas energiförbrukning

Då antalet batteripaket bestäms måste man se på batteriernas egenskaper. En viktig del är batteriernas CP-värde. Det beskriver hastigheten batteriet kan laddas och urladdas. Det är inte heller bra att ladda ur batterierna mer än 80% av batteriets kapacitet eftersom det kommer förkorta batteriernas livslängd. På grund av dessa faktorer så kommer den installerade energikapaciteten bli större med batterierna (Peng Wu, Richard Bucknall 2016). Nedan i tabell 14 ses exempel fartyget M/S Viggens beräknade energiförbrukningar per dag.

Tabell 14. Beräknade energiförbrukningar

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>
Elförbrukning i hamn	70 kWh
Elförbrukning i drift	1 230 kWh
Uppvärmning (luft/vatten pumpar)	800 kWh
Propulsion servicefart	17 080 kWh
Propulsion ankomst	1 540 kWh
Propulsion avgång	1 750 kWh
Propulsion hamn	430 kWh
Totalt	22 900 kWh

Energiförbrukningen beräknades med hjälp av de bestämda effekterna från körprofilerna. Den totala energiförbrukningen på den längsta dagen blev 22,9 MWh där det ingår 15h 20min körning och 8h 40min hamntid med landström.

Nödgeneratoren och pannan lämnas bort för att möjliggöra en miljövänligare drift. Pannan kommer att ersättas med luft-vattenvärmepumpar och elektrisk uppvärmning men detta behandlas noggrannare i kapitel 6. Nödgeneratoren kommer även att ersättas med ökad batterikapacitet.

6.2.3 Batterivikt och volym

Med det befintliga systemet så har man förrådstankar som man fyller med lätt brännolja en eller två gånger i månaden . Med batteridriften så har man inte denna extra reserv, därför måste man dimensionera batteripaketet så att fartyget inte blir strömlöst under driften. För att detta skall lyckas måste man bestämma en passlig marginal utan att överdimensionera batteripaketet. Volymen för batterierna beräknades enligt formel 3. Nedan i diagram 9 ses hur mycket marginalen påverkar vikten och energi kapaciteten hos batterierna (Magnus Eriksson 2021).

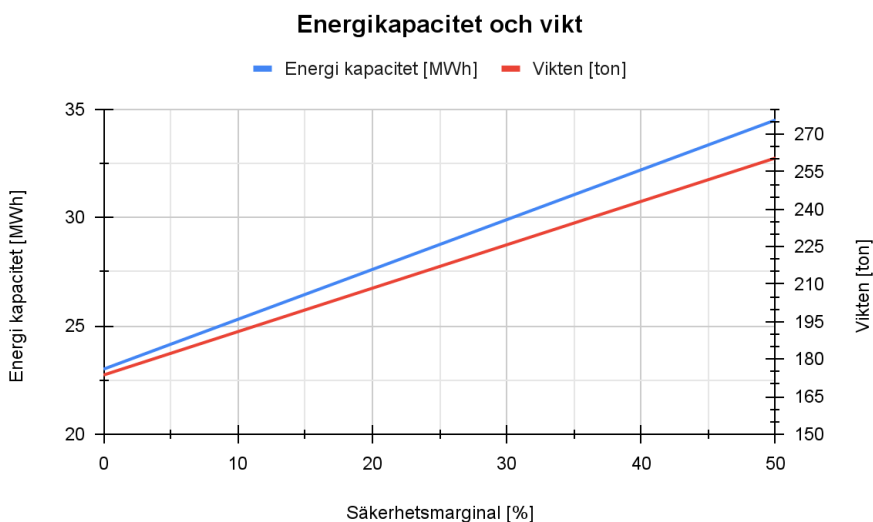


Diagram 9. Vikt och energikapacitetsökning vid ökning av säkerhetsmarginal. (Kongsberg 2020)

6.2.4 Dimensionering av batteripaket

Det totala energibehovet för ett dygn beräknade vi till 22.9 MWh, då ingår det 15h 20min körning och 8h 40min hamntid med landström. Om batteripaketet skulle dimensioneras för konstant full belastning så skulle mängden batterier bli orimligt stor. För att bestämma batterikapacitetsbehovet så beräknar vi först bränsleförbrukningen för exempel fartyget M/S Viggen enligt bränsleförbrukningskurvan som vi har fått av Ålands Landskapsregering. Bränsleförbrukningskurvan jämförs sedan med de olika hastigheterna som M/S Viggen kör, i en körprofil i Excel. Batteriernas egenskaper påverkar även mängden som behövs. CP-värdet för batterierna beskriver hur snabbt batterierna kan laddas och urladdas. Om man har ett bra CP-värde så måste man även veta att infrastrukturen för laddning stöder detta i hamnen för att kunna dra nytta av fördelarna (Peng Wu, Richard Bucknall 2016).

Nu då det totala energibehovet plus 20 % marginal har bestämts så kan man beräkna mängden batteripaket som behövs. Nedan i tabell 15 ses batteridatan för detta energibehov.

Tabell 15. Beräknad data för batteripaket

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>	<i>Enhet</i>
Antal batteripaket	138	stycken
Energikapacitet	27,6	MWh
Cell energikapacitet	13,8	kAh
Vikt	208,38	ton
Volym	312,02	m ³

6.3 Propulsion

Propulsionen för vätgasdriften kommer att ske med två stycken Azipull-trustrar på grund av deras goda manövreringsförmåga och effektivitet. Vi kommer att välja två stycken Azipull AZP85 på grund av deras lämpliga storlek och tillgänglighet i Finland. Fördelen med dessa trustrar är deras goda manövreringsförmåga. De är kompakta samt har lite vibrationer och

ljud. I fören ska det även finnas en bogpropeller för ökad manövreringsförmåga. Nedan i figur 8 ses en Azipull AZP85 (Kongsberg 2019).



Figur 8. Azipull AZP85 (Kongsberg 2019)

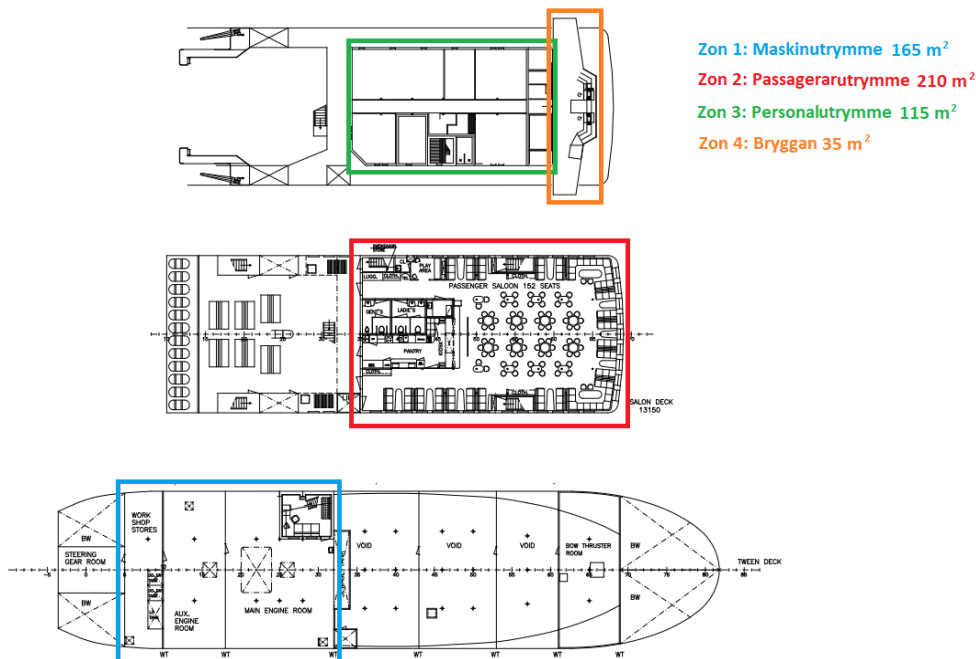
Man kan välja kontrollerbara eller fasta propellerblad till thrustrarna. Eftersom det inte finns någon övre växellåda så blir det lite mindre mekaniska förluster och så sparar man utrymme i thrusterrummet. Elmotorn är väldigt kompakt på grund av att den är installerad inom monteringsflänsens diameter. På grund av detta förnsnabbas även installationen. Nedan i tabell 16 ses tillverkningsinformationen om propulsionsenheten.

Tabell 16. Azipull AZP85 information (Kongsberg 2019)

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>	<i>Enhet</i>
Effekt	900 - 1 600	kW
Ingångshastighet	1 200 - 2 000	rpm
Torrsvikt	13 000	kg
Propeller diameter	1 900 - 2 300	mm

7.ERSÄTTNING AV PANNA

Pannan kommer att ersättas för att man ska kunna jämföra de olika systemen på ett bättre sätt. Pannan skulle ersättas med luft-vattenvärmepumpar för att hålla den önskade temperaturen på ett effektivare sätt. De tillhörande systemen till pannan kommer inte heller behövas, till det hör en stor mängd vattenrör som går genom hela fartyget, bränslesystem till pannan, förvärmningssystem för huvudmaskinerna, den gamla varmvattenberedaren och de gamla värmeelementen. För att kunna beräkna den behövliga mängden av vatten-luftvärmepumpar så har vi delat fartyget in i fyra stycken olika zoner, arean av de olika zonerna beräknades enligt allmänna ritningen se figur 9.



Figur 9. Viggens zonindelning

Tanken är att vi skulle använda oss av två stycken större enheter som har en inbyggd vattentank. En mindre enhet skulle kopplas till en av de större enheterna för att använda samma vatten. En stor luft-vattenvärmepump skulle placeras i maskinrummet. Den andra stora luft-vattenvärmepumpen skulle placeras i passagerarutrymmet och till den kopplas det ihop en mindre luft-vattenvärmepump som använder samma vatten. Den mindre ihopkopplade luft-värmepumpen placeras i personalutrymmet och den kommer även värma

navigationsbryggan. För att säkerställa att temperaturen hålls på vintern så kommer det tilläggas sex stycken värmeelement. Nedan i tabell 17 ses datan för luft-vattenvärmepumparna och värmeelementen som vi har utgått ifrån.

Tabell 17. Produktdata (Polarpumpen 2022, Taloon 2022)

<i>Uppvärmingskomponenter</i>			
Namn	SWM-80	WM-85	Tupa
Typ	Luft-vatten värmepump	Luft-vatten värmepump	Värmeelement
Märke	Mitsubishi	Mitsubishi	Ensto
Effekt	8 kW	9 kW	1 kW
Uppvärmningsyta	150-200 m ²	200-250 m ²	ca 10 m ²
Antal	1	2	6

Eftersom pannan ersätts så kommer värmekällan till varmvattenberedaren även att försvinna. Därför behövs en ny varmvattenberedare med elpatroner för uppvärmning, man kan även koppla ihop varmvattenberedaren med luft-vattenvärmepumpen i maskinrummet. Nedan i tabell 18 ses produktinformationen för varmvattenberedaren som vi använder för jämförelsen.

Tabell 18. Produktinformation om varmvattenberedaren (Viessmann 2022)

<i>Varmvattenberedare</i>	
Namn	Vitocell 300-V
Typ	Varmvattenberedare
Märke	Viessmann
Effekt	50 kW
Kapacitet	300 liter

För att inte underdimensionera energibehovet för varmvattenberedaren så har vi estimerat att den går högst 6 h per dag, då blir det en energiförbrukning på 300 kWh på den längsta kördagen. Den totala energiförbrukningen för uppvärmningen innehållande

luft-vattenpumpar, värmeelement och varmvattenberedare blir nu cirka 800 kWh för den längsta kördagen vintertid.

Den totala kostnaden av det nya uppvärmningssystemet till fartyget skulle kosta ca 27 000 € enligt våra estimeringar. Pannans årliga bränslekostnader är cirka 36 000 € med brännolja priset 1 euro/liter (Eriksson 2021).

8.FÖRVARING AV VÄTGAS

Vätgasen kan förvaras i flytande form eller i gasform. Att förvara vätgasen i flytande form blir extremt mycket svårare, på grund av säkerhetsåtgärderna och temperaturerna så bestämdes det att hålla vätgasen i gasform för detta fall. I gasform kan vätgasen förvaras i en tank som fylls på vid bunkring eller i en container som byts ut vid behov (DNV 2021.)

Nedan i tabell finns teknisk data om företaget Hexagon Purus som levererar containrar i olika dimensioner. Trycken i tankarna är 250 bar, 300 bar eller 500 bar och storleken går från ca 10 fots container till 40 fot (Hexagon purus 2021).

Vi har valt att använda tankarna som har trycket 300 bar eftersom ökningen av trycket ger en lämplig kapacitet för vår vätgas ombord. Om man bunkrar från en lastbil så måste trycket i själva lastbilen överskrida trycket som finns i tanken man fyller på, eftersom trycket är så högt så måste det finnas kompressorer vid elektrolysanläggningen för att kunna fylla upp tankarna med detta tryck. För vårt exempelfartyg så har vi valt att man skulle ha två stycken containrar ombord vilket underlättar bytesproceduren. Tankarna skulle fyllas med vätgas tillverkad genom elektrolyt med vindkraftverken som skulle kunna finnas i närheten av Kökar (Hexagon Purus 2021).

8.1 Komprimerad vätgas

Vi valde att undersöka kompositoriska tankar av företaget Hexagon Purus. Företaget grundades år 2000 och år 2001 köpte Hexagon Purus ett företag som gjorde komposittankar. Efter detta har de köpt flera företag för att komma in på marknaden för kompositoriska tankar. År 2021 köpte de företaget Wystrach som är ledande inom teknologin att förvara vätgas. Hexagon purus har en lång erfarenhet av att erbjuda kompositoriska tankar för alternativa bränslen. Hexagon Purus huvudkontor är i Norge men de har kontor i 23 olika länder (Hexagon Purus 2021). Nedan i tabell 19 ses data för 250 och 300 bars containertankar.

Tabell 19. Teknisk data för 250 bars container (Hexagon Purus 2021)

<i>Olika storlekar på containertankar</i>			
Tryck	250	300	bar
Dimensioner (L*B*H)	12,192 x 2,438 x 2,743	12,192 x 2,438 x 2,743	m
Kapacitet	8,63	10,055	m ³
Volym	40 250	40 250	liter
Container vikt	17 410	19 480	kg
Gas vikt	725	845	kg
Totala vikten	18 135	20 325	kg
Cylinder mängd	115	115	st
Operations temperatur min	-40	-40	°C
Operations temperatur max	65	65	°C

Containerstorleken som vi valt har trycket 300 bar och storleken 12,192 x 2,438 x 2,743 meter och har utrymme för 845 kg vätgas. Tanken valdes eftersom den har tillräckligt stor kapacitet för den Södra linjen på Åland.

8.2 Containerförvaring

Den beräknade vätgasförbrukningen är omkring 1 300 kg för 15,3 timmars drift. Det betyder att det skulle behövas två stycken containrar, den totala vätgaskapaciteten blir då 1 690 kg ombord som ger en marginal på ca 30 %. De två containrarna skulle placeras i aktern på FC/S Viggen för att möjliggöra lättare flyttning av tankarna från och till fartyget. Orsaken att en 30 % marginal valdes var att man skulle klara sig på de kortare drift dagarna med ett containerbyte.

8.3 EU-krav för förvaringen av vätgas

Det finns olika typer av tankar som man kan förvara komprimerad vätgas i. Nedan kommer det att listas upp fyra olika typers tankar och kraven av Europeiska unionen på dem. Olika tester för de trycksatta tankarna med vätgas kan ses nedan i tabell 20 (EU Monitor 2009).

Typ 1: Sömfri metallcontainer

Typ: 2 Delvis lindad sömfri metallcontainer

Typ 3: Lindad sömfri/svetsad metallcontainer

Typ 4: Lindad icke metallcontainer

Tabell 20. Tester för trycksatta tankar

<i>Test typ</i>	<i>Typ 1</i>	<i>Typ 2</i>	<i>Typ 3</i>	<i>Typ 4</i>
Sprickprov	X	X	X	X
Temperatur-tryckprov	X	X	X	X
Trycksättning av tanken innan läckage	X	X	X	X
Brandprov	X	X	X	X
Penetrationsprov	X	X	X	X
Kemiskt exponeringsprov		X	X	X
Komposit toleransprov		X	X	X
Accelererat stresssprickprov		X	X	X
Extremtemperaturs-tryckprov		X	X	X
Stötprov			X	X
Läckprov				X
Inträngningsprov				X
Vridmomentsprov				X
Vätgas tryckprov				X

Sömfri metallcontainer har minst krav medan den lindade icke-metallcontainern har mest krav. Man ser då att det krävs flera olika prover på de olika tankarna för att kunna säkerställa att de är tillräckligt säkra för förvaringen av vätgas. Nedan i tabell 21 listas det upp vad de olika proven innebär för de olika containertyperna, tillverkaren ska ha certifikat som bevisar att dessa prov har utförts (EU Monitor 2009).

Tabell 21. Olika typers tester (EU Monitor 2009)

<i>Test typ</i>	<i>Beskrivning</i>
Tryckprov	Meningen är att man ska få fram ett värde för vilket tryck behållaren spricker. För att behållaren skall godkännas så trycksätts den till ett visst tryck som är högre än arbetstrycket.
Temperatur-tryckprov	Provets syfte är att bevisa att behållaren håller stora tryckskillnader som uppträder i behållaren. För att behållaren skall godkännas så ökar man och sänker trycket ett visst antal gånger.
Trycksättning av tanken innan läckage	Provets syfte är att man ska prova att tanken spricker innan den sprängs. Detta test görs genom att höja och sänka trycket i behållaren till ett visst värde. För att godkännas skall behållaren klara ett visst antal cykler med tryck skillnader innan den börja läcka.
Brandprov	Provets syfte är att behållaren skall klara utomstående bränder utan att spricka. För att behållaren skall godkännas krävs att den har arbetstryck under provet och endast ventileras ut genom trycksläppnings apparaturen, får inte spricka under provets gång.
Penetrationsprov	Provets syfte är att prova att behållaren inte spricker då den penetreras av ett skott. För att behållaren skall godkännas krävs att den har ett arbetstryck vid prövning.
Kemiskt exponeringsprov	Provets syfte är att behållaren skall klara av kemisk exponering. För att behållaren skall godkännas krävs att den klarar av den kemiska exponeringen med arbetstryck och inga sprickor får framkomma.
Komposit toleransprov	Provets syfte är att behållaren skall klara av exponering till höga tryck. För att behållaren skall godkännas så skadas behållaren på ett visst sätt och skall klara av variationer av trycket ett visst antal gånger utan att läcka eller spricka.
Accelererat stresssprickprov	Provets syfte är att behållaren skall klara av exponering till höga tryck och temperaturer inom gränserna för operationen. För att behållaren skall godkännas skall den ha ett visst tryck innan den spricker.
Högtemperaturs trycktest	Provets syfte är att behållaren skall klara av tryckskillnader i olika temperaturer. För att behållaren skall godkännas krävs det att behållaren

	utan skyddslager klarar av extrema väderförhållanden vid trycktest, inga sprickor, läckage eller fiberlossning får framkomma.
Stötprov	Provets syfte är att behållaren skall klara av stötar under arbetstryck. För att behållaren skall godkännas krävs att den släpps från ett visst avstånd och skall trycksättas ett visst antal gånger behållaren får inte spricka eller läcka.
Läckprov	Provets syfte är att behållaren inte ska börja läcka inom de specificerade omständigheterna. För att behållaren skall godkännas krävs det att inga läckor uppträder vid arbetstryck.
Inträngningsprov	Provets syfte är att behållaren inte ska få inträngning av vätgas. För att behållaren skall godkännas krävs det att den skall trycksättas till arbetstryck och övervakas i ett stängt utrymme för inträngning inom en viss tid och temperatur.
Vridmomentsprov	Provets syfte är att behållaren skall klara av ett specifikt vridmoment. För att behållaren skall godkännas krävs det att man applicerar vridmoment på behållaren från olika håll, och efter detta skall behållaren klara av ett visst tryck utan att spricka eller läcka.
Vätgas tryckprov	Provets syfte är att behållaren skall behålla stora variationer i trycket med vätgas. För att behållaren skall godkännas krävs Så tillsätts den under flera tryckvariationer i en x antal mängder med vätgas, inga läckor eller sprickor får framkomma.

8.4 Huvudsakliga produktionsanläggningen

För vårt projekt tänker vi att det skulle finnas en vindkraftpark i närheten av Kökar. Man skulle då kunna använda Kökars vindkraftpark för att spjälka upp vätgasen och lagra det i containertankar. Man skulle ha två stycken containrar vid påfyllning intill elektrolysanläggningen, två stycken ombord på fartyget och fyra stycken bufferttankar skulle finnas fulltankade vid Kökars hamn redo för att lyftas ombord. För de kortare kördagarna så skulle det räcka att byta ut en containertank ombord men för den längsta dagen behövs båda tankarna bytas efter att dagen är slut. Det skulle då bli totalt åtta stycken containrar för att få ett smidigt löpande system (Stefan Fransman 2021). Vätgasens produktionsbehov för tillräcklig mängd för daglig drift beräknas med formel 7.

$$\text{Vätgasproduktion} = \text{Produktion per anläggning} * \text{elektrolysörer}$$

$$\text{Vätgasproduktion} = 430 \text{ kg/dag} * 3 \approx 1\,290 \text{ kg/dag} \quad (7)$$

Nedan i tabell 22 ses en anläggning på en megawatt och hur mycket vätgas den skulle producera. En elektrolysör på 1 MW kostar ca 1,4 miljoner euro. Eftersom förbrukningen är ca 1 300 kg vätgas på den längsta dagen så skulle den Södra linjen behöva en vätgasproduktionsanläggning på 3 megawatt för att få ca 1 300 kg/dag vätgas producerat (Plug Power 2021). Processen för tillverkning av vätgas för en megawattsanläggning kan ses nedan i tabell 22.

Tabell 22. Vätgastillverkningsanläggning (Plug Power 2021)

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>	<i>Enhet</i>
Vätgasproduktion	430	kg/dag
Renheten av den producerade vätgasen	99,99	%
Systemeffektiviteten	84	%
Trycket av den producerade vätgasen	40	bar
Livslängd	80 000	h
Medeltal för elförbrukning	49,9	kWh/kg
Vattenförbrukning	10	kg per producerad vätgas
Minsta drifttemperaturen	-20	°C
Högsta drifttemperaturen	40	°C
Elförbrukning vid viloläge	<70	kW
Vikt	35 000	kg

Från tabellen ovanför ser vi data om tillverkningen för vätgas och hur mycket energi som skulle krävas från vindkraftparken. Man skulle även behöva externa kompressorer för att få trycket till 300 bar till vätgasförvaringscontainern. Förutom små servicearbeten så skall en större inspektion ske årligen. Servicekostnaderna för en elektrolysör är ca 20 000 € per år. Service på vätgasproduktion anläggningen kan ses nedan i tabell 23.

Tabell 23. Service på vätgasproduktionsanläggningen enligt H.Sjöblom, vice vd, affärsidéer; (personlig kommunikation, 23 november 2021)

<i>Del</i>	<i>Åtgärd</i>
Vätgasdetektor	Kalibrering och visuell kontroll. Visuell kontroll och smörjning av pumpen. Kontroll av kopplingen.
Cirkulationspump	Visuell kontroll och rengöring. Motorns lager smörjning. Pump lager smörjning.
Koldioxidfilter	Filterbyte.
Kylare	Rengör kylare.
ESD (electro static discharge)	Nödavstängning.
Vätgas i syredetektor	Kalibrering.
Vätgassensor	Kalibrering.
Pump	Diaframbyte och byte av växellådsolja.
Syre i vätgasanalysator	Kalibrering.
Vattenrengörare	Kolfilter byte.

8.5 Reserv-produktionsanläggning

Som ett alternativ skulle man kunna ha en reserv-elektrolysanläggning i Långnäs. Andra alternativet är att ha extra buffertankar på Kökar. Det är billigare att ha extra buffertankar än en extra elektrolysanläggning. Buffertankarna skulle fyllas då det finns överloppsenergi och så skulle de förbrukas då det finns för lite energi för att tillverka tillräcklig mängd vätgas med elektrolysanläggningen. Reservenergin i vätgasbuffertankarna skulle bli 128.8 MWh med 3380 kg vätgas med fyra stycken 300 bars buffertankar. Då skulle det räcka för minst tre stycken kördagar om man inte alls producerar någon vätgas.

En Hexagon vätgasförvaringscontainer kostar ca 600 000 €. Totala priset blir 2,4 miljoner euro med fyra stycken buffertankar. En elektrolysanläggning på en megawatt kostar 1,4 miljoner euro. Om en reservelektrolysanläggning skulle byggas så behövs det minst två

stycken elektrolysörer vilket ger en kostnad på 2,8 miljoner euro plus installationskostnader och servicekostnader. Enligt våra estimeringar är det billigare att ha extra buffertankar istället för en extra elektrolysanläggning (enligt H.Sjöblom, vice vd, affärsidéer, personlig kommunikation, 22 mars 2022).

9. TEKNISK JÄMFÖRELSE FÖR EXEMPELFARTYGG

I detta kapitel kommer vi att använda oss av Ballards FC Wave bränslecellspaket för dessa tekniska jämförelser mot två Wärtsilä 8L20 dieselmotorer. Dessa kommer även jämföras mot Kongsbergs SAVe Energy + batteripaket. Bränslecellsantalet och batterikapaciteten har dimensionerats i kapitel 3 för exempel fartyget M/s Viggen. För jämförelsen kommer vi använda oss av 16 bränsleceller med installerade effekten 3,2 MW plus 0,4 MWh batteripaketet och 138 stycken batteripaket med kapaciteten 27,6 MW, dessa kommer att jämföras mot det befintliga systemet med nominella effekten 3,04 MW.

9.1 Jämförelse av förbrukningar

De olika systemens förbrukningar kommer att se annorlunda ut. Det viktiga här är att se på helhetsbilden dvs vad dessa förbrukningar betyder. Den lätta brännoljan som förbränningsmotorerna förbrukar måste varje gång köpas in av något bränslebolag medans man kan producera vätgasen själv via vindkraft. För vätgasen så måste man självklart se på installationskostnader och underhåll istället för inköpskostnaderna som brännoljan har. Nedan i diagram 10 jämförs förbränningsmotorernas brännoljaflöde, bränslecellernas vätgasflöde och batteripaketets energiförbrukning (Eriksson 2021, Ballard 2021, Mariehamns Energi 2022).

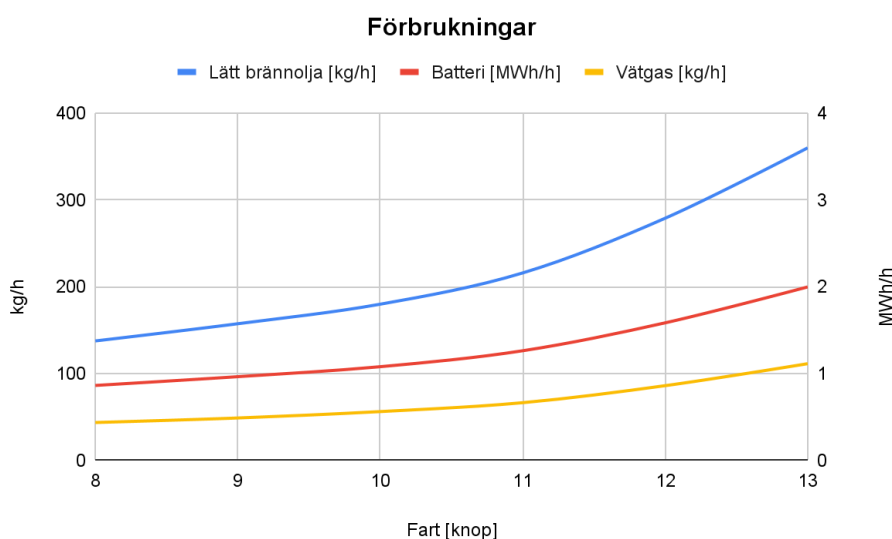


Diagram 10. Jämförelse mellan de olika förbrukningarna

I diagram 10 ser vi de olika bränsleförbrukningarna från de olika systemen jämfört mot varandra. Man ser att brännoljaförbrukningen är högst på grund av att maskinerna har lägre effektivitet jämfört med bränslecellerna. Förbrukningarna ökar exponentiellt på grund av skrovets motstånd i havet och propellergreppets inverkan vid acceleration.

9.2 Jämförelse av utsläpp

De nuvarande motorena på M/S Viggen tillverkades innan IMO:s utsläppsklasser trädde i kraft år 2000. Så de kommer ha mera utsläpp jämfört med nyare Wärtsilä 20-motorer. Från bränslecellen som vi har valt så är de enda utsläppen H_2 och H_2O och från batterier är det 5% som inte går att återvinna. Nedan i diagram 11 ses huvud- och hjälpmaskinernas utsläpp per timme som medeltal (Eriksson 2021).

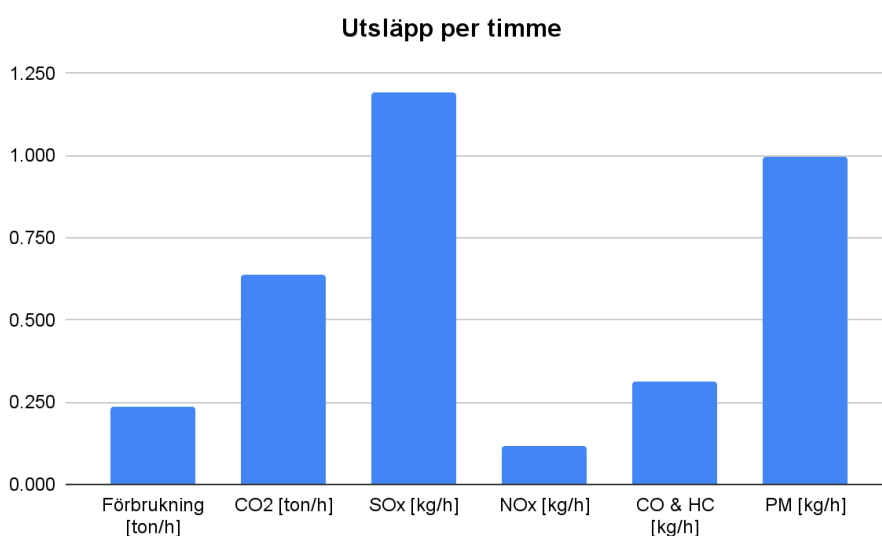


Diagram 11. Medeltal på utsläppen per timme

9.3 Jämförelse av vikt och volym

Nedan jämförs de olika systemens estimerade vikter och volymer. Desto mer vikt och volym dessa system kräver desto mindre last kan man ta ombord på fartyget. Placeringen av tunga komponenter har även stor inverkan på fartygets stabilitet. För att lättare kunna se helheten av de olika systemens utrymmeskrav och vikterna så gjordes ett stapeldiagram som man kan se nedan i diagram 12.

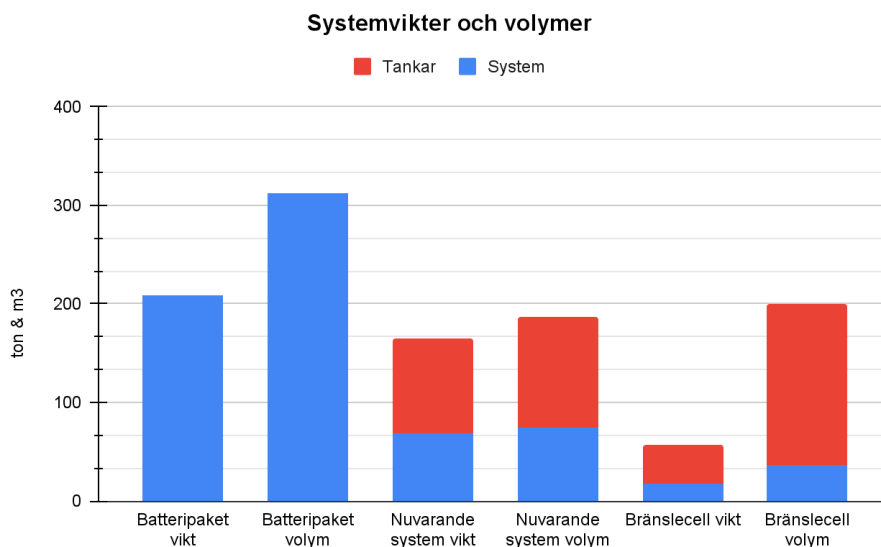


Diagram 12. Vikt och volym skillnader mellan de olika systemen (Wärtsilä 2017, Wärtsilä 2020)

Eftersom man nu vet vikterna och effekterna så kan man beräkna vikt/effekt-förhållandet enligt formel 1. Bränslecellernas installation får 18 kg/kW och det nuvarande systemet får 54,3 kg/kW med våra estimerade vikter. Batteripaketens vikt/kapacitets-förhållande blir 7,6 kg/kWh.

Då man jämför totala vikten av det nuvarande systemet mot batteripaketet så är batterierna 45 ton tyngre som gör att dödvikten för last sjunker till 468 ton från 513 ton. För bränslecellerna så skulle dödvikten för last öka eftersom bränslecellerna väger 105 ton mindre, det nuvarande systemets dödvikt för last skulle då stiga till 618 ton.

10. EKONOMISKA BERÄKNINGAR

I detta kapitel kommer införskaffnings- och servicepriser av de olika system att tas upp. Vi jämför även hur mycket det kostar att tillverka vätgas med olika metoder. Vi kommer att jämföra samma system som i kapitel 8. För batterierna har vi beräknat hur mycket laddningskostnaderna skulle bli för att kunna jämföra systemen med varandra.

10.1 Förbränningsmotorkostnader

För att kunna sammanställa kostnaderna för förbränningsmotorerna så har vi använt oss av serviceintervallen från Wärtsiläs manualer för de olika arbetena som ska utföras. De totala estimeringarna för 20 000 drifttimmar gjordes genom att leta priser på nätet för de olika komponenterna.. I dessa ekonomiska beräkningar beaktar vi inte personalkostnader eller kostnader för service av utomstående företag. Servicekostnaderna för bägge motorerna har beräknats från reservdelskostnader och servicearbeten för 20 000 drifttimmar. Den årliga drifttiden är cirka 3 300 h för ett fartyg på Södra linjen. Då man delar 20 000 drifttimmar med den årliga drifttiden så kom vi fram till att den årliga servicen blir cirka 60 500 € för båda motorerna. Den största kostnaden är kolvhalning som utförs av Wärtsilä varje 20 000 h och den kostar cirka 150 000 €. Nedan i tabell 24 kan man avläsa de inräknade intervallerna med de olika komponenterna för att sammanställa servicekostnaderna för förbränningsmotorerna. Till servicekostnaderna har vi använt oss av ett oljepris på 3,96 € per liter (Eriksson 2021.)

Tabell 24. Serviceintervall för Wärtsilä 20 (World documents 2014)

<i>Komponent</i>	<i>Intervall (h)</i>
Oljebyte	1 000
Oljefilterbyte	1 000
Bränslefilterbyte	1 000
Kolvhalning	20 000
Spridare	2 000
Turbin oljebyte	500
Turbin duk	3 000

Regulator oljebyte	2 000
Turbin lagerbyte	8 000
Centrifugal insert	250

Inköpspriset för två stycken Wärtsilä 8L20 är cirka 1,4 miljoner € enligt Mika Ojutkangas, GM, försäljning (personlig kommunikation, 17 Januari 2022). Införskaffningskostnader som inte beaktas är köp av växel, axlar och maskinens externa system.

10.2 Bränslekostnader för dieselmotorerna

Nedan i tabell 25 ses den beräknade förbrukningen för exempel fartyget M/s Viggan under den längsta kördagen då drifttiden är 15 h 20 min. I huvudmaskinsförbrukningen ingår adderade förbrukningar för ankomst, avgång, servicefart och hamnläge. Vi har använt oss av ett pris på 1 € per liter för den lätta brännoljan som används ombord.

Tabell 25. Bränsleförbrukningar för dieselmotorerna

<i>Typ</i>	<i>Värde</i>	<i>Enhet</i>
Huvudmaskiner	4 828,6	€/per dag
Panna	139,4	€/per dag
Hjälpmaskiner drift	343,5	€/per dag
Hjälpmaskiner hamn	20,7	€/per dag
Hjälpmaskiner manöver	73,43	€/per dag
Totala kostnaden	5405,7	€/per dag

Enligt våra estimeringar så skulle M/S Viggens bränsleförbrukning under en vecka vara ca 20 000 liter vilken ger en bränslekostnad på 20 000 € per vecka.

10.3 Bränslecellskostnader

Dessa bränslecellskostnader kommer att redovisas för 16 stycken bränsleceller som bestämdes i kapitel 3. Inköpskostnaden per bränslecell är cirka 360 000 € och batteripaketets kostnad är 200 000 € så det totala inköpspriset blir cirka 5,96 miljoner euro. Den årliga servicen för bränslecellerna blir ca 330 000 € för 3 300 drifttimmar per år i service kostnaderna ingår bränslecells utbyte vilket skulle ske med ca 7,2 års mellanrum för FC/S Vигgen.

10.4 Vätgaskostnader

För att beräkna vätgas produktionskostnaden med elnätet så har vi använt oss av ett pris på 8 cent/kWh och för tillverkning med energi från vindkraftverk 3 cent/kWh. För inköpt grön vätgas har vi använt oss av ett pris på 7€/kg som är 23.1 cent/kWh. Nedan i diagram 13 ses kostnader för olika tillverkningsmetoder av vätgas för olika långa körtider per dag (Mariehamns energi 2022, H. Sjöblom 2021).

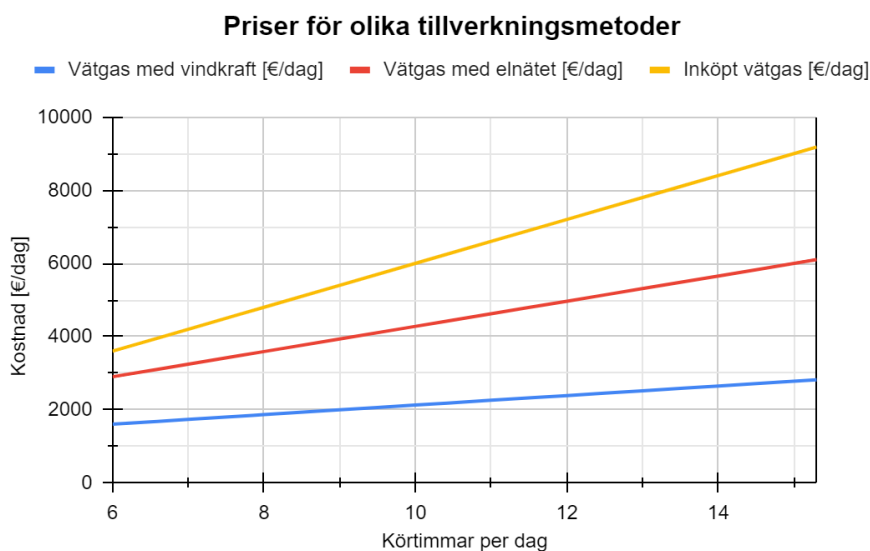


Diagram 13. Kostnader för olika tillverkningsmetoder, priset för den producerade vätgasen innehåller kostnader för elektrolysörer med en avbetalningstid på 15 år

Eftersom elen är så dyr så ser man i diagrammet ovan att det skulle löna sig att köpa in vätgas om man tillverkar vätgas med endast elnätet och behöver vätgas för mer än 10 timmars kördagar. Att köpa in vätgasen är inte så lätt eftersom närmaste försäljaren finns i Sverige och

där kommer priset vara högre, transportavgifter av vätgas har inte beaktats i diagrammet eftersom det beror mycket på valet var man köper ifrån. På grund av detta kommer det vara viktigt att buffertankarna vid elektrolysörerna räcker till (Hydrogen live 2022).

Eftersom vätgasen kommer tillverkas med elektrolys så måste även dessa elektrolysörer och deras tillhörande tankar införskaffas. I kapitel tre bestämdes det att tre stycken elektrolysörer och totalt åtta stycken containertankar skulle räcka till för vätgasbehovet av FC/S Viggen. Man skulle då exempelvis kunna ha fyra st buffertankar i reserv för att försäkra sig om att man har tillräckligt med vätgas under perioder då det inte finns tillräckligt med energi.

10.5 Batterikostnader

Dessa batteripaketskostnader kommer att redovisas för 138 stycken batteripaket som bestämdes i kapitel 3. Inköpskostnaden per batteripaket är ca 100 000 € och varje batteripaket har 200 kWh styck. Det totala inköpspriset blir då ca 13,8 miljoner euro för kapaciteten 27,6 MWh och 13,8 kAh. Batteripaketerna är nästan servicefria, krävs endast några inspektioner och mätningar för att säkerställa batteriernas skick (Kongsberg 2020).

10.6 Laddningskostnader

Elpriset som används för laddningskostnaderna är samma som användes för vätgasproduktionen med elnätet dvs 8 cent/kWh plus fasta avgifter. Vårt CP-värde är 2 och det betyder att man kan ladda batterierna med max 55,2 MW, elnätet skulle inte kunna stödja denna stora effekt. På grund av begränsningar i batteriladdare och elnätet så har vi uppskattat att laddningen skulle ske med 5 MW. Eftersom batterierna behöver snabbladdning så kommer verkningsgraden för laddarna att sjunka på grund av att det kommer förloras energi i form av värme. Verkningsgraden har uppskattats till 85% för laddarna. Nedan i diagram 14 ses laddningskostnaderna för el med vindkraft och från elnätet (Kongsberg 2020).

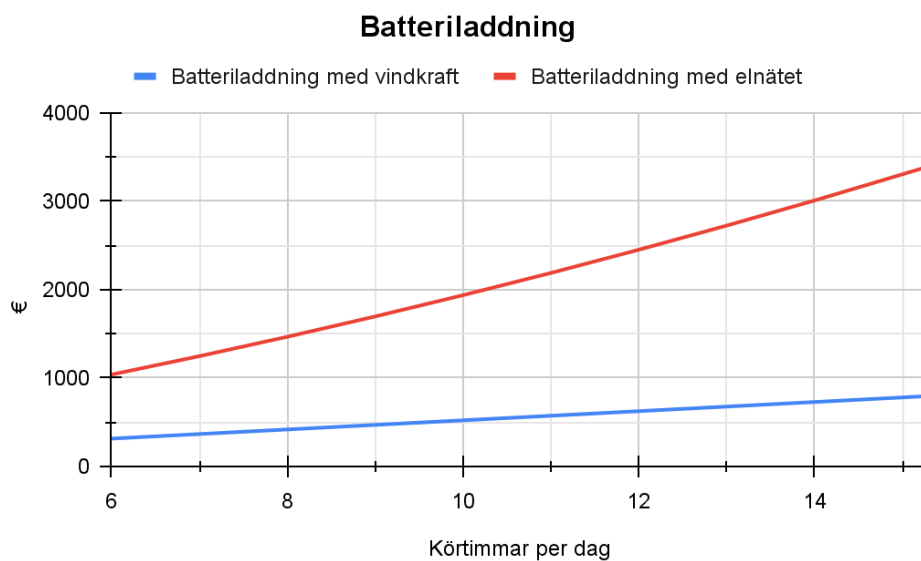


Diagram 14. Laddningskostnader för batterier (Mariehamns Energi 2022)

En laddare med denna stora laddningskapacitet på 5 MW är kostsam så därför skulle det löna sig att endast ladda under nätterna i de aktuella hamnarna. Detta betyder att det skulle behövas laddningsstationer i Långnäs, Kökar och Galtby. Dessa laddningsstationer skulle bli att kosta omkring sex miljoner euro tillsammans.

11. EKONOMISK JÄMFÖRELSE FÖR EXEMPELFARTYG

I denna del kommer vi att jämföra de olika systemens införskaffningskostnader, servicekostnader och bränslekostnader. Bränslecellsdriften kommer att bli dyrare än driften med dieselmotorer eftersom tekniken med bränsleceller är så ny och de tillverkas i en mindre skala. De ökade säkerhetskraven för bränslecellsutrustningen ökar ytterligare på priset. Priset för batteridriften kommer också att bli stor på grund av den mängd batterier som behövs för den långa körtiden mellan laddningarna.

11.1 Jämförelse av kostnader

För att lättare kunna jämföra de olika systemen så ska det nu ses på de olika kostnaderna. Nedan i diagram 15 ses bränslekostnaderna för de olika systemen (Mariehamns Energi 2022, Plug Power 2021).

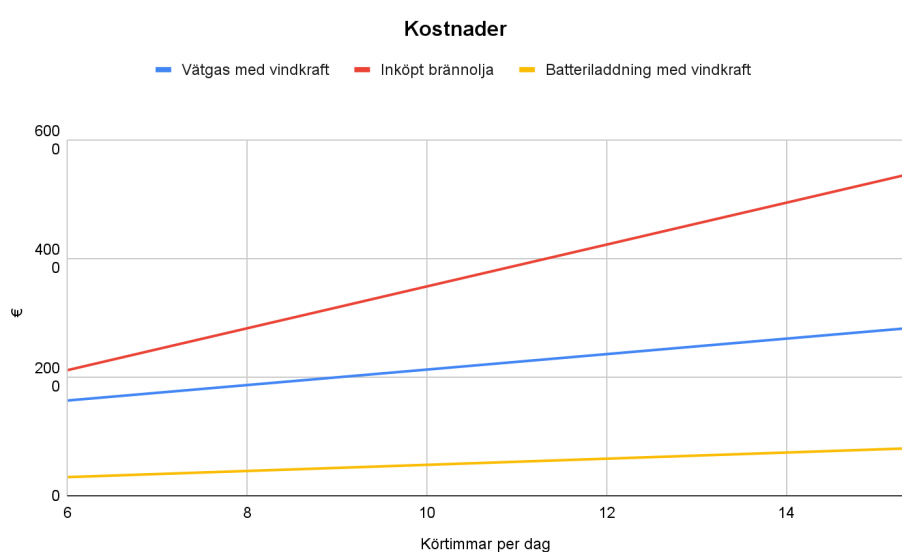


Diagram 15. Kostnader för de olika systemen

I diagram 15 ser man att det är mycket dyrare att tillverka vätgas jämfört med att ladda batterierna, detta beror på att elektrolysörerna behöver mycket energi för att framställa vätgasen (Plug Power 2021). Nedan i diagram 16 ses de olika systemens investeringskostnader.

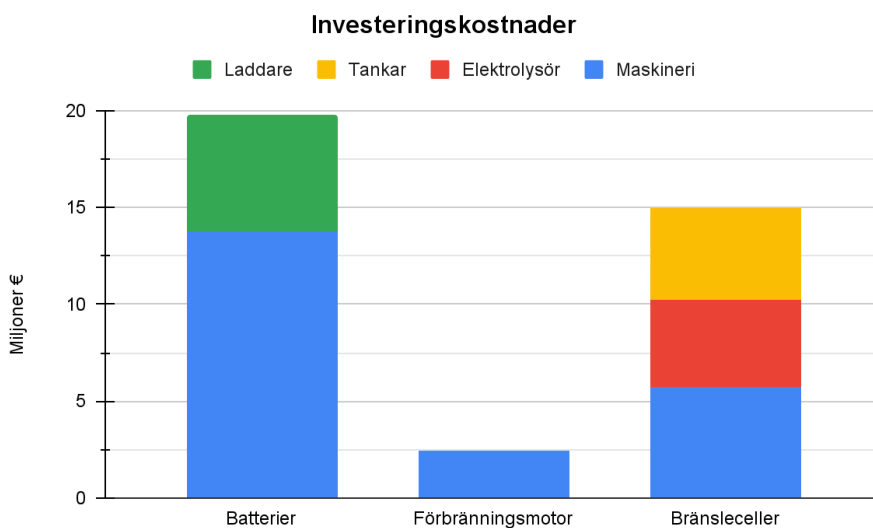


Diagram 16. Investeringskostnader för de olika systemen

I diagram 16 ser man att batterisystemet är cirka åtta gånger dyrare än förbränningsmotorerna. Förbränningsmotorsystemet är billigast med en kostnad på cirka 2,5 miljoner euro som är dubbelt billigare än bränslecellerna. Bränslecellernas tankar och elektrolysörer gör bränslecellsdriften dyr med en investeringskostnad på cirka 15 miljoner euro. Nedan i diagram 17 ses totala kostnader för de olika systemen.

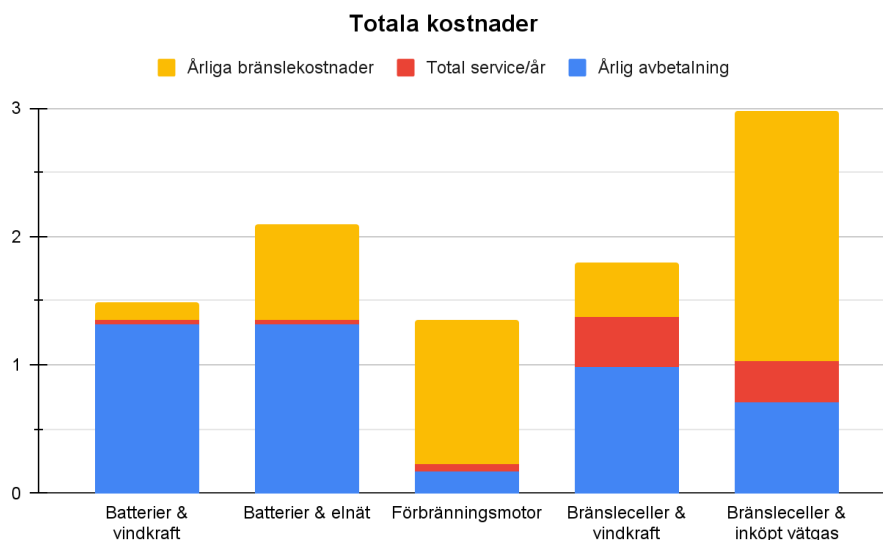


Diagram 17. Övriga systemkostnader

I diagram 17 ser man investeringskostnader per år. Årliga avbetalningen för de olika systemen är uppdelad på en 15 årsperiod. I detta diagram är det inte lika stora skillnader som i diagram 16. Detta beror på brännolja- och bränslepriset för förbränningsmotorerna, vi har använt oss av ett pris på en euro per liter som är optimistiskt eftersom bränslepriserna verkar stiga konstant. I framtiden kommer detta diagram att se mycket annorlunda ut på grund av de ökade kraven för utsläpp samt oförutsägbara bränslepriser. I den inköpta vätgasen tar man inte i beaktande vad transporten skulle kosta som tillägg på den årliga bränslekostnaderna. För att spara in elektrolysörerna med den tillverkade vätgasen med vindkraft jämfört med den inköpta vätgasen så skulle det ta ca 3 år om man bortser från transportkostnaderna från den inköpta vätgasen. Nedan i tabell 26 ses det när de övriga systemen lönar sig vid ett stigande brännolja- och bränslepris.

Tabell 26. Brännolja- och bränsleprisets inverkan på systemvalet med elpriser för år 2021

Systemkonfiguration	Brännolja- och bränslepris
Då batterier laddade med vindkraft lönar sig	1,2 €/liter
Då bränsleceller med tillverkad vätgas med vindkraft lönar sig	1,4 €/liter
Då batterier laddade med el från elnätet lönar sig	1,7 €/liter
Då bränsleceller med inköpt vätgas lönar sig	2,5 €/liter

12. KRAV FÖR BUNKRING AV VÄTGAS

Rutten som M/s Viggen kör är Långnäs-Hummelvik-Kökar-Galtby. På Kökar skulle den gröna vätgasen produceras med en elektrolysanläggning. Denna försörjs med elektricitet till elektrolysen från vindkraftverken i närheten. Den gröna vätgasen skulle även förvaras på Kökar och bunkringen skulle ske därifrån (DNV 2021).

12.1 DNV bunkringskrav

Bunkring för bränslen med låg flampunkt har många olika regulationer samt standarder. Då vätgasen är i flytande form så kommer regulationer och standarder användas enligt LNG standarderna. Vissa regulationer kommer att vara högre för vätgas i flytande form eftersom den är farligare om den släpps ut i atmosfären.

Om man skulle vilja hålla samma bunkringshastighet så skulle volymflödet behöva ökas mycket för vätgasen som kan orsaka att en större del förångas i processen. Vätgasen i flytande form har också en lägre temperatur än LNG som orsakar vissa ändringar i bunkringsprocessen. Bunkringen av vätgasen i komprimerad form kommer att följa regulationer för landbaserade anläggningar eftersom det är mindre riskfyllt.

Det används vissa regulationer och standarder för bunkring av komprimerad vätgas för bussar, lastbilar och tåg som kommer att vara relevant för bunkringen ombord på fartyg. Skillnaden i denna process är att bunkringen måste ske med större volymer och snabbare för fartyg. Vätgasens bunkringsprocedur kommer att utvecklas då mera erfarenhet framstår inom den marina branschen. Infrastrukturen för bunkring från land till fartyg måste utvecklas för att detta ska fungera på ett bättre sätt. Det finns inte ännu så många stationära stationer i hamnar där detta går att göra (DNV 2021).

12.1.1 Bunkring i allmänhet för vätgas i vätskeform

Bunkringslinjen för vätgasen kommer först att kopplas från tankbilen till bunkerstationen. Sedan kommer tätheten av bunkringslinjen att testas. Detta sker med en inert gas (oftast helium) genom att ventiler linjen. Man måste komma ihåg att om vätgasen kommer i

kontakt med syre och kväve så kommer de att bli solider. Vätgasen som ska bunkras måste var tillräckligt nerkyld. Nöd avstängnings proceduren stänger tillförseln av den på påfyllande vätgasen i nödfall (DNV 2021).

12.1.2 Bunkring i allmänhet för vätgas i komprimerad form

För vätgas i komprimerad form finns det flera alternativ på hur bunkringen skulle kunna ske. Alternativen är att byta en containertank. Man byter då containertank med hjälp av kranar till en ny/flera nya containrar vid hamnen så att man får fulltankade containertankar ombord. Om man har en inbyggd tank så fylls den oftast från land, med en lastbil eller från en landanslutning om en sådan finns. Denna procedur sker i stort sett på liknande sätt som för bunkring av vätgasen i flytande form. Största skillnaden är att man måste ha ett större tryck i bunkrings anslutningen än trycket man har i själva tanken för att påfyllningen skall lyckas (DNV 2021).

12.2 Naturgasstandarder för bunkring

Nedan listas kraven som skulle gälla för bunkring av naturgas i vätskeform. Dessa krav skulle vara som en grund för vätgasbunkringen. Detta kommer dock att ändras lite eftersom vätgas är mera lättantändligt, vilket betyder att man måste ha en ökad säkerhet.

Bunkringsstationen skall vara på ett sådant ställe att en tillräcklig naturlig ventilation kan ske (DNV 2021). Beroende på arrangemanget så krävs följande:

- Separation från andra utrymmen av fartyget.
- En farliga områden planering krävs ombord.
- Tillräcklig ventilation.
- Krav på läckagedetektorer för låga temperaturer och gasdetektorer.
- Säkerhetsplaner om läckage uppstår.
- Tillgång till bunkringsstationen genom icke-farliga områden via ett luftlås.
- Övervakning av bunkringsstationen med direktsändning.

Det ska finnas skyddsåtgärder på fartyget om läckage uppstår så att fartyget inte tar skada. På grund av den låga temperaturen skall finnas droppskydd under bunkringsrören (DNV 2021).

Droppskyddens krav är:

- Gjorda av material som håller om läckage uppstår.
- Termiskt isolerat från fartyget.

- Skall innehålla en dräneringsventil för regnvatten.
- Tillräckligt stor volym för ett rimlig läckage.

13. DNV SÄKERHETSKRAV FÖR BRÄNSLECELLER

DNV är ett världsledande klassningssällskap som har funnits sedan 1864 och deras syfte är att skydda liv, egendom och miljö. Fartyg som använder sig av bränsleceller ombord kommer att få klasstilläggsnotationen FC. Vi har valt DNV som klassningssällskap på grund av att de har godkänt Ballards bränsleceller för marint bruk och de har mer erfarenhet av vätgas jämfört med andra klassningssällskap (DNV 2018). Nedan i tabell 24-33 finns de dokumentkrav som gäller för klassnotationen FC.

FI = För information

AP = För godkännande

BC = Bränslecell

LEL = Lägre explosionsgräns

Bränslecellsinstallationen ska vara uppbyggd på ett sådant sätt att då ett fel uppstår så ska det inte kunna leda till total förlust av kraft. Installationen ska vara uppbyggd så att säkerhetsåtgärder som krävs av klassen inte orsakar total förlust av kraft. Om det behövs energi av bränslecellen för att kunna återställa fartyget från en blackout eller dödskeppssituation så skall det dokumenteras och godkännas av klassen för varje skilt fall (DNV 2018). Nedan i tabell 27 ses krav på vilka dokument som bör finnas för en bränslecellsinstallation.

Tabell 27. Innehållande krav för bränslecellsinstallationen (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
Z030	Arrangemang planering	Positionering av maskin och pannrum, bostadsutrymmen och kontrollstationer	FI
G010	Risikanalys	Analys av möjliga risker	FI
G080	Farliga områden	Klassningsritningar	AP
I260	Fältinstrument	Periodisk test plan se: [1.8.1.2].	AP
S010	Rördiagram	PD	AP

S011	Rör- och instrumentdiagram	P & ID	AP
Z060	Funktionsbeskrivning	Beskrivning av installationen.	AP
Z072	Säkerhetsbeskrivning	Explosionsrisk, brandrisk, risk i samband med blackout om bränslecellen är kopplad till nätet.	AP
Z030	Arrangemang planering	Arrangemang ritning för BC inkluderande dimensioner, material, drifttemperaturer, tryck och vikter.	FI
Z060	Funktionell beskrivning	BC princip, modulens yttre yttemperaturer, spänning- och strömnivåer i bränslecellens olika delar, serviceplan och jordnings arrangemang.	FI
Z252	Tillverkarens testprocedurer för bränslecellen	Kan basera sig på IEC Standard 62282-3-100 som menar "Stationära bränslecellers kraftsystemssäkerhet" men miljö och driftkraven för fartyg ska tas i beaktande.	AP

Genomgången och förståelsen av systemens egenskaper är ett krav för att kunna uppfylla alla dokumentationskrav som tabell 20 kräver. Detta är bra eftersom man vill försäkra sig om att man har minimerat risken för olyckor och skada till de olika systemen. (DNV 2018). Nedan i tabell 28 ses kraven för bränslecellens komponenter som kommer vara under ett visst tryck.

Tabell 28. Krav för bränslecellens trycksatta komponenter (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
C010	Designkrav	Designtryck, designtemperatur, volymer, fluider, avsett tryck för säkerhetsventiler, tryckutrustningsklass.	AP
C020	Monteringsritning	Ventiler och anslutningar.	FI
C030	Detaljritning	Fastsättningar och stöd.	AP
C040	Designanalys	Analys av själva arrangemanget	AP
C050	Icke-förstörande testning	NDT plan	AP

Austenitiskt rostfritt stål skall användas för material som är i kontakt med reformerat bränsle, användning av annat material måste godkännas av klassen. Material som används för sekundärsystem måste möta kraven enligt Pt.4 Ch.6. Material som används för primärsystemets bränslerör skall uppfylla kraven för Sec.5, Sec.6 eller Pt.4 Ch.6. Certifiering av material som används för primärsystemet eller för reformerat bränsle skall uppfylla kraven för Sec.5, Sec.6 eller Pt.4 Ch.6. (DNV 2018). Nedan i tabell 29 ses krav för bränslecellens rörsystem.

Tabell 29. Innehållande dokument krav på bränslecellens rörsystem (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
S010	Rördiagram	BC bränslerör, ventilationsrör för säkerhetsventiler, kylning- och uppvärmningsrör kopplade till BC, ritning och specifikation på isolering, specifikation på värmeslingor om de är installerade	AP
S090	Rörspecifikationer	Specifikationer på rör, ventiler, flänsar och anslutningar.	AP
P020	Storleksberäkningar	För säkerhetsventiler, tryck- och vakuumsäkerhetsventiler	AP

Alla rör som innehåller primärbränsle eller reformerat bränsle skall inte gå igenom slutnautrymmen utanför bränslecellsområden, rören ska vara fullt svetsade så långt som praktiskt möjligt och vara planerade så att det finns minimalt antal anslutningar (DNV 2018). Nedan i tabell 30 ses krav för rör som befinner sig i samma utrymme som bränslecellen.

Tabell 30. Innehållande krav för rör som befinner sig i samma utrymme som bränslecellen (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
S010	Rördiagram	BC bränslerör, ventilationsrör för säkerhetsventiler, kylning/uppvärmnings rör kopplade till BC, ritning och specifikation på isolering, specifikation på värmeslingor om de är installerade	AP
S090	Rörspecifikationer	Specifikationer på rör, ventiler, flänsar och anslutningar.	AP
P020	Storleksberäkningar	För säkerhetsventiler, tryck- och vakuumsäkerhetsventiler	AP

Utblåsluft och avgaser från bränslecellssystemet skall ledas ut till öppna luften och får inte kombineras med ventilationssystem. Om existensen av explosiva gaser inte kan elimineras så skall utblåsluften och avgaserna ledas ut från riskområdet. Bränslecellens ventilationsrör skall vara separat från andra rör och ledas ut till den öppna luften, utloppet skall komma ut från riskområdet (DNV 2018).

Utsugs fläktarna ska vara av mekanisk typ och vara effektiva för hela utrymmet.

Ventilationskapaciteten ska vara så stor att gaskoncentrationen i utrymmet inte kan överstiga 25% i alla läckagescenarion som kan inträffa vid tekniska fel. Ventilationskanalerna som används för ventilation av bränslecellsutrymmen får inte användas för andra utrymmen.

Ventilationskanaler från utrymmen innehållande bränslerör eller frigöringskällor ska vara vertikala eller brant uppåtlutande och vara utan skarpa böjar för att undvika att gasen ackumulerar. Elektriska fläktmotorer får inte befinna sig i luftkanalerna för bränslecellsutrymmen om de inte är Ex-certifierade. Två stycken fläktar ska vara installerade för bränslecellsutrymmets ventilation och de ska ha 100% kapacitet var, de ska även vara kopplade på skilda kretsar. Ifall av ventilationsförlust eller negativt tryck i bränslecellsutrymmet så skall bränslecellssystemet utföra en automatisk avstängning.

Skyddsnät med ett nät mellanrum på högst 13 mm ska finnas på utsidan av ventilationskanalerna. Ventilationsinsug för bränslecellsutrymmen ska tas från ett icke-riskområde. Ventilationsinsug för icke-riskområden skall tas från icke-riskområden.

Ventilationsutblås från bränslecellsutrymmen ska finnas i ett öppet område som inte är mer riskfyllt än det ventilerade utrymmet (DNV 2018). Nedan i tabell 31 ses krav för bränslecellsutrymmets ventilationskrav.

Tabell 31. Ventilationskrav på bränslecells utrymmet (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
S012	Ventilationskanal diagram	Arrangemang och specifikationer på mekaniskventilationssystem i utrymmen som även BC bränslesystem finns i, motorerna och fläktarnas kapacitet och position ska framgå. Arrangemang för gasventilering. Gasdetektion och alarm arrangemang innehållande plats för detektorer, alarmkomponenter, alarmknappar och kabelarrangemang. Luftinlopp till BC. Avgas arrangemang.	AP
S030	Kapacitetsanalyser		AP
C030	Detaljerad ritning	Roterande delar och fläktkanaler.	AP

Ett godkänt fast detektionssystem ska vara installerat. Vid branddetektion ska ventilationen för bränslecellsutrymmen stoppas automatiskt (DNV 2018). Nedan i tabell 32 ses krav för bränslecellsutrymmens gasdetektions- och alarmsystem.

Tabell 32. Krav för bränslecellsutrymmens gas detektions- och alarmsystem (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
I200	Övervakningssystem	Dokumentation på kontroll och övervakningssystem.	AP
Z030	Arrangemang plan	Detektorer, larmknappar och alarm apparater.	AP

De givna kraven i SOLAS Ch. II-2 ska uppfyllas och bränslecellsutrymmet skall tolkas som ett maskinutrymme i kategori A enligt SOLAS Ch. II-2 för brandsäkerheten.

Bränslecellsutrymmen ska ha en A60 isolering mot alla omkringliggande utrymmen inkluderande separationsväggar mellan bränslecellsutrymmen. Ett fast

brandsläckningssystem måste vara installerat i bränslecellsutrymmet och det ska vara kompatibelt med det använda bränslet och bränslecellsinstallationen (DNV 2018).

Luftkanaler för insug och utblås ska vara utsedda med brandspjäll som ska gå att operera från utsidan av bränslecellsutrymmet. Innan brandsläckningssystemet utlöses skall brandspjällen stängas (DNV 2018). Nedan i tabell 33 ses krav för bränslecellsutrymmens brandskydd.

Tabell 33. Brandskydd för bränslecellsutrymmen (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
G060	Brandskyddsritning	Strukturell brandskyddsritning.	AP
G200	Fasta brandsläckningssystem	Dokumentation över fasta brandsläckningssystem.	AP
I200	Kontroll och övervakningssystem	Dokumentation över kontroll och övervakningssystem för branddetektionsutrustning och alarmsystem.	AP
Z030	Arrangemang plan	Arrangemang för detektorer, larmknappar och alarmapparater.	AP

Bränslecellsutrymmen ska tolkas som riskzon 1 och all elektrisk utrustning samt bränslecellen själv ska vara certifierad för zon 1. Bränslecellsområdets gränser ska vara gastäta mot andra slutna utrymmen i fartyget. Bränslecellsområden ska vara designade för att säkert kunna hålla bränsleläckage utan att det sprider sig till andra utrymmen.

Bränslecellsutrymmen ska vara planerade så att vätgasrik gas inte ackumuleras genom att ha en simpel geometrisk form på utrymmet där det inte får vara större blockerande strukturer i utrymmets övredel. Stora utrymmen ska vara formade med ett plant tak som lutar uppåt mot ventilationsutsuget. Tunn plåt som döljer stödstrukturen under däcksplåten accepteras inte. Utrymmen med bränsleceller ska följa kraven enligt primärt bränsle (DNV 2018).

Tankar för mellanlagring av bränsle ska vid behov finnas på utsidan av bränslecellsutrymmet. Allmänt så ska yttemperaturen på komponenter i bränslecellsutrymmet inte vara högre än bränslets självantändningstemperatur. För ett bränslecellssystem med en temperatur över självantändningstemperaturen ska det göras en speciellt noggrann riskanalys på.

Bränslecellsutrymmen ska arrangeras bort från bostadsutrymmen, service- och

maskineriutrymmen av kategori A samt kontrollstationer. Om det inte går att ordna en direkt väg till bränslecellsutrymmet via öppet däck skall det finnas ett luftlås som är enligt Sec.5 [3.4] (DNV 2018).

För små bränslecellsutrymmen som har möjlighet att ventilera gasen från bränslecellen innan man går in i utrymmet så utvärderas ingångsarrangemanget fall för fall. Elektrisk utrustning och kablar ska i regel inte installeras i riskområden om de inte är kritiska för driften av installationen. Utrustningen ska följa Pt.4 Ch.8 Sec.11 enligt områdes klassificeringen i [7.2]. Det ska bevisas att bränslecellen kan kopplas ur nätet vid alla lastfall. Invertern ska vara planerad så att backeffekt såsom bromseffekt inte kan ta sig in i bränslecellsinstallationen. Utgående kretsarna från bränslecellsarrangemanget ska vara utsedda med en bortkopplingsbrytare för isolationssyften vid underhåll. Kontakterer accepteras inte som isolationskomponenter. Med referens till IEC 60079-20 kan utrustningsgruppen IIC användas i temperatur klass T1 för vätgasdrift.(DNV 2018). Nedan i tabell 34 ses krav för elektriska installationer i bränslecellsutrymmen.

Tabell 34. Krav på elektrisk utrustning i bränslecellsutrymmen (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
G080	Riskområdesritning	Placering av elektrisk utrustning i bränslecellsutrymmen, ska referera till E090.	AP
E090	Ex-tabell	Ex=Elektrisk utrustning i riskområde.	AP
Z163	Underhållsmanual	För elektrisk utrustning i riskområde.	FI
E130	Elektronik datablad	Datablad över den elektriska utrustningen.	FI
E110	Kabel datablad och arrangemangritning	Datablad på kabeldimensioner och egenskaper samt arrangemangritning.	AP
E220	Elsystemsfilosofi	Dokument som visar elsystemets allmänna egenskaper enligt Pt.4 Ch.8. Dokumentet kan vara i form av systembeskrivning, systemanalys eller testprogram som innehåller: <ul style="list-style-type: none"> • Spänning- och frekvensvariationer vid servicedrift och in/ut koppling • Beskrivning av likströmskomponenter • Återställning av strömlöst fartyg enligt [3.1] • Kapacitet för aktiv- och reaktivlast • Konfiguration för alla olika driftlägen och elfördelnings filosofin till de olika systemen (huvudsystem och nödsystem) • Systembeteende i relevanta fellägen • Pålitligheten och tillgängligheten ska dokumenteras genom analys, kompletteras med resultat från utvecklingstester och fullskaligatester. 	FI

Man ser att kraven är höga på de olika elektroniska installationerna. Eftersom vätgas är ett lättantändligt bränsle så måste man försäkra sig om att bränslecellens elsystem inte skapar ytterligare risker (DNV 2018). Nedan i tabell 35 ses ytterligare krav för bränslecellsinstallationen.

Tabell 35. Ytterligare krav för bränslecellsinstallationen (DNV 2018)

<i>Kod</i>	<i>Typ</i>	<i>Innehållande</i>	<i>Info</i>
I200	Kontroll och övervakningssystem	Dokumentation över kontroll- och övervakningssystemets funktioner enligt [8]	AP
I200	Säkerhetssystem	Dokumentation över kontroll- och övervakningssystemets funktioner enligt Tabell [6].	AP
G130	Kommunikation och samverkan	Ska följa säkerhetssystemen enligt tabell 6. Möjliga störningar vid kontakt med andra säkerhets- och kontrollsystem ska identifieras.	AP
Z163	Underhållsmanual	Underhållsmanual för bränslecell	FI
Z161	Driftmanual	Driftsmanual för bränslecell som ska innehålla: <ul style="list-style-type: none"> ● Gasventilation och inerta procedurer ● Normal driftoperation för BC system ● Nöddrift för BC system 	FI
Z253	Testprocedurer	Provning av BC för hamn och sjöprov	AP

13.1 Områdesklassificering

För att kunna planera och välja lämplig utrustning för de olika utrymmena ombord så delas riskområden in i zoner 0, 1 och 2 enligt principerna och reglerna i IEC 60079-10 samt vägledning och information som ges i IEC 60092-502 för tankfartyg. De huvudsakliga riktlinjerna ges i [7.2.2]. För andra områden än de som nämns i [7.2.2] så kommer det att göras speciella bedömningar för, principerna enligt IEC ska följas. Bränsleceller som inte är certifierade för zon 1 skall göras spänningslösa ifall av gasläckage. Ventilationskanaler ska ha samma områdesklassifikation som ett ventilerat utrymme (DNV 2018).

13.1.1 Riskområde 0

Inre delar av bufferttankar, bränsleceller, rör/utrustning som innehåller bränsle och rör med säkerhetsstryckventiler eller annan ventilation hör till riskområde 0 (DNV 2018).

13.1.2 Riskområde 1

Bränslecellsområden, områden på öppet däck eller halvtäckta områden på däck som är inom 3 meter av bränslets ventilationsutblås, bränslecellsområdets ventilationsutblås eller om det finns bränsleventiler eller rörflänsar i utrymmet. Bränslecells avgasluft och gasutlopp.

Områden på öppet däck eller halvtäckta områden på däck som är inom 1,5 meter av bränslecellsområdets ingångar, bränslecellens ventilationsinlopp eller andra öppningar till zon 1 områden. Slutna eller delvis slutna områden där källor som släpper ut bränsle finns (DNV 2018).

13.1.3 Riskområde 2

Områden inom 1,5 meter av öppna eller delvis öppna områden från zon 1 och luftlås hör till riskområde 2. (DNV 2018).

13.2 Riskanalys

En riskanalys skall göras där man tar i beaktande alla möjliga fel som kan uppstå gällande driften av bränslecellen och bränslecellens bränsletillförsel. Baserat på resultatet av analysen så skall mängden övervakning och kontrollsystem kunna bestämmas (DNV 2018). Här ser man typiska övervakningssystem som man skall överväga:

- Bränslecellspänning
- Bränslecellspänningsvariationer
- Temperaturen på avgaserna
- Temperaturen i bränslecellpaketet
- Elektrisk ström
- Processens luftflöde
- Processens lufttryck
- Kylmediets flöde, temperatur, tryck och nivå
- Bränsleflöde, temperatur, tryck
- Gasdetektion i avgaser
- Processens vattentryck, nivå och renlighet
- Parametrar som man kan fastställa livslängden och försämringen med

13.3 Kontrollsystem

Läckor av gasformigt bränsle eller ångor skall upptäckas och larmas. Säkerhetssystemet för bränslet skall automatiskt stängas av och isoleras vid ett fel i systemet som kan utvecklas för snabbt för att manuellt hinna åtgärda felet. Kontroll, övervakning och säkerhetssystem skall vara anordnade så att bränsletillförseln inte stängs ner vid falska alarm. Information och beskrivning för manuell avstängning skall finnas tillgänglig för operatören. Varje enskild bränslecellsinstallation ska finnas utsedd med eget detektionssystem för läckor och ångor. Det ska finnas egna säkerhetsfunktioner för bränsletillförseln samt egna kontroll och övervakningsfunktioner. Gasdetektionssystem och bränslets säkerhetssystem tolkas som skyddande säkerhetssystem enligt Pt.4 Ch. 9 Sec. 3 [1.4]. Detektion av gas och ångor skall larmas till bryggan, kontrollstation för bunkring och lokalt. Om larmningen är beroende av nätverkskommunikation så skall alarmsystemet ha sitt egna separata nätverk. Signalerna som krävs för att upprätthålla säkerhetsfunktionerna i tabell 7 ska vara direkt kopplade och vara försedda med kontinuerlig övervakning om de inte är helt säkra från fel. Utgående signalerna från säkerhetsfunktionerna i tabell 7 ska vara elektriskt självständiga från bränslekontrollsystemet. Där som gas- och ångdetektion skall utlösa en nedstängning så skall detektorröstning vara aktiverat. En defekt detektor skall tolkas som en aktiv detektor. Nödstoppsknappar ska finnas: på bryggan, i fartygets säkerhetscenter, i maskinkontrollrummet, på brandkontrollstationen och nära utgången i bränslecellsutrymmet samt inne i bränslecellsutrymmet (DNV 2018). Nedan i tabell 36 ses säkerhetsåtgärder som skall utföras av säkerhetsfunktioner från bränslesäkerhetssystemet.

Tabell 36. Krav på åtgärder av bränsletillförselns säkerhetssystem (DNV 2018)

<i>Scenario</i>	<i>Alarm</i>	<i>Stängning av bränslecellsutrymmets ventil</i>	<i>Stängning av tändningskälla</i>	<i>Signal till annat säkerhetssystem för fler åtgärder</i>
Vätskedetektion i bränslecellsutrymmet	X	X	X	
40% LEL i i bränslecellsutrymme för 2 detektorer	X	X	X	
Gasdetektion i ett rörs andra isolering	X	X		
Förlust av ventilation i rörs andra isolering	X			Bränslecellen ska automatiskt stängas av processkontrollen
Förlust av ventilation eller negativt tryck i bränslecellsutrymmet	X			
Branddetektion	X	X	X	Stängning av ventilation och utlösning av släckningssystem
Nödstoppsknapp tryckt	X	X	X	

13.4 Övervakningssystem

Ett fast installerat gas- och ångdetektionssystem skall vara installerat för bränslecellsutrymmen, luftlås, expansionstankar, tankar för värmning och kylning av bränsle och i andra utrymmen som bränsle kan läcka ut i. Detektionssystemet skall konstant övervaka dessa utrymmen. Detektionssystem för flambara produkter som är kapabla att mäta en koncentration för 0-100% LEL är acceptabla. Antalet detektorer i varje utrymme ska väljas enligt utrymmets storlek, uppbyggnad och ventilation. Det ska finnas tillräckligt med detektorer i varje utrymme så att detektor röstningen fungerar enligt tabell 10. Detektorerna ska vara placerade där gaser och ångor kan förekomma, de kan även placeras i ventilationsutloppet. Man skall göra gasanalys och ett fysiskt röktest för att få en bra placering av detektorerna (DNV 2018).

13.5 Säkerhetssystem

Bränslecellssystemet ska snabbt kunna upptäcka läckor av primärtbränsle inuti bränslecellsutrymmen. Detektion av gas eller vätska ska stänga det påverkade bränslecellssystemet och koppla ur tändningskällorna. Vid detektion av gas och ångor i ett bränslecellsutrymme där två stycken självövervakande detektorer indikerar en läckkoncentration på 40% LEL eller högre så skall det påverkade bränslecellssystemet stängas, tändningskällorna ska kopplas ur och alla nödvändiga ventiler ska automatiskt stängas för att isolera läckan. Gasdetektion i rörs sekundära hölje skall göras enligt Sec. 5 [9.3.2]. Vid förlust av ventilation i ett bränslecellsutrymme så skall det påverkade bränslecellssystemet stängas ner av säkerhetssystemet inom en viss tid, tiden skall tas i beaktande för varje enskilt fall i riskanalysen. Efter att tiden har gått ut så skall en säkerhetsnedstängning ske. Förlust av ventilation i rörs sekundära hölje ska göras enligt Sec.5 [9.3.5]. I bränslecellsutrymmen, maskinrum och på bryggan ska det finnas manuella nödstängningsknappar för bränsletillförseln och för bortkoppling av tändningskällor. Knapparna ska vara skyddade mot feltryckning. Den manuella nedstängningen ska hanteras av säkerhetssystemet och det ska vara en kontinuerlig övervakning på det (DNV 2018).

13.7 Analys av säkerhetskrav

Kraven säger att det ska finnas systemritningar för alla system och komponenter. Systemens egenskaper ska även beskrivas noggrant och en riskanalys ska finnas. Bränslecellssystemet ska beskrivas speciellt noggrant, innehållande material, temperaturer, spänningar, ström, tryck och flöden. Det ska också finnas testprocedurer från tillverkaren. Eftersom Ballards bränslecell redan är godkänd av DNV så skulle det vara mycket smidigare att göra alla systembeskrivningar och analyser.

Ventilationsutloppet från bränslecellsutrymmen ska ledas ut till öppna luften och det får inte vara kombinerat med något annat ventilationssystem, för vårt exempelfartyg så kan ventilationsutloppet placeras högre upp i aktern av fartyget, t.ex i skorsten för att förhindra att passagerare och personal utsätts för eventuella gaser.

Fartyget ska delas in i tre stycken riskområden för ökad säkerhet. Om bränslecellerna inte är certifierade för zon 1 så ska de kunna göras spänningslösa vid ett gasläckage. Eftersom Ballards FC Wave bränslecell är certifierad för zon 1 så behöver vi inte tillämpa detta.

Kontrollsystemet ska upptäcka läckor av gaser och skicka ut larm. Om fel uppkommer skall bränsletillförseln automatiskt stängas av. Varje enskilt bränslecellspaket skall vara utrustat med ett detektionssystem för läckor, säkerhetsfunktioner för bränsletillförseln och övervakningsfunktioner.

Nödstoppsknappar på FC/S Vigen kan befinna sig vid bryggan, maskinkontrollrummet, brandstationen och utanför bränslecellsutrymmet. Totalt blir det då 4 st nödstoppsknappar.

Övervakningssystemet ska bestå av ett fast installerat gasdetektionssystem, systemet ska kunna detektera gasläckage i alla utrymmen som gasen kan läcka till. Det skall finnas tillräckligt med detektorer i varje utrymme, eftersom man vill försäkra sig om att detektor röstningen fungerar effektivt. För att kunna placera detektorerna på effektiva ställen så kan man använda sig av t.ex discorök för att kontrollera hur röken rör sig i utrymmet samt hur detektorerna ger utslag vid olika placeringar (DNV 2018).

14. DNV SÄKERHETSKRAV FÖR BATTERIER

Fartyg som använder sig av batterier ombord för framdriften kommer att få en klass tilläggs notation Battery (Power). (DNV januari 2018).

EES=Electrical energy storage system

PMS=Power management system

IAS=Integrated automation system

EMS=Energy management system

LEL=Lower explosive limit

14.1 Arrangemang

Systemet ska vara planerat på ett sådant sätt att ett enskilt fel i EES inte kan påverka huvudfunktionerna i systemet under en tid längre än specifikationerna i Pt.4 Ch.1. Då alla källor av kraft tas från EES ombord så ska huvudkällorna bestå av minst två skilda EES och de ska vara belägna i två skilda utrymmen. Kablarna från EES till huvudtavlan ska följa positionskraven enligt Pt.4 Ch. 8 Sec.2 [9.5]. Det ska vara möjligt att hantera EES lokalt, den lokala driften ska vara separat från PMS och IAS system, enligt kraven i Pt.4 Ch.9 Sec.4 [3.1.6]. EES-utrymmen ska vara positionerade akter om kollisionsskottet och gränserna av EES-utrymmena ska vara en del av fartygets struktur eller bestå av samma strukturella integritet. Endast utrustning som hör till EES ska vara placerat inne i EES-utrymmet. All utrustning som befinner sig i övre delen av EES-utrymmet ska vara lämpad för zon 2 installation. Temperaturklassen och gasgruppen ska vara minst T2 och IIC. Det får inte finnas rör i EES-utrymmet som kan orsaka skada till EES-systemet vid läckage, om detta inte är möjligt att undvika så skall rören inte ha några fläns- eller skruvanslutningar i detta område. Brandposter får inte finnas i EES-utrymmen (DNV 2018).

14.2 Ventilation

Ett mekaniskt ventilationssystem ska finnas i EES utrymmen och ventilationssystemet ska aktiveras vid eventuell gasdetektion. Ventilationssystemet ska ha egna fläktkanaler och vara planerat enligt [4.1.2.7] eller kunna ventilera gas till en integrerad gaskanal.

Ventilationskanalerna ska vara rimligt gastäta samt kunna tåla gastemperaturen och vara gjorda av stål. Ventilationskanalerna ska vara utrustade med stängningsfunktioner då EES-utrymmens fläktkanaler inte går direkt ut till ett utomhusluft-exponerat däck.

Ventilationsöppningarnas stängningsanordning ska följa lastlinjekonventionen eller så ska EES-utrymmet vara försett med ett fast gasbrandsläckningssystem. Vid stängningsanordningen ska det finnas en varningsetikett där det ska finnas information om oavsiktlig avstängning. Alla ventilationsinsug och utblås ska vara placerade så att möjliga giftiga gaser inte kan utsätta passagerare och personal för fara. Inne i EES-utrymmen så ska ventilationsutsuget vara högst 0.4 meter från taket och ventilationsinblåset ska vara så nära golvet som praktiskt möjligt för att försäkra bra luftcirkulation i utrymmet (DNV 2018).

14.3 Gasdetektion och övervakning

Gasövervakningen ska finnas i EES-utrymmen och sensorerna ska vara positionerade så man får en så snabb detektion som möjligt (DNV 2018). För gasdetektion vid en koncentration av högst 30% LEL ska systemet:

- Utföra en automatisk urkoppling av EES-systemet
- Skicka larm till bryggan
- Starta fläkten till EES-systemet

Om ett fel inträffar i gasdetektionssystemet så ska det inte kunna leda till en urkoppling av EES. Gasdetektionssystemet ska även vara självständigt från EES. (DNV 2018). Följande ska övervakas och larmas för vid en bemannad kontrollstation:

- Aktuell gas koncentration i EES-utrymme
- Gas mängds alarm
- Eventuella fel i gasdetektionssystemet

14.4 Brandsäkerhet

EES-utrymmen som innehåller EES med en energi på över 100 kWh eller mera ska definieras enligt följande: (DNV 2018)

- Område med stor brandfara (brand kategori A) på ett fartyg som har byggts enligt IMO HSC koden.
- Brand kategori 6 (maskin utrymme kategori A) på ett last passagerarfartyg som inte bär mera än 36 passagerare och är byggt enligt SOLAS Ch. II-2.
- Brand kategori 12 (maskinutrymme kategori A) på ett passagerarfartyg som bär mer än 36 passagerare och som är byggt enligt SOLAS Ch. II-2.

14.4.1 Branddetektion

Ett fast brandsläckningssystem ska finnas i alla EES-utrymmen. Det ska även finnas kombinerade rök- och värmedetektorer eller en kombination av rök- och värmedetektorer. Arrangemanget ska följa den internationella koden för brandsäkerhetssystem (FSS koden). Komponenterna i branddetektionssystemet som är installerade i EES-utrymmet ska vara certifierade för användning i explosiv miljö enligt [2.2.3] (DNV 2018).

14.4.2 Brandsläckning

EES utrymmen ska vara skyddade av ett fast brandsläckningssystem och alla dessa accepteras: (DNV 2018)

- Vattenbaserat system enligt IMO MSC/Circ. 1165
- Gas släckning enligt FSS koden Ch.5, IMO MSC/Circ.848.
- Ett CO2 system definierat av FSS koden Ch.5 och DNV Statutory interpretations.

14.5 Systemsäkerhet

Systemets EES utrymmen ska vara uppbyggda på ett sådant sätt att passagerarna och personalens säkerhet ombord kan garanteras. Säkerhetsplanen för EES-utrymmen ska dokumenteras. Säkerhetsplanen ska gälla för det aktuella fartyget och dess egna EES-system

(DNV 2018). Säkerhetsplanen ska innehålla potentiella faror som EES-systemet kan orsaka och säkerhetsplanen ska minst innehålla:

- Eventuell gasbildning av giftig, brandfarlig och frätande gas
- Brandfaror
- Explosionsfaror
- Nödvändig detektion, övervakning och alarmsystem
- Ventilationshantering vid gasbildning eller eldsvåda
- Utomstående faror som eld, vatteninträngning med mera.

14.6 Batterisäkerhet

Alla potentiella risker i systemet ska beskrivas i batterisystemets säkerhetsbeskrivning. Säkerhetsåtgärder som minskar chansen för faror ska finnas med i beskrivningen (DNV 2018). Säkerhetsbeskrivningen ska innehålla alla potentiella faror som kan orsakas av batteritypen samt följande:

- Säkerhetsfilosofi
- Potentiell gasbildning
- Brandrisk
- Explosionsrisk samt en beskrivning av gasen som kan frigöras från batterierna
- Nödvändig detektion, övervakning och alarmsystem för gasdetektion, branddetektion osv.
- En lämplig brandsläckningsmetod ska väljas
- Interna cellfel och termisk rusning
- Interna- och externakortslutningar samt jordfel
- Elektroniska skyddssystem (överström, överspänning och underspänning.)
- Översvämning av batterimodul på grund av kylvattenläckage
- Extern uppvärmning och brand
- Säker laddning och urladdning av batterier

14.6.1 Batterihanteringssystem

Batterisystemet ska ha ett integrerat batterihanteringssystem. Systemet ska kommunicera med spänning- och strömnivåerna på konverteraren. Batterisystemets huvudkontakter eller krets brytare ska koppla ur båda polerna. Batterisystemet ska vara utrustat med ett självständigt nödstängningssystem för bortkoppling av batterisystemet. För inneslutna batterier ska det finnas en säkerhetstryckventil eller explosionsskydd (DNV 2018).

Batterihanteringssystemet har följande uppgifter:

- Skicka nivåer för laddning och urladdning till batterikonverteraren
- Skydda mot överström, överspänning och underspänning genom att koppla ur batterierna.
- Skydda mot övertemperatur genom att koppla ur batterisystemet
- Ska ge en balans för celler och moduler
- Cellspänning, cell- och modultemperatur samt batteristrängströmmar ska mätas

Följande parametrar ska vara indikerade på lokala kontrollstationer eller på en avlägsen kontrollstation: (DNV 2018)

- Systemspänning
- Max, minimum och genomsnittliga cellspänningen
- Max, minimum och genomsnittliga celltemperaturen
- Batteristrängsström.

14.6.2 Batterilarm

Alla avvikande värden för batterisystemet ska utlösa ett larm i fartygets huvudlarmsystem med individuell eller gruppvis indikering (DNV 2018). För fartyg med ett centraliserat alarmsystem så skall batterilarm presenteras på navigationsbryggan och följande alarm är minimikraven:

- Hög temperatur på cell eller modul
- Över- och underspänning
- Batteribortkoppling
- Tripp av batteribrytare eller kontakter

- Kommunikationsalarm
- Vätskekylningsalarm
- Andra skyddsfunktioner

Onormala förhållanden som kan utveckla sig till säkerhetsrisker ska alarmeras innan det utvecklar sig till en farlig nivå. Sensorer och andra komponenter som används för dessa alarm ska vara separata från nödskyddsfunktionerna (DNV 2018).

14.6.3 Säkerhetsfunktioner

Uppbyggnaden av batterimodulen ska vara sådan att en termisk händelse inte kan sprida sig från en cell till en annan eller som ett minimikrav att en termisk händelse inte kan sprida sig till en annan modul. Huvudströmsanslutningarna ska vara utsedda med en integrerad säkerhetsspärr (HVIL), som försäkrar att koppling och bortkoppling endast kan ske då batterikontaktorn är öppen. Batterimoduler ska vara uppbyggda så att risken av kylvattenläckage minimeras, läckagedetektion ska finnas inne i modulen. Aktivering av säkerhetsfunktioner skall utlösa ett larm. Det ska utlösas alarm så det uppstår ett fel i det skyddande säkerhetssystemet som orsakar att säkerhetsfunktionerna inte aktiveras. Batterimodulerna ska vara utrustade med överladdningsskydd som är självständigt från batterihanteringssystemet. Detta självständiga skydd ska vara arrangerat genom temperaturövervakning eller spänningsövervakning. Skyddet ska vara arrangerat separat från komponenter som används för indikation, alarm och kontrollfunktioner samt skyddsfunktioner som krävs enligt [4.1.3] och [4.1.4]. Batterisystemet ska vara byggt med icke-flambart material enligt IEC 60092-101. Kraven för batterisystemets IP-klass varierar på batterisystemets installationsplats, ett minimikrav är IP44 (DNV 2018).

14.7 Systemuppbyggnad

Utgående kretsarna från EES-systemet skall ha kortslutnings och överströmsskydd och vara försett med brytaren så att isolering kan göras vid underhållsarbeten. Elektrisk isolering för jordningen från varje EES ska övervakas och ge larm vid låg nivå. Nödurkopplingsknappar för EES som krävs enligt [4.1.2.5] skall finnas nära EES-utrymmets utsida och på navigationsbryggan. Nödurkopplingssystemet skall vara självständigt från andra

komponenter samt från kablar som används för kontroll, övervakning och larmfunktioner (DNV 2018).

14.7.1 EES-konverterare

Konverterarna ska kommunicera och arbeta inom gränserna givna av batterierna och kondensatorernas hanteringssystem. Konverterarna ska vara gjorda för den nödvändiga kapaciteten som EES kräver. Konverterarna ska skydda EES mot underspänning och överspänning. Spänningsskydden ska vara självständiga från EES. För detta kan skilda spänningssensorer användas och att skydden hålls separata från batteri och kondensatorernas hanteringssystem. Skyddsnivåerna ska vara inom de tillåtna driftvärdena för EES. Laddning- och urladdningsfel ska ge larm till en bemannad kontrollstation. Då en EES-konverterare är belägen på land ska kraven i [2.6.2.1] och [2.6.2.3] uppfyllas (DNV 2018).

14.7.2 Provning

Efter installationen har slutförts så skall följande prov utföras för att försäkra sig om funktionerna:

- Prov av korrekt gränssnitt mellan EES-konverterare och EES.
- Prov av EES konverterares enskilda funktioner för spänningsskydd.
- Prov av EES och dess medhjälpare inkluderat olika larm, nödurkoppling och säkerhetsfunktioner.
- Prov av EES utrymmets egenskaper såsom ventilation, vätskekyllning, gasdetektion, branddetektion och läckagedetektion (DNV 2018).

14.8 Drift och underhåll

Instruktioner för nöddrift skall finnas ombord. Nöddriftinstruktionerna ska innehålla procedurer för hantering av EES och ventilationen vid en eventuell brand eller en inre termisk händelse. En plan för systematiskt underhåll och funktionsprovning ska finnas ombord som i detalj visar hur komponenter och system ska bli provade samt vad som ska observeras under dessa prover. Det ska även finnas instruktioner för laddningsprocedurer, normala driftoperationer för EES samt lokala operationer och procedurer för att förbereda EES för en längre vilotid (DNV 2018).

14.9 EES-kapacitet

Då EES ersätter en krävd huvudkälla av kraft enligt Pt.4 Ch.8 Sec.2 [2.1.1] så ska kapaciteten i EES systemet vara tillräckligt för den avsedda driften av fartyget. Detta gäller för den vanliga driften samt efter värsta möjliga haveri (DNV 2018).

Den minsta möjliga kvarstående effekten efter värsta möjliga haveri ska beräknas baserat på kvarstående effekten för propulsionsmotorerna efter värsta möjliga singel fel, som t.ex. förlust av huvudtavla eller förlust av huvudspänningskälla. Den minsta kvarstående propulsionseffekten ska dokumenteras i den elektriska lastbalansen. Vid för hög temperatur i EES så ska det automatiskt skickas ett förslag för manuell lastminskning, detta alarm ska ses visuellt och höras på navigationsbryggan. Alternativt kan ett automatisk lastreduceringssystem installeras (DNV 2018).

14.10 Energihanteringssystem

Ett energihanteringssystem ska vara installerat ombord för EES. Energihanteringssystemet ska kunna ge pålitliga mätningar för EES kvarliggande kapacitet och effekt genom att ta i beaktande systemets SOH och SOC. Nedan i tabell 37 ses vilka parametrar som ska finnas på navigationsbryggan (DNV 2018).

Tabell 37. Värden som ges via trådlöst övervakningssystem (DNV 2018)

<i>Beskrivning</i>	<i>Beteckning</i>
Kvarstående energi i EES systemet.	AE
Kvarstående effekt i EES systemet.	AP
Kvarstående tid av framdrift.	T_{op}
Kvarstående tid av framdrift efter värsta möjliga komponent fel.	T_{wcf}
Kvarstående tid för att energiförsörjning av nöd förbrukare.	T_{em}

För fartyg med lagrad energi i EES som används för framdriften så ska följande värden beräknas enligt formlerna 9-11 (DNV 2018).

$$T_{op} = \frac{\text{kvarstående energi [kWh]}}{\text{Medelförbrukning för perioden [kW]}} \quad (9)$$

$$T_{em} = \frac{AE_{wcf} [kWh]}{P_{em} - P_{cont_{wcf}} [kW]} \quad (10)$$

$$T_{wcf} = \frac{\text{kvarstående energi efter värsta möjliga komponent fel [kWh]}}{P_{prop_{wcf}} + P_{aux_{wcf}} - P_{cont_{wcf}} [kW]} \quad (11)$$

Dessa värden beräknas av övervakningssystemen och de ska presenteras på navigationsbryggan (DNV 2018). Nedan i tabell 38 ses förklaringar till använda värden i formlerna ovan.

Tabell 38. Förklaringar på använda värden (DNV 2018)

Beskrivning	Beteckning
Propulsionsmotorernas förbrukning efter värsta möjliga komponentfel.	$P_{prop_{wcf}}$
Sekundäreffekt förbrukning efter värsta möjliga komponentfel.	$P_{aux_{wcf}}$
Planerad effekt förbrukning av EES systemets nöd konsumenter.	P_{em}
Kvarstående energi efter värsta möjliga scenario.	AE_{wcf}
Kvarstående effekt efter värsta möjliga komponentfel.	$P_{cont_{wcf}}$

Om fartyget drivs med energin i EES efter värsta möjliga komponentfel så ska det komma alarm till navigationsbryggan då minsta krävda energimängd finns kvar i systemet för den kvarstående tiden av resan. Om fartyget använder sig av EES för att driva nödförbrukare så skall det komma ett alarm till navigationsbryggan då minsta kapaciteten kvarstår för att driva nöd förbrukarna (DNV 2018).

14.11 Analys av säkerhetskrav

Batteripaketet ska vara uppdelat i minst två delar och de ska vara fördelade i skilda utrymmen. Batteripaketsutrymmen ska vara placerade akter om kollisionsskottet.

Kollisionsskottet befinner sig i fören av fartyget och på M/s Viggen ligger det på spant nummer 69. Det betyder att batteripaketens placering kan fördelas i flera avdelningar så länge gränserna av utrymmena är en del av fartygets struktur eller att det består av samma hållfasthet.

Eftersom passagerare och personal inte får komma i kontakt med giftiga gaser så blir ett alternativ att placera ventilationsutloppet högre upp i aktern på fartyget t.ex i fartygets skorsten.

Det skall finnas gasövervakning i EES utrymmen och koncentrationen på gasen får inte överskrida 30% LEL. Endast utrustning som hör till EES systemet får vara placerade i batteripaketsutrymmen.

Eftersom vårt system överskrider 100 kWh definieras EES utrymmena som områden med stor brandfara enligt kategori A. Komponenterna av branddetektionssystemet som finns i EES-utrymmen ska vara Ex-certifierade. En säkerhetsplan skall finnas för EES-utrymmen och den skall innehålla potentiella faror som EES systemet kan orsaka.

Alla avvikande värden i batterisystemet ska utlösa larm till huvudlarmsystemet.

Nödstoppsknappar skall finnas på bryggan och de ska vara lättillgängliga vid EES-utrymmets utsida. Laddning- och urladdningsfel skall ge larm till en bemannad kontrollstation.

Det skall finnas säkerhetsplan om nöddrift som innehåller information om de olika scenarion som kan ske. En plan för systematiskt underhållning och funktionsprovning skall finnas.

Energihanteringssystemet kommer att hjälpa till att försäkra säker framdrift genom att meddela kvarliggande energikapacitet och utföra estimeringar på hur länge man kan köra med den kvarstående energin (DNV 2018).

15. DISKUSSION

På grund av att Södra linjen är så lång så kommer batteripaketet att bli stort på vårt exempel fartyg om man väljer batterier som huvud kraftkälla. För att få ner kostnaderna och vikten på batteripaketet skulle man kunna ändra om tidtabellen för de längsta kördagarna så att korta laddningar under dagen skulle möjliggöras, med en laddningskapacitet på 5 MW skulle man kunna ladda batteripaketet från 20% till 80% på cirka fyra timmar. Detta skulle möjliggöra införskaffningen av ett mycket mindre batteripaket.

Om man skulle optimera fartygens körtider enligt batteriladdningen för ett så litet batteripaket som möjligt så skulle det bli mer attraktivt. I samband med optimeringen av körtider och den framtida batteriutvecklingen så kommer batteripaketets pris, vikt och volym att sjunka.

Om placeringen av vätgascontainertankar blir utmanande på fartyget så skulle man även kunna öka batterikapaciteten och minska antalet bränsleceller. Då skulle man kunna köra bränslecellerna på lägre belastning och använda mer energi från batteripaketet som då skulle laddas under natten och eventuellt under dagens pauser.

Om man ser på dagens infrastruktur för bränsleceller så produceras de i en mindre skala jämfört med konventionella förbränningsmotorer. Skulle man öka produktionen för bränsleceller så skulle det påverka priserna, priserna skulle troligen sjunka eftersom det skulle finnas flera tävlande företag på marknaden. Det blir intressant att se hur Ballards priser påverkas då Tecos kommer ut med sin bränslecell på marknaden och blir godkänd av klassificerings sällskapet för marint bruk.

Eftersom Finland strävar att bli kolneutralt år 2035 så börjar de gröna framdrivningsmetoderna att vara mer och mer attraktiva alternativ. Eftersom bränslecellerna och batteridriften kräver mindre service kan det påverka mängden personal ombord.

16. SLUTSATS

Efter utförda ekonomiska och tekniska beräkningar har vi kommit till resultatet att det fortfarande lönar sig med konventionell dieseldrift jämfört med bränsleceller och batterier. Detta resultat kan snabbt ändras eftersom bränslepriserna är så oförutsägbara, om bränslepriserna för brännolja skulle stiga skulle det löna sig med vätgasdrift eller batteridrift kombinerat med vindkraft som elförsörjning.

De största orsakerna att förbränningsmotor driften fortfarande lönar sig är den stora kostnaden för de övriga alternativen, dyr service och låga utsläppskrav. Batterierna minskar på fartygets lastkapacitet eftersom de har en låg energidensitet jämfört med de andra framdrivnings metoderna. Batterierna är dyrare att införskaffa men de är billigare i drift då man ser på service och laddningskostnader jämfört med de övriga systemens bränslekostnader. För att få batteriladdningen och elektrolysen att fungera på ett bra sätt i skärgården så skulle elnätet behövas förstärkas.

Största fördelen med batterier och bränsleceller är deras låga utsläpp, arbetsmiljön runt dessa system är också mycket renare jämfört med dieseldrift där det uppkommer avgaser och brännoljaångor i maskinrummet.

Egna insikter av detta arbetet är att man lärt sig mycket om alternativa bränslen och de olika säkerhetskraven som krävs för dem. Vi konstaterade att detta arbete blev mycket mer ingående och mer tidskrävande än planerat. Det konstaterades i ett tidigt skede att det inte fanns så mycket specifik information på nätet om bränsleceller och dess system. Utan hjälp av Kongsberg Maritime, Ålands Landskapsregering och Wärtsilä så skulle inte detta arbete ha varit möjligt.

KÄLL OCH LITTERATURFÖRTECKNING

Baird Maritime (12 augusti 2021). Vessel review. Baird Maritime.

<https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/passenger-vessel-world/ro-pax/vessel-review-hydra-norled-takes-delivery-of-ferry-designed-to-run-on-liquid-hydrogen/>

Ballard. (2021). Fuel cell solutions.

<https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products>

Ballard. (2021). Fuel Cell Power Module for Marine Applications. [Broschyr].

DNV. (april 2021). Handbook for hydrogen powered vessels.

<https://www.dnv.com/Publications/handbook-for-hydrogen-fuelled-vessels-203602>

DNV. (januari 2018). Part 6 Chapter 2.

<https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2018-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>

EU Monitor. (februari 2009). Type-approval for hydrogen powered motor vehicles.

https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vitgbgipr2zd#ntr1-L_2009035EN.01003201-E0001

Fakta om fartyg (januari 2021). M/S Viggen.

http://www.faktaomfartyg.se/viggen_1998.htm

Flickr. (augusti 2013). M/S Viggen.

<https://www.flickr.com/photos/ramiontour/9442518884>

Hexagon Purus. (mars 2021). X-store

https://hexagonagility.com/app/uploads/2021/03/MobilePipeline_ePub_200817_XStoreECO.pdf

Hexagon Purus. (2021) About us.

<https://hexagon.com/about>

Hydrogen live. (mars 2022). Hydrogen stations in Europe.

<https://h2.live/en/>

James Jonas. (04 januari 2009). The History Of Hydrogen. Altenergymag.

<https://www.altenergymag.com/article/2009/04/the-history-of-hydrogen/555/>

Kongsberg. (2020). Energy storage unit

<https://www.kongsberg.com/maritime/products/electrical-power-system/energy-products/energy-storage-system/energy-storage-unit/>

Kongsberg. (mars 2019). Marine Products and Systems [Broschyr].

<https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/documents/product-catalog-2019.pdf>

Kongsberg. (januari 2022). Energy Solutions. Zero Emission Solution.

<https://www.kongsberg.com/maritime/products/electrical-power-system/energy-solutions/zero-solution/>

Konstantinos Angelopoulos, Kiriakos Antonakis, Nikolaos Nikolaou, Georgios Takoudis.

The University of Strathclyde (2006). Fuel cell types.

http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/hydrogen/fctypes.htm

Magnus Eriksson/Teknisk inspektör (2021). General arrangement (bild).

Magnus Eriksson/Teknisk inspektör/Ålands landskapsregering. (2021). Maskindagbok.

Mariehamns Energi (februari 2022). Pris och avgifter.

<https://www.energi.ax/elnat/priser-och-avgifter>

Nedstack. (2021). About us.

<https://nedstack.com/en/about-us>

Northvolt. (17 november 2021). Recyclingportal.

<https://recyclingportal.eu/Archive/69102>

Peng Wu, Richard Bucknall. (november 2016). Marine propulsion using battery power.

Researchgate.

https://www.researchgate.net/publication/316075062_Marine_propulsion_using_battery_power

Plug Power. (november 2021). Hydrogen Electrolyzers.

<https://www.plugpower.com/hydrogen/hydrogen-electrolyzers/electrolyzer-products/>

Polarpumpen. (mars 2022). MWM80 Hydrobox. Luft-vattenvärmepump.

<https://www.polarpumpen.se/varmepumpar/luft-vattenvarmepump/mitsubishi-electric-swm80-hydrobox-luft-vattenvarmepump/p-1215445>

Powercell. (september 2021). Powercellution.

<https://powercellution.com/>

Stefan Fransman. (3 september 2021). Regeringen.

<https://www.regeringen.ax/infrastruktur-kommunikationer/storskalig-havsbaserad-vindkraft>

Svenska gasföreningen. (juni 2009). Frågor och svar om vätgas. Energigas.

<https://www.energigas.se/library/1684/vaetgasbroschhyr.pdf>

Taloon. (mars 2022). Lämmitin Ensto Tupa. Sähköpatterit.

<https://www.taloon.com/lammitin-ensto-tupa-taso-1000-w-o-rinnakkaislammitin-400x1370m>
[m](#)

Teco2030. (2021). Marine fuel cell.

<https://teco2030.no/solutions/teco-marine-fuel-cell/>

Viessmann. (mars 2022). Vitocell 100-V. Käyttövesivaraajat.

<https://www.viessmann.fi/fi/Kauppa/kayttovesivaraajat/kayttovesivaraajat/vitocell-100v.html>

World documents. (december 2014). Maintenance schedule.

<https://fdocuments.net/document/maintenance-schedule-for-wartsila-20-b-c-engines-wfi-2004n007-02gb.html>

Wärtsilä. (juni 2020). Wärtsilä 20 product guide.

https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w20.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselenines&utm_term=w20&utm_content=productguide&utm_campaign=msleadscoring

Wärtsilä (november 2017). Wärtsilä 20.

https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/brochure-o-e-w20.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselenines&utm_term=w20&utm_content=brochure&utm_campaign=msleadscoring