

Appendix A

Regeringsbeslut - Uppdrag att analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri

2020-04-16
I2020/01135/US**Infrastrukturdepartementet**

Sjöfartsverket

601 78 Norrköping

Uppdrag att analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri

Regeringens beslut

Regeringen uppdrar åt Sjöfartsverket att analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri. Sjöfartsverkets samtliga sjögående enheter omfattas av uppdraget. Såvitt avser isbrytarna ska resultat av andra relaterade regeringsuppdrag beaktas.

Sjöfartsverket ska redovisa samtliga förutsättningar för omställningen till fossilfrihet, inklusive möjligheter, hinder, tidsaspekter, vilka åtgärder som krävs och vilka kostnader som dessa beräknas medföra, bl.a. uppskattade kostnader, totalt och per båt eller fartyg. Myndigheten ska analysera och redovisa om det bedöms bli en merkostnad, på kort respektive lång sikt, jämfört med om flottan inte skulle bli fossilfri. Analysen ska innehålla en beskrivning av finansiering, till exempel via Sjöfartsverkets avgifter. Myndighetens redovisning ska också innehålla en konsekvensbeskrivning såvitt avser andra aspekter, bl.a. med effektbedömning vad gäller utsläpp av växthusgaser.

Sjöfartsverket ska vid genomförandet av uppdraget inhämta synpunkter från Naturvårdsverket, Statens energimyndighet, Trafikverket och andra relevanta aktörer.

Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet (Infrastrukturdepartementet) senast den 31 januari 2021.

Skälen för regeringens beslut

I juni 2017 beslutade riksdagen om ett klimatpolitiskt ramverk som innehåller en klimatlag (2017:720) och nya ambitiösa klimatmål. Ett av dessa mål är ett sektormål som anger att växthusgasutsläppen för inrikes transporter, utom inrikes luftfart som ingår i EU:s utsläppshandelssystem, ska minska med minst 70 procent senast 2030 jämfört med 2010. Detta är numera även ett transportpolitiskt etappmål.

Etappmålet för inrikes transporter omfattar även utsläppen från inrikes sjöfart. Av regeringens klimatpolitiska handlingsplan, prop. 2019/20:65, framgår att nettonollmålet innebär att växthusgasutsläppen från flera sektorer, inklusive transportsektorn, i princip kommer att behöva vara noll senast 2045. Det innebär att sjöfartens utsläpp måste minska. Av handlingsplanen framgår vidare att på motsvarande sätt som det har utretts för flyget ska det även analyseras hur sjöfarten kan ställa om för att minska växthusgasutsläppen.

Regeringens ambition är att staten ska vara föregångare i omställningen till fossilfria transporter, bl.a. genom att alla fartyg som staten äger ska bli fossilfria. Detta är både en fråga om att staten behöver vara trovärdig i klimatpolitiken och att visa andra aktörer att det går att ställa om.

Sjötransporter är, jämfört med vägtransporter, ofta energieffektiva på grund av den låga drivmedelsförbrukningen per vikt och sträcka transporterat gods. De flesta fartyg drivs dock av fossila drivmedel vilket innebär att även om sjöfartens utsläpp står för en mindre del av de inrikes transporternas totala växthusgasutsläpp, behövs även här en omställning till fossilfrihet för att klimatmålen ska nås. Utvecklingstakten för sjöfarten har varit lägre vad avser nya lösningar för att minska klimatpåverkan. Staten och övrig offentlig sektor bör gå före och visa vägen mot fossiloberoende även inom sjöfarten.

Regeringen uppdrog 2018 åt Trafikverket att analysera förutsättningarna för en omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg, samt lämna förslag till en strategi, inklusive förslag till åtgärder för hur detta kan nås. Trafikverket har redovisat uppdraget.

Trafikverket bedömer att åtgärder i första hand bör riktas mot Trafikverket (Färjerederiet), Kustbevakningen och Sjöfartsverket då de står för den absoluta merparten av utsläppen av växthusgaser från den statliga flottan.

Trafikverket menar vidare att fram till 2030 bör åtgärder främst genomföras i samband med att fartyg ska omsättas eller halvtidsmoderniseras.

På regeringens vägnar

Tomas Eneroth

Kajsa Lindström

Kopia till

Statsrådsberedningen/SAM
Justitiedepartementet/SSK
Försvarsdepartementet/MFI och MFU
Finansdepartementet/BA
Miljödepartementet/KL
Infrastrukturdepartementet/TP, TM och EE
Försvarsmakten
Kustbevakningen
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
Naturvårdsverket
Statens energimyndighet
Trafikverket

Appendix B
Sjöfartsverkets Fartygsplan

	Typ	Drifftagning	Avyttrings	Ålder
FYRBYGGAREN	Arbetsfartyg	1977	2020	43
PILOT 729 SE	Pilot	1996	2021	24
PILOT 732 SE	Pilot	1978	2021	42
TJB 964	Arkö	1995	2021	25
VILHELM HANSEN	Arbetsfartyg	1966	2021	54
PILOT 151 SE	Pilot	1997	2022	23
PILOT 529 SE	Pilot	1967	2022	53
PILOT 738 SE	Pilot	1996	2022	24
FÄRJAN	Arbetsfartyg	1969	2023	51
GINA	Arbetsfartyg	1993	2023	27
PILOT 728 SE	Pilot	1986	2023	34
POLHEM	Arbetsfartyg	1959	2023	61
PÅLKРАН	Arbetsfartyg	1912	2023	108
ALE	Isbrytare	1974	2025	46
ARKÖ	Arbetsfartyg	1993	2025	27
BALTICA	Arbetsfartyg	1983	2025	37
CAPELLA	Arbetsfartyg	1991	2025	29
JACOB HÄGG	Sjömättn.	1983	2025	37
PILOT 031 SE	Pilot	1972	2025	48
PILOT 111 SE	Pilot	1999	2025	21
PILOT 480 SE	Pilot	1961	2025	59
PILOT 556 SE	Pilot	1968	2025	52
PILOT 771 SE	Pilot	1985	2025	35
POLSTJÄRNAN IV	Arbetsfartyg	1979	2025	41
Rescue 911	Arkö	1991	2025	29
TJB 718	Pilot	1982	2025	38
VIRGO	Arbetsfartyg	1986	2025	34
PILOT 112 SE	Pilot	2000	2026	20
PILOT 113 SE	Pilot	2000	2026	20
PILOT 114 SE	Pilot	2000	2026	20
PILOT 145 SE	Pilot	1973	2026	47
PILOT 358 SE	Pilot	1974	2026	46
PILOT 714 SE	Pilot	1979	2026	41
PILOT 740 SE	Pilot	1996	2026	24
ATLE	Isbrytare	1974	2027	46
PILOT 115 SE	Pilot	2001	2027	19
PILOT 116 SE	Pilot	2001	2027	19
PILOT 571 SE	Pilot	1975	2027	45
PILOT 737 SE	Pilot	1995	2027	25
PILOT 741 SE	Pilot	1997	2027	23
SCANDICA	Arbetsfartyg	1984	2027	36
FREJ	Isbrytare	1975	2028	45
PILOT 742 SE	Pilot	1998	2028	22
PILOT 743 SE	Pilot	1998	2028	22
PILOT 772 SE	Pilot	1988	2028	32
RESCUE 934	Arkö	1995	2028	25
RESCUE 935	Arkö	1995	2028	25
RESCUE 936	Arkö	1995	2028	25
PILOT 117 SE	Pilot	2003	2029	17
PILOT 118 SE	Pilot	2002	2029	18
PILOT 744 SE	Pilot	1999	2029	21
PILOT 750 SE	Pilot	1978	2029	42
PILOT 751 SE	Pilot	1978	2029	42

PILOT 752 SE	Pilot	1980	2029	40
PILOT 753 SE	Pilot	1980	2029	40
PILOT 754 SE	Pilot	1980	2029	40
YMER	Isbrytare	1978	2029	42
JOHAN MÅNSSON	Sjömättn.	1991	2030	29
ODEN	Isbrytare	1989	2030	31
PILOT 745 SE	Pilot	2000	2030	20
PILOT 746 SE	Pilot	2000	2030	20
PILOT 747 SE	Pilot	2000	2030	20
PILOT 748 SE	Pilot	2000	2030	20
ANDERS BURE	Sjömättn.	1991	2031	29
PILOT 749 SE	Pilot	2001	2031	19
PILOT 755 SE	Pilot	1981	2031	39
PILOT 756 SE	Pilot	1986	2031	34
PILOT 773 SE	Pilot	1991	2031	29
PILOT 119 SE	Pilot	2006	2032	14
KLIPPEN	Arbetsfartyg	2007	2033	13
PILOT 120 SE	Pilot	2006	2033	14
PILOT 774 SE	Pilot	1993	2033	27
CANDELA	Arbetsfartyg	2008	2034	12
PILOT 790 SE	Pilot	2007	2034	13
PILOT 791 SE	Pilot	2007	2034	13
PILOT 792 SE	Pilot	2007	2034	13
SEKTOR	Arbetsfartyg	2008	2034	12
PILOT 793 SE	Pilot	2008	2035	12
PILOT 794 SE	Pilot	2009	2036	11
PILOT 775 SE	Pilot	1992	2037	28
PILOT 776 SE	Pilot	1993	2037	27
FYRBJÖRN	Arbetsfartyg	2006	2040	14
Gustaf af klint	Sjömättn.	2015	2040	5
PILOT 211 SE	Pilot	2010	2040	10
PILOT 213 SE	Pilot	2010	2040	10
PILOT 777 SE	Pilot	1998	2040	22
PILOT 778 SE	Pilot	1998	2040	22
PILOT 779 SE	Pilot	1999	2040	21
PILOT 212 SE	Pilot	2011	2041	9
PILOT 214 SE	Pilot	2013	2043	7
PILOT 215 SE	Pilot	2013	2043	7
PILOT 216 SE	Pilot	2013	2043	7
PILOT 217 SE	Pilot	2014	2044	6
PILOT 218 SE	Pilot	2014	2044	6
PILOT 219 SE	Pilot	2014	2044	6
ÄLVBJÖRN	Arbetsfartyg	2002	2045	18
PILOT 757 SE	Pilot	2001	2049	19
PILOT 759 SE	Pilot	2007	2051	13
PILOT 760 SE	Pilot	2008	2052	12
PILOT 761 SE	Pilot	2008	2052	12

Appendix C

Underlagsrapport - Omställning av Kustbevakningens och Sjöfartsverkets fartygsflotta
till fossilfri

Nr: RE20209711-01-00-D

Fossilfri fartygsflotta.

Nr: RE20209711-01-00-D

Omställning av Kustbevakningens och Sjöfartsverkets fartygsflotta till fossilfrihet



Kustbevakningen

Jonas Nilsson

RAPPORT

Datum

2020-12-16

SSPA Rapportnummer:

RE20209711-01-00-D

Projektledare:

Nelly Forsman

+46 (730) 729160

nelly.forsman@sspa.se

Omställning av Kustbevakningens och Sjöfartsverkets fartygsflotta till fossilfrihet

Författare:

Maria Bännstrand (SSPA)

Nelly Forsman (SSPA)

Egil Gustafsson (SSPA)

Erik Rosell (Gothia Marine)

Staffan Sjöling (SSPA)

SSPA Sweden AB

SSPA Sweden AB

Joacim Linder

Avdelningschef

Maritime Consulting



Nelly Forsman

Projektledare

Maritime Consulting

SSPA Sweden AB

Huvudkontor: Box 24001, 400 22 Göteborg • Telefon: 031-772 90 00 • Fax: 031-772 91 24

Besöksadress: Chalmers Tvärgata 10, 412 58 Göteborg.

Lokalkontor: Fiskargatan 8, 116 20 Stockholm • Telefon: 031-772 90 00 • Fax: 08-31 15 43

Webb: www.sspa.se • **E-post:** postmaster@sspa.se • **Org. nr.:** SE556224191801

Revisionshistorik

Rev.	Datum	Beskrivning	Signatur
A	2020-10-23	Delleverans för granskning; Del A - Kapitel 3 och 4 Del D - Kapitel 7 Del E - Kapitel 2 Del F – Kapitel 8	
B	2020-11-12	Korrigeringar och uppdateringar av delar omfattade av version A baserat på kommentarer och synpunkter från Sjöfartsverket och Kustbevakningen (Kapitel 2-4 samt kapitel 8 (kapitel 7 i version A) och kapitel 9 (kapitel 8 i version A). Kompletteringar/ny text har markerats med grönt Justeringar har markerats med gult Text som utgår/tas bort har markerats med genomstrykning och rött Kapitel 5, 6 och 7 i version B utgör utkast av innehåll för Del B och Del C.	
	2020-11-13	Kompletterad med hänvisning till <i>Bilaga 2 Fartygsdata Kustbevakningen</i> och <i>Bilaga 3 Fartygsdata Sjöfartsverket</i> . I övrigt version enligt ovan men utan färgmarkeringar och utan innehåll i kapitel 5, 6 och 7.	
C	2020-11-27	Fullständig rapport innefattande samtliga delar A-F	NEF
D	2020-12-16	Mindre justeringar och uppdateringar av revision C	NEF

Innehållsförteckning

1	Inledning och läshänvisning	7
2	Alternativa bränslen	8
2.1	HVO	9
2.2	Metanol	10
2.2.1	Fartygsdrift med metanol som bränsle	11
2.3	Etanol.....	12
2.4	Biogas och LBG	13
2.4.1	Fartygsdrift med biogas som bränsle.	15
2.5	Vätgas	17
2.5.1	Fartygsdrift med bränsleceller	18
2.6	Ammoniak	19
2.7	Elektricitet	20
2.8	Vind.....	21
2.9	Jämförande sammanställning	22
3	Identifiering av energibesparande åtgärder	29
3.1	Energibesparing genom operationella åtgärder	29
3.1.1	Marschfart - Framdrivningseffekt	29
3.1.2	Lösande av uppdrag med energieffektivare enhet	30
3.1.3	Stillaliggande	30
3.1.4	Utbildning och erfarenhetsutbyten.....	30
3.1.5	Mätning och uppföljning	31
3.1.6	Automatisering - inte alltid lösningen	32
3.2	Skrov	33
3.2.1	Skrovpåväxt	33
3.2.2	Skrovmonterad utrustning	33
3.2.3	Displacement	33
3.3	Hotellast	33
3.3.1	Elgenerering ombord.....	33
3.3.2	Belysning	34
3.3.3	Pumpar	34
3.3.4	Landström.....	34
3.3.5	Begränsad överföringskapacitet.....	35

3.4	HVAC.....	35
3.4.1	Effektivt klimatskal	35
3.4.2	Onödig uppvärmning av utrymmen	36
3.4.3	Reducerat ventilationsbehov	36
3.4.4	Reducerat luftflöde	36
3.4.5	Energiåtervinning	36
3.4.6	Extern värmekälla.....	37
3.4.7	Lågvärdig värme	38
3.4.8	Värmepumpar	38
3.4.9	Fjärrvärme	40
3.4.10	El-värme.....	40
3.4.11	Kyla	40
3.4.12	Ventilation.....	40
3.4.13	Maskinrumsventilation.....	40
3.4.14	Reducering av systemförluster.....	41
3.4.15	Locked-ship.....	41
3.5	Sammanfattning.....	41
4	Analys av energibesparandeåtgärder; KBV 001-S, KBV 031-S och KBV 312-S	42
4.1	KBV001-S.....	42
4.1.1	Operationsprofil	43
4.1.2	Bränslesystem	45
4.1.3	Hotellast	45
4.1.4	HVAC.....	46
4.1.5	Sammanfattning energiförbrukning.....	46
4.2	KBV031-S.....	47
4.2.1	Driftsdata.....	48
4.2.2	PTI/PTO – el-hybridisering.....	50
4.2.3	Hotellast	51
4.2.4	Stillaliggandeperioder	51
4.2.5	Uppvärmning.....	51
4.2.6	Sammanfattning energiförbrukning.....	52
4.3	KBV312-S.....	53
4.3.1	Operationsprofil	53

4.3.2	El över landanslutning	54
4.3.3	Bemannning - Stillaliggandeperioder	55
4.3.4	Framdrivningsalternativ	55
4.3.5	HVAC.....	57
4.3.6	Sammanfattning energiförbrukning.....	57
4.4	Sammanfattning energibesparingsåtgärder	58
4.4.1	Gemensamt	58
4.4.2	KBV001-S	59
4.4.3	KBV031-S	59
4.4.4	KBV312-S	60
5	Identifiering möjliga framdrivningsalternativ.....	61
5.1	Biodiesel/HVO	61
5.2	Metanol	61
5.3	Etanol.....	61
5.4	Biogas och LBG	61
5.5	Vätgas	62
5.6	Ammoniak	62
5.7	Elektricitet	62
5.8	Vind.....	63
5.9	El-hybrid	63
5.10	Sammanfattning framdrivningsalternativ	63
6	Livstidsförlängning KBV001-serien och KBV 031-serien	64
6.1	Förutsättningar.....	64
6.1.1	KBV001-S	64
6.1.2	KBV031-S	64
6.2	Biodiesel	64
6.3	El-hybridisering.....	64
6.3.1	KBV001-S	64
6.3.2	KBV031-S.....	65
6.3.3	Konsekvenser av el-hybridisering.....	66
6.4	Metanol och etanol	67
6.5	Kostnadsuppskattningar.....	69
6.5.1	Biodiesel	69

6.5.2	Metanol och Etanol	70
6.5.3	El-hybridisering.....	70
6.6	Energibesparingsåtgärder utöver framdrivning.....	72
6.7	Sammanfattning livstidsförlängning KBV001S och KBV031S	72
7	Nya miljöfartyg till 2031.....	73
7.1	Kravbild nytt miljöskyddsfartyg.....	73
7.1.1	Operationsprofil	73
7.1.2	Räckvidd	73
7.1.3	Bostadsutrymmen	73
7.1.4	Lastkapacitet och oljeupptagningsförmåga	74
7.1.5	Isklass.....	74
7.2	Framdrivningskoncept.....	74
7.2.1	Verkningsgrad.....	75
7.2.2	Propulsorer	75
7.2.3	Eldrift och hydrauldrift	76
7.3	Värderade bränslen	76
7.3.1	Biodiesel	76
7.3.2	Metanol och Etanol	76
7.3.3	El-hybrid	77
7.4	Energibesparingsåtgärder utöver framdrivning.....	77
7.5	Kostnadsuppskattningar.....	78
7.5.1	Drivlineprincip	78
7.5.2	Biodiesel	79
7.5.3	Metanol och Etanol	79
7.5.4	El-hybridisering.....	79
7.5.5	Energibesparingsåtgärder	79
7.6	Alternativ utformning av nya miljöskyddsfartyg	80
7.7	Sammanfattning nya miljöfartyg.....	81
8	Högfartsbåtar till 2040	82
8.1	Energibesparingar för höghastighetsbåtar.....	82
8.1.1	Designrelaterade åtgärder	82
8.1.2	Operationella åtgärder	83
8.1.3	Maskin- och systemrelaterade åtgärder	83

8.1.4	Yttre faktorer.....	83
8.2	Inombordsmotorer för högfartsbåtar	84
8.3	Utombordsmotorer	84
8.4	Tillgänglig teknik om 20 år.....	84
8.5	Fossilfria bränslen som är lämpliga för högfartsbåtar	85
8.6	Regler för högfartsfartyg	89
8.7	Kostnadsuppskattningar av ny Teknik för högfartsbåtar	89
8.8	Sammanfattning högfartsbåtar	91
9	Matris för bedömning av möjliga alternativa bränslen	93
10	Referenser.....	95

BILAGA 1 Klimatpåverkan och bedömd mognadsgrad

BILAGA 2 Fartygsdata Kustbevakningen

BILAGA 2 Fartygsdata Sjöfartsverket

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

1 Inledning och läshänvisning

Regeringen har uppdragit åt Kustbevakningen att analysera och föreslå hur myndighetens fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri. SSPA har, tillsammans med Gothia Marine som underkonsult, fått i uppdrag att bistå Kustbevakningen med underlag i arbetet med att svara på regeringsuppdraget. Då även Sjöfartsverket har fått motsvarande regeringsuppdrag samarbetar de båda myndigheterna och delar av underlaget avses därför kunna användas även av Sjöfartsverket i deras arbete med att svara på uppdraget.

SSPA:s och Gothias uppdrag omfattar sex delar; del A – F, vilka har specificerats i dokumentet *Förtydligande av uppdrag till konsultfirma SSPA*, daterat 2020-08-21. Föreliggande rapport redovisar samtliga sex delar, se läshänvisningar i Tabell 1.1.

Tabell 1.1 Kapitelhänvisningar för respektive del.

Del enligt förtydligandet av uppdrag	Kapitelhänvisning
Del A	3 Identifiering av energibesparande åtgärder 4 Analys av energibesparandeåtgärder; KBV 001-S, KBV 031-S och KBV 312-SS
Del B	5 Identifiering möjliga framdrivningsalternativ 7 Nya miljöfartyg till 2031
Del C	5 Identifiering möjliga framdrivningsalternativ 6 Livstidsförlängning KBV001-serien och KBV 031-serien
Del D	8 Högfartsbåtar till 2040
Del E	2 Alternativa bränslen
Del F	9 Matris för bedömning av möjliga alternativa bränslen

Kapitel 2 Alternativa bränslen samt kapitel 9 Matris för bedömning av möjliga alternativa bränslen avses utgöra underlag för så väl Kustbevakningen som Sjöfartsverket. Även Kapitel 3 Identifiering av energibesparande åtgärder antas kunna utgöra underlag för båda myndigheterna. Övriga kapitel avser utgöra underlag för Kustbevakningen då dessa kapitel avser specifika fartygsserier.

2 Alternativa bränslen

Trafikverket hade under 2018 ett regeringsuppdrag att analysera förutsättningarna för en omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg, samt lämna förslag till strategi. Uppdraget omfattade att redovisa lämpliga alternativa drivmedel, dess hållbarhet vid lagring, tillgänglighet till, och behov av, landinfrastruktur samt kostnader för omställningen.

Totalt identifierades och redovisades tio alternativa bränslen. Den nu aktuella studien tar utgångspunkt i Trafikverkets rapport "Omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg – ett regeringsuppdrag" (Trafikverket, 2018). För aktuell studie görs kompletteringar och uppdateringar för att avspegla utvecklingen sedan 2018 samt för att redovisningen ska kunna användas för att bedöma och jämföra alternativa lösningar för fossilfri drift av Kustbevakningens samt Sjöfartsverkets flotta.

I aktuell studie kompletteras redovisningen av alternativa bränslen med vindpropulsion. Tabell 2.1 redovisar en sammanställning av samtliga identifierade alternativa bränslen. Som referens och jämförelse omfattar tabellen även dagens bränslen, dvs. eldningsolja och diesel Mk1. De alternativa bränslena beskrivs utförligare i avsnitt 2.1- 2.8.

Tabell 2.1 Identifierade alternativa bränslen.

		Densitet (kg/m ³)	Energiinnehåll per vikt (kWh/kg)	Energiinnehåll per volym (kWh/m ³)
Konventionella	Eldningsolja	840	11,9	10 010
	Diesel Mk1	818	11,9	9 770
Dieselsubstitut	FAME	884	10,35	9 149
	HVO	780	13,3	9 450
	Fisher-Tropsch diesel (FTD)	780	11,9	9 282
Alkoholer	Metanol	795	5,6	4 417
	Etanol	795	7,8	6 183
Gasformiga	DME	735	8,6	6 321
	Biogas/LBG	Flytande (LBG): 440 Trycksatt (CBG): 160	13,3	LBG: 5 867 CBG: 2 136
	Ammoniak	Flytande 603	5,2	Flytande 3 116
	Vätgas	Flytande: 71 Komprimerad gas:17,5	33,3	Flytande: 2 367 Komprimerad gas: 583
Elektricitet (batterier)		1 500	0,1	150
Vind			-	-

Av de tre alternativen klassade som dieselsubstitut i tabellen bedöms HVO i dagsläget ha bäst potential att kunna användas för en omställning till fossilfri drift av Kustbevakningens och Sjöfartsverkets flotta. Detta eftersom HVO medför en betydligt lägre miljöpåverkan än FAME, 47,7 g CO₂e/kWh jämfört med 117,6 g CO₂e/kWh, samt eftersom produktionskostnaderna för FT-diesel är högre än för HVO. Med anledning av detta utgår därför FAME och FT-diesel ur den fortsatta analysen och bedömningen. Dock antas så väl bunkerinfrastruktur och bränslesystem ombord för HVO vara tillämpbara även för FAME samt FT-diesel om det i framtiden kommer att vara mer fördelaktigt att använda dessa bränslen istället för HVO. Även DME bedöms ha låg potential med anledning av högre produktionskostnader jämfört med såväl etanol, metanol som HVO. Det bedrivs inte heller någon omfattande forskning eller utveckling för att tillgängliggöra DME som ett marint bränsle. Med anledning av detta omfattas inte DME i vidare redovisning av alternativa bränslen.

För närvarande pågår mycket forskning kring elektrobränslen (även kallat power-to-gas/liquids/fuels och syntetiska bränslen), d.v.s. bränslen producerade genom elektrolys där vatten splittras upp i vätgas och syrgas för att sedan blanda vätgasen med koldioxid och på så vis producera kolhaltiga drivmedel. Teknik finns för att producera många olika typer av elektrobränslen, beroende på process och bränsletyp varierar dock verkningsgraden. Produktion av enkla alkoholer, såsom metanol, innebär lägst omvandlingsförluster. Uppskattningar av verkningsgraden för produktion av metanol varierar mellan 44 % och 65 % (Nikoleris & Nilsson J., 2013). Genom Fisher-Tropsch-reaktion kan även elektrodiesel såväl som elektrobensin produceras från syntesgas framställd genom elektrolys. Alternativt kan även diesel- och bensinliknande bränslen produceras från (elektro)metanol. I dagsläget är produktionskostnaderna för elektrobränslen högre än för motsvarande bibränslen. Produktionskostnaderna förväntas dock sjuka i framtiden, från ca 200 – 280 EURO/MWh (2 - 2,8 SEK/kWh) till 160–210 EURO/MWh (1,6 – 2,1 SEK/kWh) år 2030. Produktion av e-metan uppskattas innebära lägst kostnader, följt av metanol, DME, bensin och diesel (Brynnolf, Taljegård, Grahn, & Hansson, 2018).

2.1 HVO

HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) är ett syntetiskt dieselbränsle vars egenskaper i hög grad liknar fossil diesel och kan därför användas i konventionella dieselmotorer utan behov av några modifieringar. HVO används i stor omfattning som drop-in bränsle i fordonsbränsle men även som rent biodrivmedel (HVO100). HVO används också för marint bruk, bland annat av Waxholmsbolaget, Styröbolaget samt för några av Trafikverkets vägfärjor där HVO har ersatt Mk 1 diesel i befintliga dieselmotorer. Såväl Scania som Volvo har godkänt användandet av HVO100 i deras marina motorer av nyare typ.

HVO kan produceras från olika typer av oljor och fetter, likt FAME, men även från tallolja som är biprodukt vid pappers- och massatillverkning. Den svenska produktionen av HVO använder i första hand tallolja. De största mängderna av den HVO som säljs i Sverige är dock importerad (95 % år 2018, (SPBI, 2020)) och produceras av i första hand PFAD (46 %) vilket är en fettsyra som uppstår vid tillverkningen av palmolja. Palmolja utgjorde råvara för 3 % av HVO på den svenska marknaden 2018 (SPBI, 2020). Palmolja är starkt ifrågasatt som råvara eftersom den riskerar att bidra till avverkning av regnskog. Även PFAD som råvara är ifrågasatt eftersom även efterfrågan på detta riskerar att bidra till ökade oljepalimplantager och regnskogsavverkning. Sedan juli 2019 klassas därför PFAD inte längre som restprodukt vilket gör att klimatpåverkan (g CO₂e/kWh) för HVO på den svenska marknaden nu bedöms som högre än tidigare, 47,7 g CO₂e/kWh år 2019 jämfört med 31,7 g CO₂e/kWh 2018 (Energimyndigheten, 2019).

HVO har god lagringsbeständighet och kan lagras i flera år utan att kvaliteten försämras. HVO lagras i standardcisterner för diesel och har inget problem med vatten, korrosion eller bakterietillväxt. Eftersom HVO användas som fordonsbränsle i stor omfattning idag, och eftersom befintlig

infrastruktur för diesel kan användas, finns etablerade distributionskedjor och HVO kan levereras med tankbil över hela landet. Trots att storskalig produktion av HVO existerar, gör den stora efterfrågan på HVO som fordonsbränsle att tillgången på HVO som fartygsbränsle i framtiden kan vara begränsad. Baserat på data från perioden juli – oktober 2020 ligger priset på HVO för leverans som bunkerbränsle på ca 1,03 SEK/kWh.

Tack vare att HVO har liknande fysikaliska egenskaper som diesel krävs inga ytterligare säkerhetsåtgärder vid bunkring och regelverk för dieselinstallationer kan tillämpas även vid användning av HVO.

2.2 Metanol

Metanol är den enklaste alkoholen vars kemiska beteckning är CH₃OH. Vid rumstemperatur är metanol en färglös brännbar vätska. I första hand utvinns metanol från naturgas men kan även framställas från kol, skogsråvara, skogsavfall samt från CO₂.

Tack vare dess höga oktantal är förbränningen av metanol effektiv och resulterar i en hög verkningsgrad och reducerade utsläpp av NO_x, partiklar och CO₂ jämfört med diesel och andra petroleumbränslen. Metanol innehåller inte heller svavel varför intresset för det inom SECA-området¹ har ökat under de senaste åren. Energiinnehållet är dock lägre, 5,6 kWh/kg jämfört med 11,9 kWh/kg för diesel vilket resulterar i ett behov av större bunkertankar. Dess flampunkt på 11°C gör att den klassas som ett bränsle med låg flampunkt enligt SOLAS vilket ställer krav på utformning av fartyget i enlighet med IGF-koden (Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels). Metanol är dessutom giftigt och korrosivt vilket ställer ytterligare krav på utrustning och hantering. I jämförelse med LNG förenklas hanteringen dock eftersom metanol är flytande vid atmosfärstryck och inte erfordrar kryogen lagring, d.v.s. lagring vid mycket låg temperatur, eller lagring under tryck.

Metanol används i stor omfattning inom kemisk industri och distributionen är därmed etablerad. Distribution av fossil metanol sker med tankbil från de huvudsakliga importterminalerna i Malmö och Södertälje. Det finns även flertalet exempel inom sjöfart där metanol används som fartygsbränsle. Exempelvis konverterade Stena 2015 ropax-fartyget Stena Germanica. De fyra befintliga medelvarvs fyrtaktsmotorerna med en total effekt av 24 MW, konverterades för att kunna operera även på metanol, utöver diesel. Konverteringen baseras på erfarenheter från dual fuel-motorer för diesel/LNG, och innebär bl.a. att systemet utrustats med högtryckspumpar för direktinsprutning av metanolen. Diesel fungerar som pilotbränsle och metanolinsprutningen sker efter det att pilotbränslet antänts. De fyra motorerna som konverterats är av typ Wärtsilä/Sulzer L8Z40S. Driftserfarenheterna betraktas allmänt som positiva, bortsett från vissa barnsjukdomar som nu avhjälpats. Stena har inte heller erfarit att ren metanoldrift skulle innebära sämre prestanda vid låg belastning och snabba lastväxlingar jämfört med vid ren dieseldrift. Konvertering till metanoldrift har också genomförts på en lotsbåt inom projektet GreenPilot. Efter konverteringen har biometanol använts för att demonstrera funktionen. Inom ramen för det pågående (2020 – 2023) forskningsprojektet FASTWATER kommer en av Sjöfartsverket lotsbåtar att konverteras till metanoldrift och användas i operationell drift. I detta fall kommer en etanolmotor för lastbilar från Scania installeras i lotsbåten för att möjliggöra metanoldrift. FASTWATER-projektet omfattar även konvertering av en belgisk bogserbåt och en grekisk kustbevakningsbåt.

Erfarenhet av metanol som bränsle finns även från fartyg med 2-taktsmaskineri. MAN har utvecklat en 2-takts dual fuel-motor för diesel- och metanoldrift; MAN B&W ME-LGI. Första generationen av denna motor används i de sju produkttankers som togs i drift under 2016 av Waterfront Shipping,

¹ Sulphur Emission Control Area, sedan 2015 utgör Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen ett s.k. SECA där maximalt tillåtet svavelinnehåll i fartygsbränsle är begränsat till 0,1 vikt%.

Mitsui O.S.K. Lines, Westfal-Larsen Management och Marininvest. Under 2019 togs ytterligare två tankers i drift vilka båda är utrustade med andra generationen av denna motor. Genom vatteninblandning klarar dessa andra generationens motorer också Tier III för NOX-utsläpp. Stena Bulk har beställt två nya metanoltankers vilka ska utrustas med dual fuel-motorer för metanoldrift. Det första fartyget ska levereras 2022.

Ingen motortillverkare har ännu någon färdig marin medelvarvs eller högvarvig fyrtaktsmotor för metanoldrift. De flesta av motortillverkarna säger sig ännu inte ha sett någon efterfrågan eller marknad för detta och har därför inte utvecklat någon, dock finns tillverkare som säger sig kunna ta fram och leverera dual fuel motorer för metanol och diesel vid en beställning. Under 2019 meddelade Maersk att de ser biometanol som ett framtida bränsle (Maersk, 2019). Eventuell efterfrågan från stora aktörer såsom Maersk kan antas driva på utvecklingen av motorer. Maersk ingår också i ett projekt tillsammans med bland annat SAS, Köpenhamns flygplats, DFDS och Ørsted där en produktionsanläggning för att producera vätgas och metanol från el ska etableras. Anläggningen planeras tas i drift 2023 och den producerade metanolen ska då bl.a. kunna användas som fartygsbränsle av Maersk.

Biometanol kan framställas på flera olika sätt, bland annat från skogsavfall, svartlut och glycerin. I februari 2020 startade produktionen av biometanol vid Södras massabruk i Mönsterås. Anläggningen som har en designkapacitet på 5000 ton/år använder restprodukter från massaproduktionen och råvaran härstammar därmed från skogsråvara. I det första skedet säljs metanolen för att användas i framställningen av biodiesel (Södra, 2020). På Island produceras förnyelsebar metanol med ickebiologiskt ursprung från koldioxid och väte med förnyelsebar el. Vid pilotanläggningen i Piteå producerades fram till 2016 både DME och metanol från svartlut som är en biprodukt från massaframställningen. Totalt mellan 2011 och 2016 producerades ca 1000 ton DME och metanol i anläggningen. Luleå Tekniska Universitet, som 2013 köpte anläggningen från Chemrec, bedriver dock fortfarande omfattande forskning på området och det finns även andra projekt i Norrbotten för att producera biobränslen, däribland metanol. Inom ramen för projektet FReSMe (From Residual Steel Gases to Methanol) ska metanol produceras från koldioxid som avskiljs från masugns gas från SSAB:s stålverk i Luleå och från vätgas, som dels utvinns från masugns gasen, dels produceras genom elektrolys av vatten (FReSMe, 2020). Metanolen planeras att användas som fartygsbränsle för Stena Germanica. Storskalig produktion av biometanol finns också bland annat i Holland (BioMCN) och Kanada (Enerkem).

Teknikutveckling sker också för att producera så kallad e-metanol, där bland annat det svenska företaget Liquid Wind utvecklar teknik för att producera klimatneutral metanol från förnyelsebar el och infångad koldioxid. Den första anläggningen planeras tas i drift 2023 och planeras då få en kapacitet på 45 000 ton bränsle per år (Liquid wind, 2020).

2.2.1 Fartygsdrift med metanol som bränsle

För fartyg med metanoldrift innebär gällande regelverk, såsom IGF-koden samt exempelvis LR:s klassregler (Lloyd's Register, 2020), krav på särskilda åtgärder och installationer som skiljer sig åt jämfört med krav på konventionella dieseldrivlinor. Detta omfattar bland annat utformning och placering av bunkertankar som ska vara omslutna av kofferdammar eller motsvarande barriär till omkringliggande utrymmen. Vad gäller metanol kan dubbelbotten användas som lagringsutrymme, eftersom metanol, i jämförelse med diesel, är väsentligt mycket mindre skadligt för den marina miljön när den löses med vatten. Metanol är korrosivt och insidan av tankarna behöver därför vara ytbehandlade med särskild färg. Alternativt kan tankarna vara i ett material som klarar av den korrosiva miljön, såsom rostfritt stål. Med anledning av metanolens lägre energiinnehåll erfordras också större tankvolym; 2,3 gånger större jämfört med diesel för samma energimängd.

Bunkring av metanol kräver en separat bunkerstation. Bunkring kan ske antingen direkt från lastbil, likt för Stena Germanica, alternativt kan en mellanlagringstank etableras på kajen för fartyg med behov av mer frekvent bunkring av mindre volymer. För tankning av fordon finns standardiserade tanklösningar vilka kan användas även för fartygsbunkring. Bunkringsoperationen ska ske i enlighet med framtagna procedurer och rutiner. IGF-koden ställer också krav på dubbelmantlade bränslerör, dock med undantag för rör i utrymmen klassade som "hazardous areas".

Det finns också krav på att pumprum för metanelpumpar ska vara gastätt. Beroende på placeringen och utnyttjandegraden av pumprummet krävs det även en luftsluss in till pumprummet. Utrustning i till exempel pumprum och andra "hazardous areas" behöver vara ex-klassade.

IGF-koden samt klassregler ställer också krav på inertgasinstallation ombord som ska lägga ett täcke med inertgas ovanför metanolen i tankarna, samt för att trycka ut metanolångor som finns kvar i rör när bränsletillförseln stängs. Inertgasen kan antingen komma från tryckkärl som byts ut allt eftersom de tar slut eller så kan man ha en inertgasgenerator ombord som framställer inertgasen. Denna typ av installation ombord på mindre fartyg kan vara svår och för konverteringen av en lotsbåt i projektet FASTWATER föreslås en alternativ lösning utan inertgasinstallation vilken förväntas godkännas genom att en alternativ design kan påvisas vara säker.

Ventilationen i utrymmen som kan innehålla metanol behöver uppdateras för att uppfylla krav på luftväxlingar och ventilationsöppningar för metanoltankar etc. behöver placeras med beaktande av att ett område runt dessa kommer vara "Hazardous area". Brandskydd och branddetektion behöver vara anpassat till metanol.

2.3 Etanol

Etanol är den näst enklaste alkoholen och har den kemiska beteckningen C_2H_5OH . Dess egenskaper liknar på många sätt metanol men har ett något högre energiinnehåll, 7,8 kWh/kg jämfört med 5,6 kWh/kg för metanol. Likt metanol har etanol en låg flampunkt och omfattas därför av motsvarande krav som metanol. Till skillnad från metanol är dock etanol inte klassat som giftigt för människor. Etanol används bland annat som lösningsmedel, bränsletillsats och som bränsle, framför allt för landbaserad trafik. Etanol är det mest använda biodrivmedlet i världen. Etanol är dock inte testat som drivmedel för kommersiell sjöfart, troligen på grund av det högre priset jämfört med metanol från fossilt råmaterial. Det finns för närvarande inga marinklassade motorer för etanol på marknaden. Dock finns lastbilmotorer för etanoldrift vilka kan antas möjliga att använda även för marint bruk. Exempelvis har Scania kompressionstända motorer för etanoldrift i två storlekar; 9 l (208 kW) respektive 13 l (305 kW) (Scania, 2019).

De liknande egenskaperna och fysikaliska egenskaperna gör att etanol också bör kunna ersätta metanol i motorer anpassade för metanoldrift.

Etanol framställs i första hand från biomassa. I Brasilien, som är en stor producent, framställs etanol från sockerrör. I USA, som är en annan stor producent, framställs etanol från majs. I Europa och Sverige använder bioetanolproduktionen vete och sockerbetor som råvara. Den vanligaste produktionsmetoden innefattar jäsnings och destillation av biomassan för att skapa etanol.

Ren etanol är lagringsbeständigt och kan lagras över tid. Genom att etanol används i stor omfattning som fordonsdrivmedel finns ett väl fungerande distributionssystem för etanol i Sverige idag som är baserat på framförallt lastbilstransporter. Bunkring kan därmed antas genomföras direkt från lastbil, alternativt från en mellanlagringstank på kajen likt för metanol. Etanoldrift av fartyg omfattas av i princip samma krav som vid metanoldrift, och för en installation ombord krävs därför samma system och säkerhetsåtgärder, se avsnitt 2.2.1 ovan.

2.4 Biogas och LBG

Förnyelsebart bränsle motsvarande naturgas eller LNG kallas ofta biogas eller LBG, Liquified Bio Gas, alternativt SNG, Syntetisk NaturGas, och består av biometan vilken kan kondenseras liksom naturgas till kryogen vätska. Biometan produceras i huvudsak genom rötning eller andra förgasnings- och metaniseringsprocesser av biologiskt avfall eller skogsprodukter. Energiinnehållet i biogas är högre än i diesel men i gasform är densiteten låg vilket medför att trycksättning eller kylning krävs för att hantering och distribution ska bli effektiv. Biogas som har uppgraderats för att kunna användas som fordonsbränsle har ett metaninnehåll på ca 97 % men har ett något lägre energiinnehåll än naturgas eftersom det saknar tyngre kolväten, såsom butan och propan vilket finns i naturgas. Detta medför att det krävs en något högre bränsletillförsel när LBG ersätter LNG.

Totalt finns ca 280 anläggningar runt om i Sverige där biogas produceras genom rötning av exempelvis hushållsavfall, avloppsvatten och liknade (Energigas Sverige, 2019). Totalt producerade dessa anläggningar 2 044 GWh biogas under 2018. Swedish Biogas Internationals anläggning i Lidköping är en av de största anläggningarna i Sverige där biogas produceras genom rötning. Anläggningen har en årlig produktion på ca 60 GWh, vilket innebär ca 6 400 ton biogas. Vid anläggningen i Lidköping sker även förvätskning för regional distribution med lastbil. I början av 2020 togs den andra anläggningen i Sverige för produktion och förvätskning av biogas i drift; Tekniska verken och Svensk biogas anläggning i Linköping.

Användning av LNG som marint drivmedel har ökat de senaste åren och tillgängligheten på LNG i Sverige har därmed också utvecklats. Detta medför också att det finns regelverk och tekniska lösningar vilka är applicerbara även på biogas, då i första hand på flytande biogas (LBG).

Trycksatt komprimerad naturgas (Compressed Natural Gas, CNG) och biogas (Compressed Bio Gas, CBG) som marint drivmedel är fortfarande relativt oprövat men har testats i Nederländerna på en färja med regelbundna kajanlöp som möjliggör frekvent bunkring. Komprimerad gas förvaras i tryckkärl vid ca 200 bar men har trots detta en låg densitet och kräver därför 2,4 gånger större volym ombord på ett fartyg jämfört med flytande gas. Förutsättningarna för konvertering till CBG-drift av Färjerederiets vägfärjor på Hönöleden, vilka förutsätts kunna bunkra ofta och därmed inte behöva ha ett stort energilager ombord, har utretts. Studien visar att en konvertering är möjlig men förenad med höga investeringskostnader, ca 24 miljoner SEK per färja (fyra motorer), vilket jämfördes med en kostnad på ca 5 miljoner för maskinbyte och installation av nya dieselmotorer ombord. Höga kostnader för lämpliga motorer var den främsta anledningen till de högre investeringskostnaderna (SSPA, 2018).

De flesta marina tillämpningarna av LNG-motorer är *dual fuel*-motorer som kan köras antingen på diesel eller flytande metan. I fyrtakts-, *dual fuel*-motorer sker förbränningen av gas som sprutas under lågt tryck i insugningsluften och i dessa fall används så kallat pilotbränsle för att initiera förbränningsprocessen enligt Otto-principen. Pilotbränslet utgörs av diesel och motsvarar ca. 1 % av den totala bränslekonsumtionen. Flera motortillverkare tillhandahåller denna typ av motorer, däribland Wärtsilä, MAN och Caterpillar. Det finns även *single-fuel*-gasmotorer på marknaden, exempelvis från Rolls-Royce, i vilka det förgasade LNG/LBG-bränslet under lågt tryck sprutas in och antänds med hjälp av ett tändstift i motorn.

Även större marina två-takts dieselmotorer har anpassats för användning av LNG som bränsle. Konvertering av befintliga dieselmotorer har genomförts så att varierande andel av diesel och gas under högt tryck sprutas in och förbränns enligt diesel-principen. Dessa motorer benämns ofta *gas-diesel*. Numera finns även två-takts *dual fuel*-motorer med lågtrycksinsprutningssystem på liknande sätt som i de mindre fyrtakts-, *dual fuel*-motorerna.

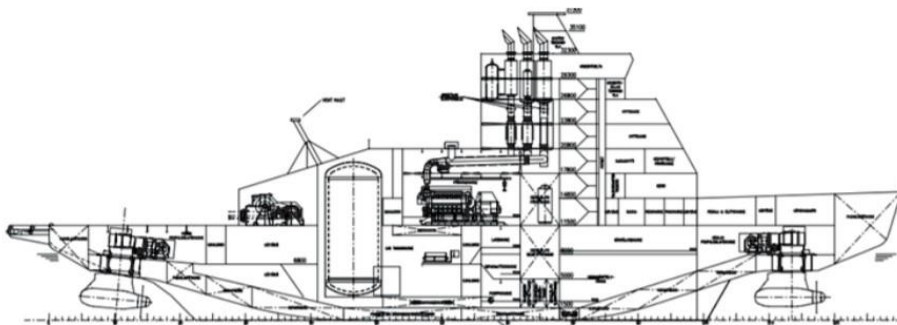
Gasdrift är vanligare för större fartyg varför tillgången på alternativa motorer för denna typ av fartyg anses som god. Mindre motorer för gasdrift är fortfarande relativt ovanliga i marina tillämpningar och utbudet är därför mer begränsat.

Vid förbränning i en Otto-motor, vilket de flesta gasmotorer på marknaden är, uppstår ett så kallat metan-slip vilket innebär att en liten mängd metangas släpps ut till atmosfären. Metangas är en mycket potent växthusgas, 25 gånger starkare klimatpåverkan på 100-årsikt än koldioxid, dvs. GWP (Greenhouse Warming Potential) på 25 beräknat på 100 års sikt. På 20 års sikt är dock växthuseffekten ännu starkare för metan; GWP=84. Detta gör att den totala reduktionen av växthusgaser för exempelvis LNG jämfört med diesel begränsas till ca 1 % ur ett livscykelanalytiskt perspektiv. Beräknat på 20 års sikt orsakar dock förbränning av LNG i en fyrtakt medelvarvsmotor ca 70 – 82 % större utsläpp av växthusgaser jämfört med diesel sett ur ett livscykelanalytiskt perspektiv för bränslet (Pavlenko, Comer, Zhou, & Clark, 2020). Även vid utvärdering av användande av fossilfri metan, dvs CBG eller LBG, bör metanslip beaktas. För låg-tryck *dual fuel*-motorer uppgår i genomsnitt metanslipet till ca 4,1% av bränsletillförseln och för "Lean Burn Spark Ignition" till ca 2,3 %. För hög-trycks *dual fuel*-motorer är metanslipet avsevärt lägre (Winnes, o.a., 2020).

Vid gasdrift enligt Otto-cykeln är *dual fuel*-motorn känslig för att blandningsförhållandet gas/luft är korrekt och avvikelser kan leda till knackning eller dålig förbränning och metan-slip. Detta kan begränsa möjligheterna till snabba lastväxlingar vid gasdrift (WINMOS 2.2, 2015). Gasdrift vid låg belastning bidrar i regel också till förhöjt metanslip, medan gaskvalitet med lågt metantal ökar risken för knackning. För att förebygga denna typ av problem konstrueras styrsystemen för snabb sömlös växling till dieseldrift vid ofördelaktiga belastningsförhållanden.

Biogas är fritt från svavel och vid förbränning enligt Otto-principen uppfylls även kraven för NO_x Tier III. För gasdrift med dieselsystem kan det i en del fall krävas avgasrening med SCR-system, då NO_x-utsläppen är över tillåtna gränsvärden.

Det finns relativt mycket operationella erfarenheter från användning och drift av diesel/LNG *dual fuel*-motorer från sjöfart kring svenska farvatten. Två exempel på fartyg som drivs med LNG, är finska gränsbevakningsfartyget Turva och den finska isbrytaren Polaris, se Figur 2.1 respektive Figur 2.2. Båda dessa fartyg har *dual fuel*-motorer och kan drivas med både diesel och med LNG. Turva har ca 230 m³ LNG ombord och Polaris har ca 800 m³ LNG, fördelat på två tankar. Mängden LNG på Polaris skall räcka för 10 dagars isbrytning.



Figur 2.1 Isbrytaren Polaris med en 400 m³ LNG-tank i genomskärning. Bild: www.akerarctic.fi



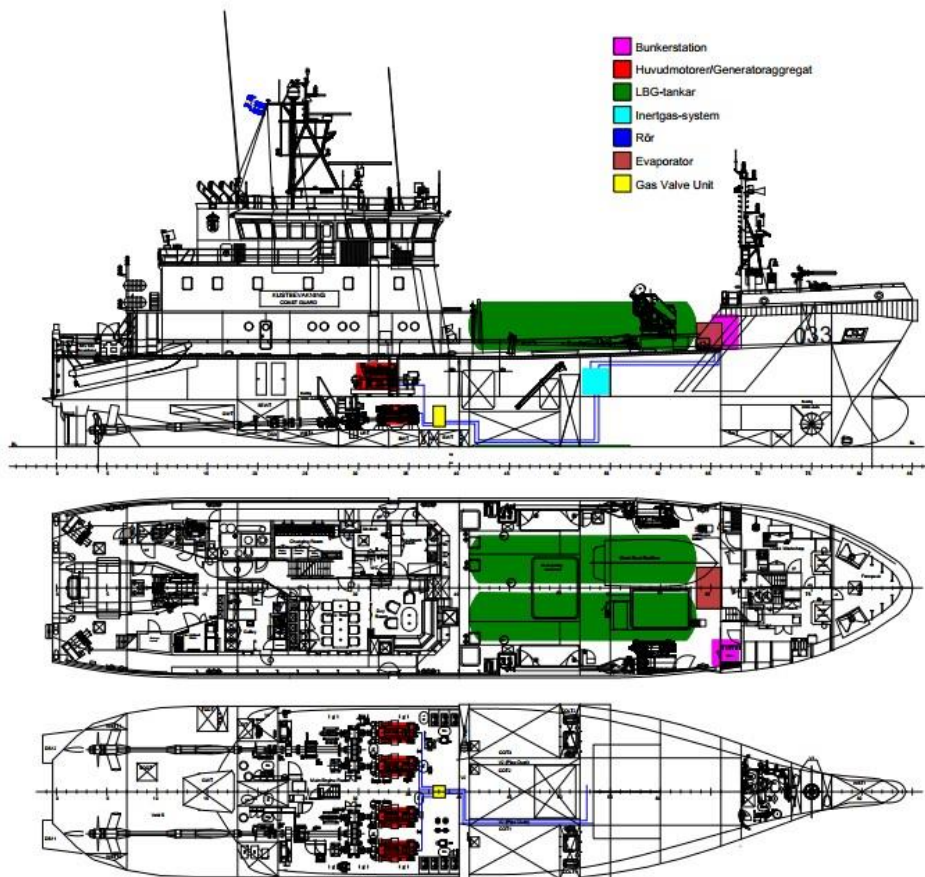
Figur 2.2 LNG-tank (vit) vid installationen på Turva vid varvet i Raumo. Bild: www.raja.fi

Det finns redan idag relativt väl utbyggt distributionssystem både för tryckt och kyld metangas i större delen av landet. Detta kan även nyttjas för biogas. Bunkring av LBG kan ske från en tankbil på kajen, från bunkerfartyg s.k. *ship-to-ship*-bunkring, eller via pipeline från en terminal eller mellanlagringstank. Den enklaste lösningen är från tankbil, truck-to-ship. Denna kräver inga större investeringar i anläggningar på land och kan relativt lätt komma till stånd. För större fartyg med behov av stora volymer LNG är bunkring ship-to-ship mer effektivt och under de senaste åren har också antalet LNG-bunkerfartyg ökat avsevärt.

För konvertering av vägfärjorna på Hönöleden utreddes en distributionslösning av bränsle som innebar att LBG transporterades med tankbilar till färjeläget på Hönö där en lagringstank för LBG etablerades. I anslutning till tanken avsågs också en högtrycksförångare att installeras för på så vis möjliggöra bunkring av CBG till färjan med liknande teknik och utrustning som används för tankning av lastbilar och bussar. Anläggningen avsågs ägas av bränsleleverantören och lösningen beräknades då medföra ett bränslepris för Färjerederiet på ca 1,3 – 1,7 SEK/kWh (SSPA, 2018).

2.4.1 Fartygsdrift med biogas som bränsle.

Flytande metan förvaras i kryogen form vid en temperatur av -162 °C . För att förvara så kall vätska behövs särskilt isolerande tankar. Gasen förvaras i cylindriska dubbelväggiga tankar av rostfritt stål. Isoleringen mellan de två tankarna utgörs av vacuum eller av det isolerande materialet Perlit. Att gastankar är cylindriska gör dem skrymmande jämfört med en dieseltank. Figur 2.3 visar ett schematiskt exempel på hur tankar och utrustning för gasdrift skulle kunna integreras ombord på KBV 031-S.



Figur 2.3 Illustration av hur tankar och utrustning för gasdrift skulle kunna integreras på KBV 031-S.

För att fartyget skall få lika lång räckvidd som med dagens dieseltankar på 55 m³ behövs för LBG en tankvolym på 98 m³. I det aktuella exemplet bedöms det inte möjligt att rymma dessa tankar under däck och tankarna har i exemplet därför istället placerats på väderdäck. Beroende på fartygets uppdrag, används dock däck i dagsläget för transport av material och utrustning etc. Tankplaceringen i exemplet innebär då att merparten av det flexibla arbetsdäckets yta försvinner.

Vid bunkring av LBG ställs höga krav på såväl utrustning, utformning som säkerhetsrutiner eftersom läckage eller spill inte får uppstå då metan är en brandfarlig gas. Den låga temperaturen på LBG kan skada fartygsskrovet vid ett eventuellt läckage vilket också bidrar till att droppfria kopplingar måste användas samt att bunkringsförfarandet måste utformas så att spill eller läckage inte kan uppstå.

Flytande metan kan förvaras i isolerade tankar mellan 60 - 90 dagar. Därefter har gasens temperatur stigit så mycket att den förångas. När gasen förångas ökar trycket i tanken. Vid ett övertryck av ca 7 bar släpps den förångade gasen ut.

Innan förbränning i motorn förångas den flytande metanen till gas i en evaporator, en förångare. Flytande gas förångas normalt till gasform utan tillsats av energi. I evaporatorn måste dock värme tillföras, antingen från fartygets värmesystem eller från sjövattnet.

Från evaporatorn leds gasen i dubbelmantlade bränsleledningar till maskinrummet. I maskinrummet hanteras gasen av en gasreglerings-enhet. Denna fördelar gas till rätt tryck och mängd till motorerna. En motor för gasdrift är i stort lik en motor för dieseldrift.

Eftersom gas är så lättantändligt har bränslesystemet ett flertal säkerhetsdelar. Gasregleringsenheten och det yttre utrymmet i de dubbelmantlade bränsleledningarna spolas

konstant med luft. Denna luft passerar sensorer som ger utslag till ett nödavstängningssystem i det fall att gas skulle läcka. Efter bunkring och vid avstängning av gasdriften spolats bränsleledningarna med inertgas. Inertgasen förvaras ombord i komprimerad form. På stora fartyg finns också en inertgasgenerator för kontinuerlig tillförsel av inertgas.

2.5 Vätgas

Vätgas innehåller inget kol och de enda emissionerna som uppstår vid förbränning är vattenånga. Vätgas har testats och använts i både förbränningsmotorer och i bränsleceller ombord på mindre fartyg. Passagerarbåten Hydroville som opererar i Antwerpen var 2017 det första certifierade fartyget att använda vätgas som bränsle i en förbränningsmotor (Hydroville, 2020). Under 2020 förväntas passagerarfärjan Water Go Round sättas in i kommersiell trafik i San Francisco. Färjan är utrustad med bränsleceller för att konvertera vätgas till el för framdrift. Även i Norge pågår flera projekt med utveckling av färjor som utrustas med bränsleceller och användning av vätgas, exempelvis Norleds färja som förväntas tas i drift i april 2021 (Fuelcellworks, 2019) samt projektet Zero Emission Fast Ferry – Zeff.

Vätgas har mycket låg densitet; $0,089 \text{ kg/m}^3$, vilket gör att även vätgas i flytande form har betydligt lägre energidensitet än andra alternativa bränslen, $2\,400 \text{ kWh/m}^3$ jämfört med $9\,800 \text{ kWh/m}^3$ för diesel. Den låga kokpunkten, -253°C , gör att flytande vätgas förutsätter kryogen hantering och kontinuerlig kyla, alternativt kontinuerlig förbrukning av avkoket. Vätgasmolekylerna är mycket små vilket gör tankarna måste utformas i speciella material för att molekylerna över tid inte ska diffundera genom tankväggen. Vätgas är också explosivt och brandfarligt vilket ställer höga krav på säkerheten. Trots den låga vikten på vätgas blir den totala vikten för en vätgasinstallation hög, p.g.a. att volymen på vätgas kräver stora tankar.

Vätgas används i första hand inom processindustri och i raffinaderi, endast en mindre del används som bränsle. Det mesta av den vätgas som produceras globalt i dag är framställd från en fossil vätekälla, i första hand naturgas. Vätgas kan dock produceras från el genom elektrolys. Den vätgas som tankas i Skandinavien är framställd uteslutande från förnybara källor. (Vätgas Sverige, 2020). Tekniken är under utveckling och det pågår flera projekt för att öka produktion av vätgas från exempelvis vind- och solel. Produktion av vätgas blir då ett sätt att kunna lagra förnyelsebar el när det finns ett överskott på el. Vätgas producerad från förnyelsebar el anses av många vara ett intressant framtida alternativ som marint bränsle. I en studie av Chalmers och IVL genomfördes en multikriterieanalys för utvärdering av möjliga marina bränslen. I studien där flera olika aktörer, så väl redare som myndighetsrepresentanter, medverkade rankades förnyelsebar vätgas högst trots dess högre pris (Hansson, Månsson, Brynolf, & Grahn, 2019). I andra prognoser avseende användning av framtida bränslen globalt förutspås dock vätgas inte få en betydande roll, främst p.g.a. av ett högt pris på bränsleceller (DNV GL, 2020).

Än finns inga klassregler för användning av vätgas som marint bränsle men regler och standarder är under utveckling. Hydroville, som var det första klassade fartyget, fick sitt godkännande genom "riskbaserad design" (Lloyd's register, 2017). Eftersom vätgas är en gas omfattas användningen som bränsle ombord fartyg också av IGF-koden.

Det finns ett fungerande system för distribution av vätgas i Sverige idag baserat på tankbiltransporter av trycksatt gas. Dock används denna gas i liten omfattning som energibärare, vilket gör att distributionssystemet inte är dimensionerat för stora leveranser av vätgas. I Sverige finns i dag fem tankstationer för vätgastankning till fordon.

2.5.1 Fartygsdrift med bränsleceller

En bränslecell är en energiomvandlare som omvandlar ett vätebränsle till elektricitet. Elektriciteten används sedan för att driva fartyget med en elmotor. Omvandlingen sker med hög verkningsgrad med endast vatten och värme som restprodukt.

Genom att leda det vätehaltiga bränslet genom bränslecellen, som likt ett batteri består av en anod och en katod, tillsammans med komprimerad luft, sker en kemisk reaktion som producerar elektricitet. En (1 st.) bränslecell producerar en spänning på endast 0,7 - 1 V. På motsvarande sätt som för ett batteri kopplas flera celler ihop till en så kallad stack/paket för att få önskad driftspänning. Bränsleceller levererar typiskt 10 – 100 kW per enhet. Vid behov av större effekter måste fler bränsleceller användas.

Det bränsle som driver en bränslecell bör vara rikt på väte. Typiska bränslen är alkoholer (metanol) och vätgas. Energiomvandlingen i en bränslecell är effektiv. Trots rent vätes höga energiinnehåll, 33 kWh/kg, kräver bränslet en stor volym på grund av mycket låg densitet. De första inledande försöken med bränsleceller på fartyg har använt komprimerad vätgas, t.ex. Zemship. Vätgasen förvaras i tryckkärl under ett tryck på 200 – 700 bar. Även under så stora tryck blir mängden vätgas liten per behållare, t.ex. 6,2 kg vätgas komprimerad till 700 bar i en 150 liters tryckflaska som väger 120 kg, vilket gör att vikten för hela installationen blir stor. Likt i fallet med biogas är det effektivare att förvara vätgasen i flytande form. Även de kryogena tankarna medför mycket vikt och tar ett relativt stort utrymme i anspråk.

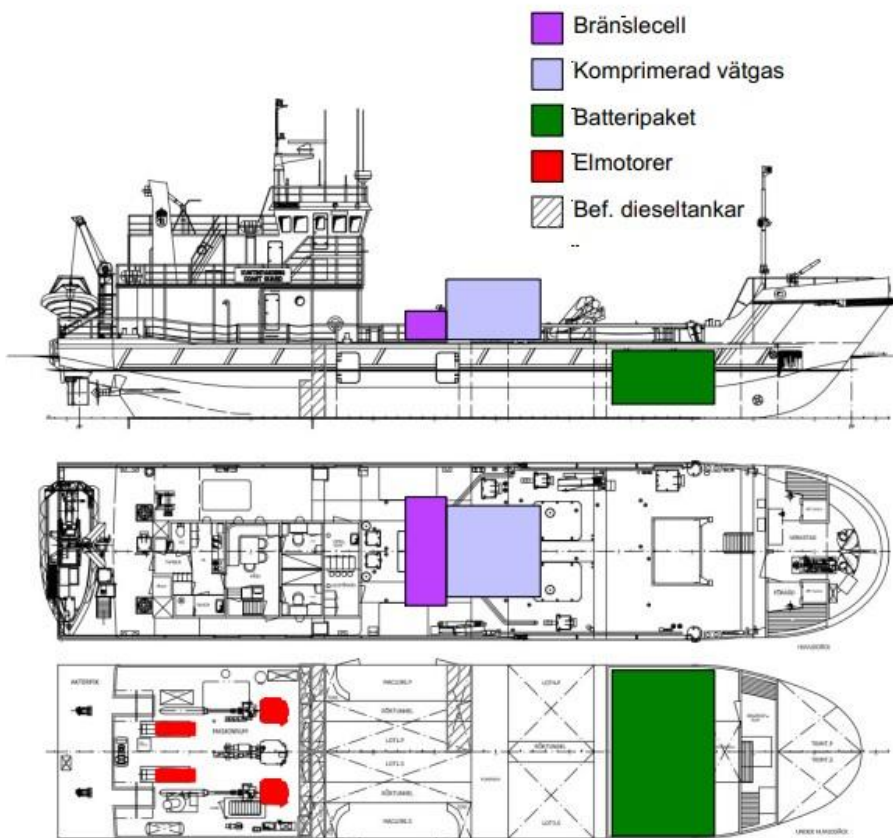
En bränslecell driven av vätgas har högre verkningsgrad ca 60 %, jämfört med en driven av metanol, ca 40 %. Förvaring av väte är däremot mer komplicerat än metanol.

Hittills är exempel på bränsleceller ombord på fartyg få och i de existerande installationerna täcker inte bränslecellerna hela fartygets effektbehov. För att få önskad topp effekt lagras den elektriska energin i batterier. Bränslecellen laddar kontinuerligt batterierna och effekter större än den bränslecellen kan leverera ensam tas från batterierna. Det begränsar tiden under vilken hög effekt kan användas.

Utöver bränsleceller, bränsleförråd och batteribank behöver en bränslecellsinstallation också en kompressor för tillförsel av luft (syre) och ett kylsystem. Bränsleceller är en dyr teknik. Kostnaden för en 100 kW bränslecell är ca. 1 700 000 kr.

Den uppenbara fördelen med bränsleceller är att det är en noll-emissionsteknik. Utsläppen kommer från framställningen av bränslet. Nackdelen med tekniken är att den väger mycket, tar stor plats och är dyr. Exempel på tillverkare av bränsleceller är Ballard och svenska Powercells.

Figur 2.4 visar ett exempel på hur en bränslecellsinstallation kan se ut på KBV 050. Fartyget har valts ut som exempel för att det har bra förutsättningar i form av begränsad maskineffekt; 800 kW, och ett relativt begränsat behov av energilagring ombord.



Figur 2.4 KBV 050 med bränsleceller

De ursprungliga dieseltankarna rymmer 28 m³. Det ger fartyget en räckvidd på ca 3300 M i 9 knop. En installation av vätgas-bränsleceller är tung, 300 kW bränsleceller väger ca 1,3 ton, ett bränslelager om 750 kg vätgas, som totalt väger 17 ton, och ett batteripack på 2 500 kWh för att klara högre belastningar än 300 kW, 30 ton, ger en totalvikt på 48,3 ton. Med den installationen får fartyget en räckvidd på ca. 450 M i nio knop. Alltså 13,5 % av motsvarande räckvidd för diesel. Vikten av ursprunglig dieselininstallation, för 100 % räckvidd, är ca 26 ton.

2.6 Ammoniak

Ammoniak består av kväve och väte, NH₃, och likt för vätgas uppstår inga emissioner av CO₂ vid förbränning. Ammoniak används i första hand inom industrin för tillverkning av bland annat konstgödsel men har under de senaste åren identifierats som ett potentiellt framtida marint bränsle. Fönrävarande pågår flera forskningsprojekt kring ammoniak som bränsle i förbränningsmotorer men också som energibärare för användning i bränsleceller ombord på fartyg. Bland annat har ett projekt för att utveckla och testa bränsleceller ombord på offshore fartyget Viking Energy blivit beviljat stöd. Installationen förväntas vara installerad 2024 och enligt plan ska ammoniak då svara för 60-70 % av det årliga energibehovet ombord, resterande del kommer från LNG (Equinor, 2020).

Hittills finns inga kommersiella applikationer där ammoniak används som fartygsbränsle och erfarenheterna är begränsade till tester i motorer i laboriemiljö. Det saknas därför också regelverk för användning ombord. I prognoser avseende framtida marina bränslen förutspås ammoniak, producerad genom elektrolys, kunna användas i betydande omfattning globalt kring år 2040 (DNV GL, 2020). Tekniken antas dock i första hand vara anpassad för större oceangående fartyg

(Brinks, 2020). De första fartygen att använda ammoniak som bränsle kommersiellt antas bli produkttankers som har ammoniak i lasten (Alfa laval, Hafnia, Haldot Topsoe, Vestas, Siemens Gamesa, 2020).

Vid rumstemperatur och normalt tryck är ammoniak gasformigt men genom trycksättning till 10 bar eller genom nedkylning till -33°C blir ammoniak flytande och kan därmed transporteras effektivt i trycktankar. Tack vare betydligt högre densitet blir även energitätheten avsevärt högre än för flytande vätgas, $3\,116\text{ kWh/m}^3$ jämfört med $2\,367\text{ kWh/m}^3$ för flytande vätgas. Ammoniak är dock en giftig gas vilket medför hälso- och säkerhetsrisker. Eftersom ammoniak har en hög antändningstemperatur krävs förbränning i en dieselmotor pilotbränsle, vilket kan utgöras av vätgas alternativt diesel (Vries, 2019). Det finns för närvarande ingen tillgänglig marinmotor på marknaden för ammoniak. MAN har dock utrett möjligheterna för att kunna modifiera sina två-takts dual fuel-motor (ME LGI) för att de ska kunna köras på ammoniak. Utvecklingstiden för en sådan modifierad motor uppskattas till 2 till 3 år och kan utvecklas när det finns en marknad för det (MAN, 2018). Priset på denna motor förväntas bli ca 30 % högre jämfört med priset för samma motor för redan godkända bränslen (LNG, LPG) (Alfa laval, Hafnia, Haldot Topsoe, Vestas, Siemens Gamesa, 2020). Med anledning av att ammoniak är giftigt och en installation därmed kommer att vara förenad med omfattande säkerhetssystem samt eftersom ammoniak erfordrar trycksatta tankar för att vara flytande kan den totala installationskostnaden förväntas bli hög.

Ammoniak produceras i första hand från kol och naturgas men kan även tillverkas från biomassa eller framställas från elektrisk energi likt vätgas. När det produceras med elektrisk energi omsätts väte, producerat ur elektrolys av vatten, med kväve erhållet från luftavskiljning (Bennani, o.a., 2016). Tillgången på ammoniak från förnyelsebara källor är för närvarande mycket begränsad men flera projekt för produktion av ammoniak från el pågår, bland annat projektet ZEED (Zero Emission Energy Distribution at Sea) som utvecklar koncept för produktion av ammoniak, vätgas och biogas från havsbaserad vindkraft. Konceptet ska också möjliggöra bunkring till havs i anslutning till produktionsplatsen (ABB, 2019).

Priset på fossilfri ammoniak är idag ca 2-3 gånger så högt som priset på konventionell ammoniak (Brinks, 2020).

2.7 Elektricitet

Elektricitet som produceras i Sverige har sedan 2011 krav på ursprungsmärkning, vilket gör att elektricitet som köps in kan beställas som fossilfri. Sveriges elproduktion består idag av cirka 40 procent kärnkraft, 40 procent vattenkraft, 10 procent vindkraft och 10 procent kraftvärmeverk i fjärrvärmesystem eller i industrin.

Sverige har ett väl utbyggt elnät, där stamnätet går med viss närhet till samtliga kuster, samt med närhet till Sveriges större sjöar. Beroende på var ett elektriskt drivet fartyg behöver ladda kan tillräcklig effekt i överföringen mellan land och fartyg vara begränsande eftersom snabb laddning kräver hög effekt från det lokala elnätet. Utöver att förstärka nätet eller bygga nytt nät kan en förstärkning även ske genom mellanlagring i ett batteri på land, vilket har gjorts på vissa platser i Norge

Det finns idag flera fartyg, främst för persontrafik, som har helelektriskt framdrivning. En fördel med elektricitet som drivmedel är att elektriska motorer och system generellt har hög verkningsgrad. Största nackdelen med elektricitet som drivmedel är att lagring ombord, som sker med hjälp av batteri, är skrymmande och tungt, vilket medför att elektricitet som drivmedel får en låg energidensitet. Detta medför att helelektriska lösningar med endast batterier ombord för energilagring lämpar sig i första hand för fartyg som opererar korta avstånd med frekvent möjlighet att ladda. För andra typer av fartyg med annan typ av operationsprofil kan hybridlösningar med

batterier i kombination med ett annat bränsle vara ett alternativ. Beroende på operationen och fartygstypen kan installationen av batterier utformas för att kunna tillgodose en varierande andel av energibehovet. 2019 fanns över 320 fartyg med hybrid- eller plug-in hybridinstallation i drift eller i order (DNV GL, 2019). Ökningen av antalet fartyg med batteriinstallation har gjort att regelverk och klassregler har utvecklats och tagits fram.

De senaste årens ökande elektrifiering av fordonsflottan på land samt den ökande efterfrågan på batteriinstallationer för marint bruk har lett till en snabb utveckling av batterier samt sjunkande priser. Utvecklingen med sjunkande priser på batterier förväntas fortsätta under de kommande åren (Lloyd's Register, 2020). Batterier uppskattas ha en livstid på ca 8-10 år, efter detta behöver batterierna bytas ut. Detta bidrar till höga kostnader för fartyg med eldrift (DNV GL, 2019).

2.8 Vind

Vindkraft användes för framdrivning av fartyg i flera tusen år innan den konkurrerades ut av ångmaskiner och förbränningsmaskiner för omkring hundra år sedan. Ökad medvetenhet om miljö och klimat har tillsammans med teknisk utveckling dock åter ökat intresset kring olika typer av vindpropulsion. En rad olika tekniska lösningar har presenterats och implementerats ombord på fartyg av olika storlek. I de flesta fall har det handlat om system för att generera kompletterande propulsionskraft (Wind Assisted Propulsion System, WAPS) för att reducera bränsleförbrukningen för det ordinarie framdrivningsmaskineriet. Storleken av de bränslebesparingar som kan uppnås varierar beroende på storlek och typ av vindpropulsor (Wind Propulsion Unit, WPU) som installeras. För retrofit-lösningar av mindre anläggningar kan det röra sig om enstaka procent men för nybyggen som designas och optimeras för vindpropulsion finns exempel som siktar mot 90 % besparing.

Det kan sägas ligga i sakens natur att alla vindpropulsionsarrangemang är utrymmeskrävande och ofta tar stora däcksytor i anspråk. Höjden kan innebära begränsningar för val av storlek och typ på vindpropulsionsarrangemang liksom möjligheten att begränsa de krafter som genereras när vindpropulsionen inte används, exempelvis i hamn. Utrustningens vikt, placering och genererad kraft kan i hög grad påverka fartygets stabilitet och påtagligt begränsa förutsättningarna för val och utformning av arrangemang för vindpropulsion.

Ett flertal forsknings- och pilotprojekt pågår och några koncept är väl etablerade av tillverkare som erbjuder typgodkända enheter som kan installeras på existerande fartyg eller i nybyggnadsprojekt. De flesta aktörer på området är anslutna till International Windship Association (IWSA) som också har sammanställt och kategoriserat presenterade och tillgängliga koncept i sju huvudtyper enligt Tabell 2.2 nedan. Tabellen anger vissa karaktäristiska och indikativa för- och nackdelar samt exempel på tillverkare och installationer.

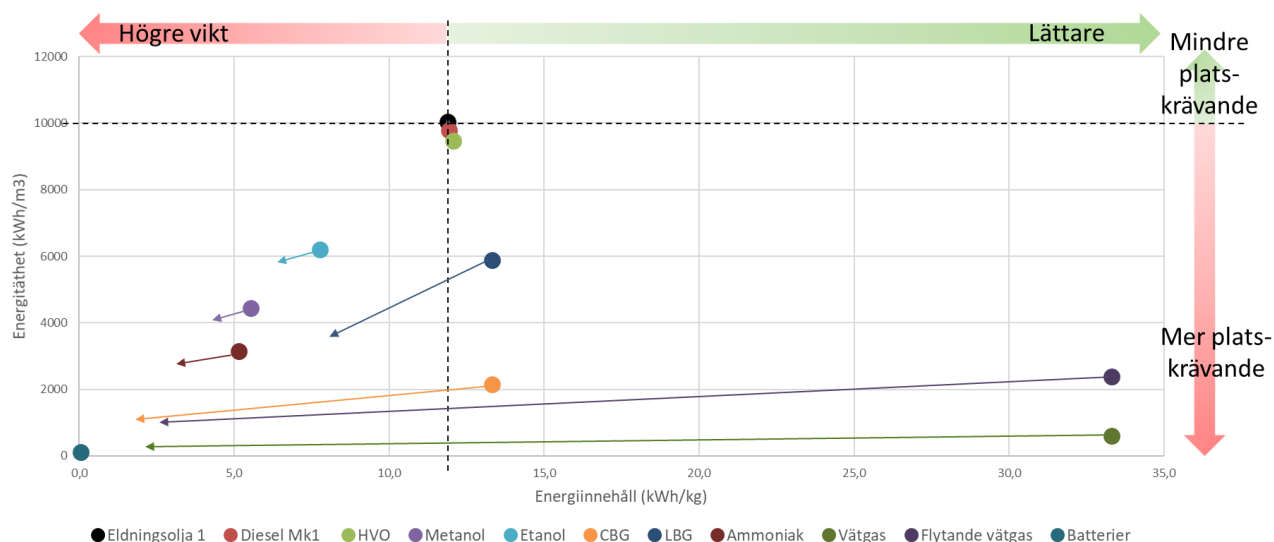
Tabell 2.2 Sju huvudtyper av vindpropulsionstekniker.

Typ, huvudprincip	Karaktäristiska egenskaper	För- och nackdelar	Exempel installationer
Flettnerrotor	Vertikal cylinder drivs att rotera varvid en dragkraft uppstår när vind blåser mot cylinderytan	+ relativt liten yta krävs - energi krävs för rotationen	Tillverkare: Norsepower, Finland Eco Flettner, Tyskland Ett flertal installationer i drift
Kites (draksegel)	Vinden lyfter en drake som via linan ger framdrivande kraft	+ utrymmeseffektiv - flygkontroll utmanande	Tillverkare: Skysails, Seawing kite (AirSeas)
Vingsegel	Vertikala vingar som kan roteras för olika anfallsvinkel mot vinden	+ hög effektivitet - stor höjd	Mest uppmärksammat projekt är Wallenius Marine's WPC Oceanbird

Soft Sail	Segel av dukmaterial spänns upp i master, rån och bommar	+ låg vikt, revbar, känd teknik - arbetskrävande, segel slits	Dynarig
"Suction Wings" (Ventifoil, Turbosail)	Dragkraft fås genom att suga luft från sugsidan av vertikal tjock vinge med liten kordalängd	+ hög effektivitet - fläktsug kräver energi	Econowind Ventifoil, Holland
Turbiner	Roterande vindturbin driver generator för el-propulsion	+ känd vindkraftsteknik - stora roterande vingar	Endast småskaliga marina applikationer prövade
Skrovform	Fribordsytorna mellan däck- och vatteninjekonturerna bildar en kort vertikal vinge	+ integrerad i skrovet - retrofit ej möjligt	Vindskip AS (Høglund Marine Solutions), Norge

2.9 Jämförande sammanställning

Figur 2.5 visar en sammanställning av energiinnehåll och energidensitet för alternativa bränslen. I figuren jämförs de alternativa bränslena med eldningsolja. Många av bränslena, i synnerhet de gasformiga, kräver tankinstallationer som medför att energitätheten samt energiinnehållet för installationen och bränslen som helhet sänks avsevärt. Pilarna i figuren indikerar hur dessa parametrar förändras för respektive bränsle när tankinstallation ombord beaktas.



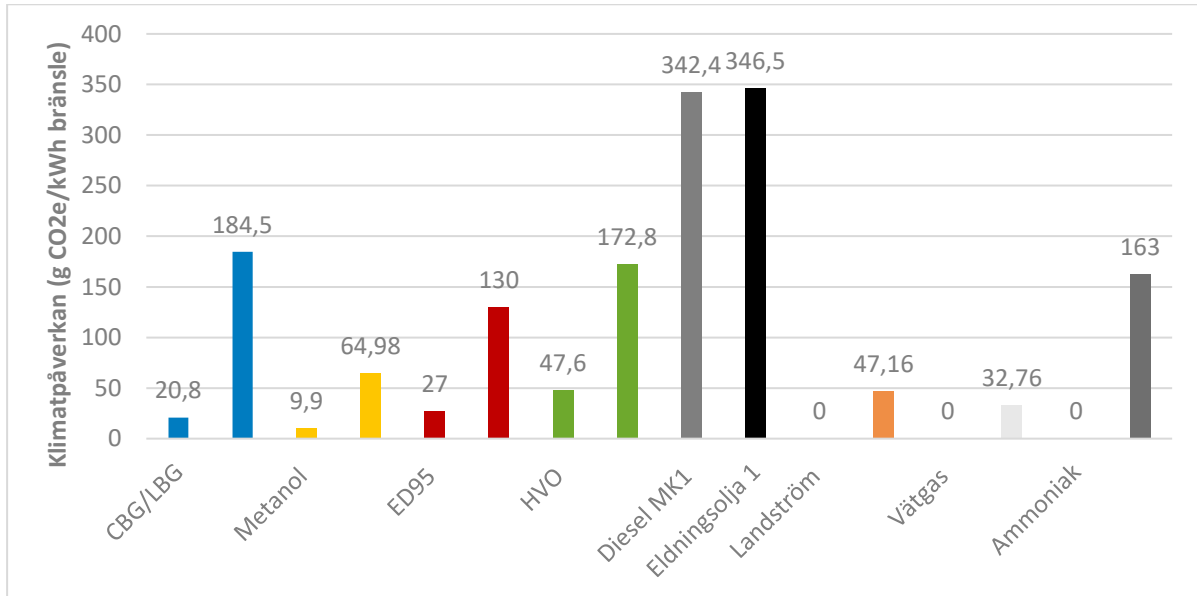
Figur 2.5 Jämförelse av vikt och utrymmebehov för alternativa bränslen i jämförelse med eldningsolja. Pilarna i figuren indikerar hur energitätheten samt energiinnehåll förändras för respektive bränsle när tankinstallationer ombord beaktas (DNV GL, 2019).

Av figuren framgår att alla bränslen, förutom HVO, medför en högre vikt samt blir mer platskrävande om dessa ska ersätta samma energimängd av eldningsolja ombord.

Fossilfria bränslen producerade från biomassa ger inte upphov till några nettoutsläpp av CO₂ till atmosfären vid förbränning eftersom biomassan antas ha bundit in koldioxid och på sikt binds denna koldioxid in igen i ny biomassa. Framställningen av dessa bränslen ger dock upphov till utsläpp vilket gör att även dessa bränslen medför viss klimatpåverkan.

Många av bränslena kan produceras på flera olika sätt, och från flera olika råvaror. Beroende på produktionsmetod och råvara varierar även klimatpåverkan från det färdiga bränslet. Beräkningar av klimatpåverkan görs också på olika sätt i olika studier, vilket också bidrar till att klimatpåverkan från ett specifikt bränsle kan variera mycket mellan olika källor. Figur 2.6 visar en sammanställning av klimatpåverkan för olika bränslen. För att påvisa hur beräknad klimatpåverkan varierar för respektive

bränsle presenterar figuren, för de flesta av bränslena, två värden; ett högt och ett lågt. Presenterade siffror är hämtade från olika källor. Bilaga 1 innefattar en redovisning och sammanställning av de värden och källor som ligger till grund för siffrorna presenterade i Figur 2.6. Beroende på hur stort metan-slip som uppstår vid förbränningen av LBG eller CNG, och beroende på i vilket tidsperspektiv (20 eller 100 år) klimatpåverkan från detta bedöms varierar klimatpåverkan för LBG och CNG stort. Den höga stapeln (184,5 g CO₂e/kWh bränsle) avser förbränning av LBG producerad från vide och med ett metanslip på 4 % av bränsletillförseln beräknat på 100-år (Brynolf S. , 2014). Den lägre stapeln (20,8 g CO₂e/kWh bränsle) avser LBG producerad vid Kartåsen i Lidköping och ett scenario utan att metanslip uppstår vid förbränning.



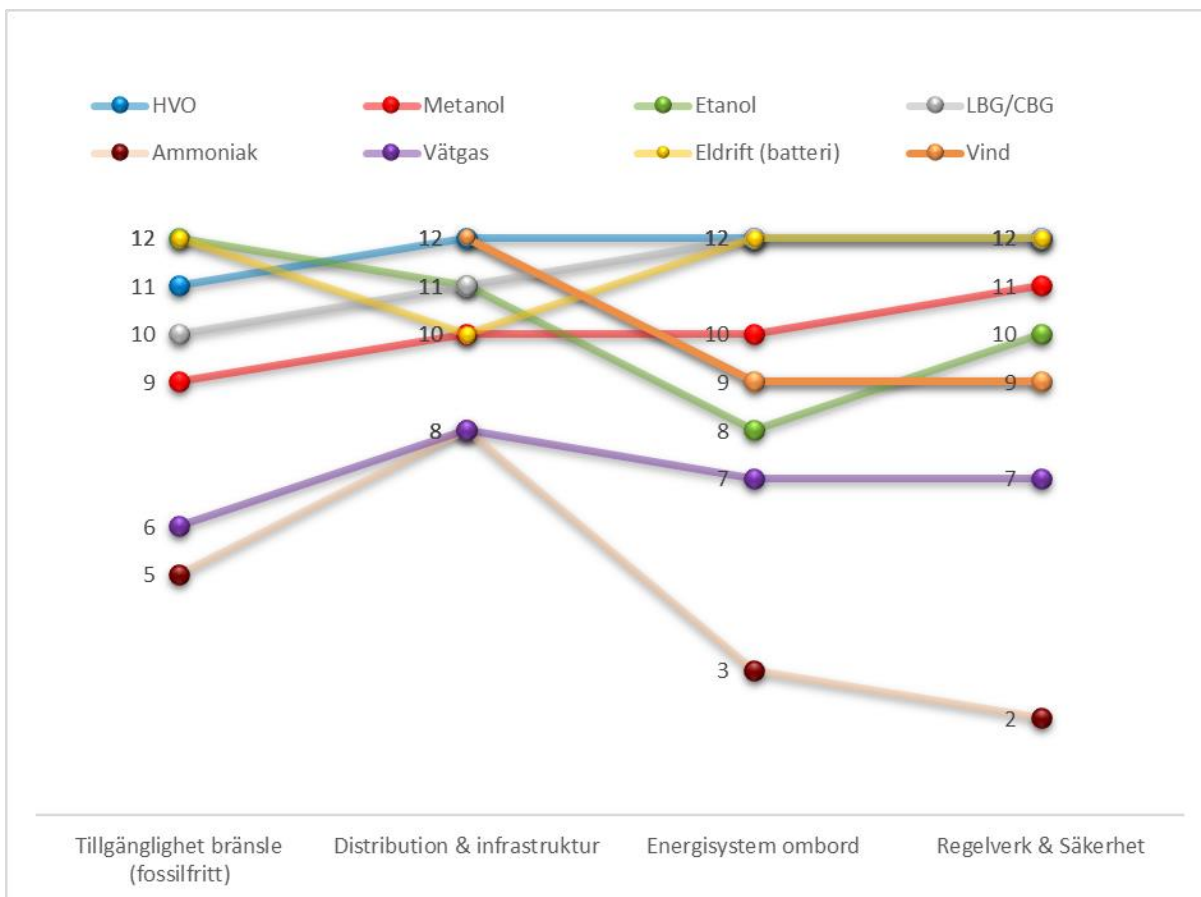
Figur 2.6 Klimatpåverkan för respektive bränsle. Klimatpåverkan varierar beroende på produktionsätt, råvara och beräkningsmetod. Figuren redovisar ett högt respektive lågt värde för bränslena. För landström motsvarar värdet 0 grön el och den orangea stapeln baseras på en svensk elmix. 0-värdet för vätgas och ammoniak är det teoretiska värdet vid framställning från grön el.

Tabell 2.3 visar en sammanställning av verkningsgrader för olika motor- och energigeneratorer för respektive bränsle. Tabellen omfattar också ett intervall av beräknad reduktion av klimatpåverkan för respektive konfiguration i jämförelse med en vid drift på eldningsolja. Ammoniak omfattas inte av tabellen eftersom det saknas tillförlitliga data avseende verkningsgrad.

Tabell 2.3 Sammanställning av verkningsgrader (Trafikverket, 2018) och klimatpåverkan för olika typer av motorer och energigeneratorer samt bränslen. Reduktion av klimatpåverkan har beräknats jämfört med eldningsolja

	Motor typ o energigenerator	Bränsle	Verkningsgrad	g CO _{2e} /kWh bränsle	g CO _{2e} /kWh propeller	Reduktion klimatpåverkan
Mekanisk framdrivning	Gasmotor (metan) gnisttänd	CBG/LBG	32% -41%	20,8 - 184,5	49,92 - 571,95	93% -41%
	Metanolmotor gnisttänd	Metanol	33% - 39%	9,9 - 64,98	25,74 - 194,94	96% - 80%
	Metanolmotor kompressionstånd	Metanol MD95	36% - 45%	9,9 - 64,98	21,78 - 181,94	97% - 81%
	Etanolmotor kompressionstånd	ED95	32% - 42%	27 - 130	64,8 - 403	91% - 58%
	Dieselmotor	HVO	36% - 44%	47,6 - 172,8	109,48 - 483,84	84% -50%
		Diesel MK1	36% - 44%	342,4	787,4 - 958,6	1% - 1%
Eldningsolja 1	36% - 44%	299 - 346,5	687,7 - 970,2	0%		
Elektrisk framdrivning	Batteri	Landström	83% - 90%	0 - 47,16	0 - 56,592	100%–94%
	Bränslecell	Vätgas	40% - 44%	0 - 32,76	0 - 81,9	100% - 92%
	Diesलगenerator	HVO	29% - 40%	47,6 - 172,8	119 - 587,52	83% - 39%
	Metanolgenerator	Metanol MD95	29% - 41%	9,9 - 64,98	23,76 - 220,9	97% - 77%
	Biogasgenerator	CBG/LBG	26% - 37%	20,8 - 184,5	56,16 - 701,1	92% - 28%

Mognadsgraden för respektive bränsle har bedömts för fyra parametrar; tillgänglighet bränsle, distribution & infrastruktur, energisystem ombord samt regelverk och säkerhet. Skalan för bedömning är baserad på den niogradiga skalan TRL-skalan (Technology Rediness Level) för produkter (Energimyndigheten, 2020). För att differentiera bränslen som alla har uppnått nivå nio men där det bedöms finnas skillnader avseende i vilken omfattning tekniken och bränslet är beprövat har skalan utökats med ytterligare tre nivåer, upp till tolv. Figur 2.7 visar ett diagram med bedömd mognadsgrad på de fyra parametrarna för respektive bränsle. Bilaga 1 redovisar motivering och förklaring för respektive bedömning.



Figur 2.7 Bedömd mognadsgrad för alternativa bränslen.

Tabell 2.4 visar en sammanställande jämförelse av analyserade bränslen.

Av de identifierade och utvärderade bränslena är det bara HVO som direkt kan ersätta dagens bränslen utan att medföra en högre vikt och/eller bli mer platskrävande, förutsatt att samma mängd energi ska kunna lagras ombord för att kunna upprätthålla dagens räckvidd. Eftersom HVO antas kunna användas i konventionella marina dieselmotorer utan modifieringar medför detta alternativ inte heller några tillkommande investeringskostnader. Samtliga övriga bränslen antas medföra högre installations- och investeringskostnader.

De fossilfria bränslena är alla, med undantag för el, avsevärt mycket dyrare än eldningsolja och diesel. HVO kostar exempelvis mer än dubbelt så mycket. Dagens priser för så väl fossilfri metanol som etanol levererat med tankbil för bunkring är ca 3 gånger så höga jämfört med eldningsolja och diesel. Av de utvärderade bränslen, och med el undantaget, är bränslepriset lägst för LBG och CBG. För att få en effektiv distributionskedja i fall där bunkervolymerna per bunkring är relativt liten kan det krävas en mellanlagringstank på kajen och infrastrukturkostnaderna kan då bli relativt höga. Mellanlagring av CBG eller LBG bedöms medföra högre kostnader än mellanlagring av metanol eller etanol.

Tabell 2.4 Jämförande sammanställning av alternativa bränslen.

		Konventionella		Dieselsubstitut	Alkoholer		Gasformiga				
		Eldningsolja 1 E10	Diesel Mk1 (0% bioinblandning)	HVO	Metanol	Etanol	Biogas	Ammoniak	Vätgas	Elektricitet (batterier)	Vind
Fysikaliska egenskaper	Energiinnehåll (kWh/kg)	11,9	11,9	12,1	5,6	7,8	13,3	5,2	33,3	0,1	-
	Densitet (kg/m ³)	840	818	780	795	795	LBG: 440 CBG: 160	Flytande: 603	Flytande: 71 Komprimerad gas: 17,5	1 500	
	Energitäthet (kWh/m ³)	10 010	9 770	9 450	4 417	6 183	LBG: 5 867 CBG: 2 136	Flytande: 3 116	Flytande: 2 367 Komprimerad gas: 583	100	
Klimatpåverkan (g CO ₂ e/kWh)		346,5	287,5	47,6 - 172,8	9,9 - 64,98	27 - 130	20,8 - 184,5	65,9 - 163 Producerad från förnybar el: 0 (teoretiskt)	32,8 Producerad från förnybar el: 0 (teoretiskt)	Förnybar el: 0 Svensk elmix: 46,8	
Mognadsgrad	Tillgänglighet bränsle	12	12	11	9	12	10	5	6	12	-
	Distribution och infrastruktur	12	12	12	10	11	11	8	8	10	12
	Energisystem ombord	12	12	12	10	8	12	3	7	12	9
	Regelverk och säkerhet	12	12	12	11	10	12	2	7	12	9
	Bedömd sammanlagd mognadsgrad 2020	12,0	12,0	11,8	10	10,25	11,25	4,5	7	11,5	10

	Bedömd framtida utveckling 2030 - 2040	-	-	Teknik för HVO är mogen. Hög efterfrågan på biodiesel medför högt pris. Teknikutveckling kan på sikt medföra tillgänglighet av ny typ av e-diesel.	Mognadsgraden förväntas öka. Utveckling av samtliga parametrar pågår.	Det pågår ingen omfattande utveckling av etanolmotorer. I prognoser avseende framtida fartygsbränsle spås etanol inte användas i betydande omfattning.	Tekniken för LBG är mogen. Teknik för produktion av bränsle finns, och utveckling av nya metoder pågår. Fler anläggningar för förvätskning av biogas krävs för att öka tillgängligheten på LBG.	Forskning och utveckling pågår. Ammoniak förutspås användas i betydande omfattning kring 2040. Dock främst för större oceangående fartyg.	Projekt med mindre fartyg pågår vilket antas leda till högre mognadsgrad för energisystem ombord. Tillgången på grön vätgas förväntas öka.	Ökad elektrifiering av fordonsflotta kan medföra förstärkning av elnätet, och därmed bättre möjligheter avseende distribution och infrastruktur.	Flera pågående projekt för utveckling av teknik, vilket förväntas öka mognadsgraden för vissa tekniker.
Komplexitet och applicering	Enkel konvertering	-	-	X							
	Konvertering vid LTF	-	-	X	X	X	X			X	X
	Vid nybyggnation	-	-		X	X	X	X	X	X	X
Kostnader	Investerings- och installationskostnader (jmf konventionell drift med eldningsolja)			Låga, inga modifieringar	Medel	Medel	Höga	Höga	Höga	Höga	Höga
	Bränslekostnader (SEK/kWh)	0,400	0,479	1,027	1,430	1,461	LBG cert.: 0,641 CBG: 1,3 – 1,8	1,273	2,7	0,418	-
				Bunkerleverantör	Pris från producent/distributör inkl transport	Pris från producent inkl transport	Från bunkerleverantör. Avser dock endast certifikat för LBG (ej LBG)/CBG: Pris inkl. distribution av LBG och anläggning för förgasning.	Produktionskostnad för grön ammoniak	Pris vid tankning (grön)	Pris inklusive skatteåterbetalning på 0,5 öre/kWh	

	Underhållskosten (jmf konventionell drift med eldningsolja)	-	-	Något minskande	Liknande - något minskande	Liknande - något minskande	Liknande	Osäkert Förväntas minska med bränsleceller	Osäkert Förväntas minska med bränsleceller	Minskande	Osäkert
	Infrastruktur-kostnader			Låga	Medel (tank för mellanlagring)	Medel (tank för mellanlagring)	Medel (tank för mellanlagring)	Medel (tank för mellanlagring)	Höga (mellanlagring av kryogen H2, alt. mellanlagring av CH2 samt förvätskningsanläggning)	Låga - medel (Eventuellt behov av förstärkning av elnät samt etablering av laddstation)	Låga
	Framtida kostnads-utveckling			Ökande	Sjunkande	Stabil	Stabil	Sjunkande	Sjunkande	Sjunkande	Sjunkande
				Tekniken utvecklad, ev. uppgång på bränsle pga ökad efterfrågan	Produktionskostnaderna för fossilfri metanol kan förväntas gå ner om produktionen ökar. Även investeringskostnaderna kan gå ner i framtiden när motorer för metanol har utvecklats.	Etanol produceras redan i stor skala och bränslepriserna förväntas därmed vara relativt oförändrade.	Tekniken utvecklad.	Utveckling pågår, kan medföra sänkta kostnader för både investering och bränsle i framtiden	Utveckling pågår, kan medföra sänkta kostnader för både investering och bränsle i framtiden	Utvecklingen av batterier har medfört lägre kostnader, utvecklingen kan förväntas fortsätta.	Teknik under utveckling som kan medföra lägre kostnader i framtiden.
Emissioner	SOx			0	0	0	0	0	0	0	0
	NOx	Kräver efterrening för Tier III	Kräver efterrening för Tier III	Kräver efterrening för Tier III	Reducerade utsläpp jmf eldningsolja. Beroende på motortyp kan Tier III utan efterrening uppfyllas	Beroende på motortyp kan Tier III utan efterrening uppfyllas	Otto-motorer klarar Tier III utan efterrening. Diesel-motorer kräver efterrening	Höga kräver efterrening. Även utsläpp av N2O samt NH3 (förbränningsmotor).	Ingen efterrening krävs 0 med bränsleceller	0	0
	Partiklar	Högre än diesel		Minskar jmf diesel	Minskar jmf diesel.	Minskar jmf diesel.	Minskar jmf diesel.	Minskar jmf diesel.	Minskar jmf diesel 0 med bränsleceller.	0	0

3 Identifiering av energibesparande åtgärder

I detta avsnitt identifieras åtgärder som kan minska energibehovet, och därmed minska utsläppen av växthusgaser.

Identifiering av åtgärder har gjorts generellt och åtgärderna är applicerbara för att minska energibehovet för många av de fartygstyper som omfattas av Kustbevakningens och Sjöfartsverkets flottor. Potentiell inverkan av åtgärderna har studerats specifikt för KBV001-S, KBV031-S, KBV312-S och nytt miljöskyddsfartyg.

Analys av driften för respektive fartygsserie samt mer specifika och omfattande åtgärder presenteras i följande kapitel.

- KBV 001-S - kap 4.1
- KBV 031-S - kap 4.2
- KBV 312-S - kap 4.3 - Något utökat då livstidsförlängning ej ingår i uppdraget
- Nytt miljöskyddsfartyg - kap 5
- Livstidsförlängning KBV 001-S - kap 6
- Livstidsförlängning KBV 031-S - kap 6

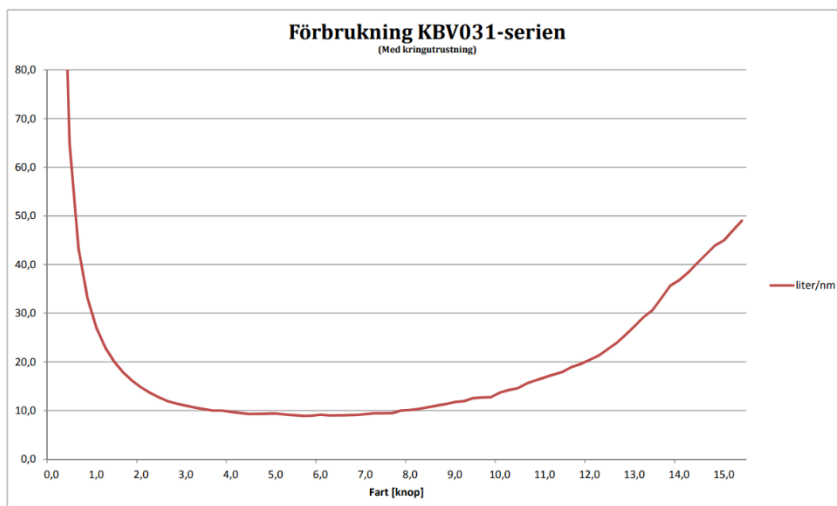
Övergång till annat bränsle än fossil dieselolja har störst potential att minska klimatavtrycket från Kustbevakningens flotta. Sekundärt är energibesparing en viktig komponent. Dels för att ytterligare minska klimatavtrycket men också för att minska förbrukningen och därmed bränslekostnader.

3.1 Energibesparing genom operationella åtgärder

Kustbevakningens fartyg är generellt högt specificerade med avancerade tekniska lösningar som möjliggör energieffektiv drift, men också icke energieffektiv drift med felaktigt handhavande eller om fartyget används till att lösa en uppgift som det ej är specificerat för. Detta ställer stora krav på kompetens, fortbildning och beskrivning av fartygen och systemen för att de ska nyttjas på ett klimatsmart sätt.

3.1.1 Marschfart - Framdrivningseffekt

Det finns stor potential att minska bränsleförbrukningen för befintliga fartyg genom att fartygen opereras vid lägre hastigheter. Exempelvis förbrukar KBV031-S omkring fyra gånger mer bränsle i dryg 15 knop jämfört med 10 knop även om hastigheten bara är 55 % högre. Nedan visas loggad data av bränsleförbrukning från provturer med fyra huvudmotorer igång.



Figur 3.1 Bränsleförbrukning från KBV031:s provturer

3.1.2 Lösande av uppdrag med energieffektivare enhet

Kustbevakningen har en väldigt diversifierad flotta med allt från små arbetsbåtar till relativt stora KBV001-serien. Även inom de olika storleksklasserna finns fartyg med olika kapacitet och fartprestanda anpassade för olika driftprofiler och uppdrag.

Kustbevakningens diversifierade flotta ger möjligheter till energibesparing på en högre nivå. Att använda rätt enhet till uppdraget har i många fall stor potential att spara bränsle även om det finns vissa fallgropar. Till stor del görs redan detta inom Kustbevakningen. Några exempel:

- En däcksbåt eller vattenskoter skickas i förväg vilket gör att moderfartyget kan antingen gå med lägre fart eller ligga kvar till dess att det konstaterats att de behövs.
- En mindre enhet löser hela uppdraget
- En obemannad enhet t.ex. drönare löser uppdraget

Möjliga fallgropar:

- Fartyg, framför allt planande, kör runt med tunga däcksbåtar och skotrar vilket leder till en ökad bränsleförbrukning.

3.1.3 Stillaliggande

Studie av driftdata från Kustbevakningens fartyg och båtar visar att fartygen har en mycket stor del av sin drifttid på motorer vid stillaliggande. Dels till kaj och dels till sjöss där fartygen hålls i position med framdrivningsmaskineri istället för att ankra upp. Exempel på detta studeras nedan i avsnitten som behandlar energibesparingsmöjligheterna på KBV312-S och KBV031-S. Driften till kaj består främst av drift med generatoraggregat för elgenerering men också drift med motorer för drivning av hydraulsystem. För de större fartygen drivs hydrauliken till kaj primärt med generatoraggregat men för mindre fartyg så som KBV312-S används en av huvudmotorerna.

3.1.4 Utbildning och erfarenhetsutbyten

Som nämndes ovan är Kustbevakningens fartyg generellt högt specificerade vilket ställer höga krav på besättningarnas kompetens. Det är alltså av stor vikt att hålla beskrivningar och rutiner uppdaterade samt att besättningarna kontinuerligt fortbildas.

Ett tydligt exempel på komplexiteten är KBV201-S framdrivningsmaskineri och tillhörande bränsleförbrukning, se nedan. KBV201-S har ett fader- och sonarrangemang med två fadermotorer för medelhög fart och två son-motorer för lågfart och boost. Data i Tabell 3.1 nedan är ett utdrag ur leveransproverna och visar endast ett urval av möjliga driftmoder. Tabell 3.1 visar att förbrukning kan skilja sig väsentligt åt i samma fart men med olika motorer och propulsorer i drift. I 10 knop blir förbrukningen 30 % lägre med en fader-motor i drift och den andra propellern flöjlad, jämfört med att köra båda son-motorerna på båda propulsorerna. I 16 knop däremot erhålls en 25 % högre förbrukning med en fader-motor i drift och den andra propellern flöjlad, jämfört med att köra på båda fadermotorerna och båda propulsorerna. En annan parameter att ta hänsyn till är att slitaget generellt ökar vid låg last. Vanligen finns begränsningar för hur länge motorer får nyttjas vid låg last. Exemplet visar på behovet av tydliga och tillgängliga driftinstruktioner och utbildningar.

Tabell 3.1 Bränsleförbrukning för KBV201-S vid olika driftmodeller.

Fart [kn]	Fader-motorer [#]	Son-motorer [#]	Effekt [kW]	Specifik bränsleförbrukning [g/kWh]	Bränsleförbrukning [kg/h]	Bränsleförbrukning [l/nm]	Anmärkning
21	2	2	5200	205	1066	60,4	
16	1	0	1844	206	380	28,3	En propeller flöjlad
16	2	0	1487	205	305	22,7	
10	1	0	353	207	73	8,7	En propeller flöjlad
10	0	2	491	210	103	12,3	
5	2	0	243	210	51	12,1	
5	0	1	243	210	51	12,1	En propeller flöjlad

Det är också viktigt att använda och sprida kunskapen inom organisationen. Forum för erfarenhetsutbyten är en viktig komponent för att fånga upp driftserfarenhet som sedan kan utvärderas och implementeras på relevanta enheter i flottan.

3.1.5 Mätning och uppföljning

Många, framförallt större, rederier arbetar med mätning och uppföljning av driften för att minska energiförbrukningen. Mätningarna används dels för att premiera prestation men också för att detektera tekniska avvikelser.

Ett flertal rederier har haft stor framgång med bränslemätningssystem som verktyg i sina mål att minska förbrukning. Ett bra exempel på nyttan med mätning och uppföljning är Styröbolaget. Styröbolaget började använda tekniken 2012 och har sett reducerad bränsleförbrukning mellan 15 – 30 % på hela sin flotta. Styröbolaget har en sammanlagd förbrukning av ca 3000 m³ diesel per år. Även Trafikverket har använt system ombord på sina färjor och sett en minskning av förbrukningen på ca 20 %. Även rederier med mindre flexibel drift och med mindre andel manövrering rapporterar stora bränslebesparingar med bränslebesparingsystem. Fjordlines Bergensfjord jämför bränsleförbrukning för maj 2018 med maj 2019 och ser en minskad förbrukning med knappa 7 %.

Att minska förbrukningen sker inte enbart genom att mäta och följa upp den. Vid införandet av sådana här system bör också personal utbildas i sparsam körning, för att kunna köra snålt och undvika operationer som förbrukar mycket bränsle.

Utöver funktionen att få en överblick och uppföljning av en flottas bränsleförbrukning kan ett bränslemätningssystem användas för planering av eventuella åtgärder i ett fartygs energisystem. Genom att mäta ett fartygs operationer i mer detalj kan man få detaljerad information av hur energin används ombord, både till storlek och fördelad över tid. Med sådan detaljerad information kan man på ett mycket bättre sätt planera för en ny fartygstyp eller modifiering av existerande fartygstyp. Vid elektrifiering av färjor i kollektivtrafik har bränslemätningssystem utgjort ovärderliga verktyg vid dimensionering av nya batterisystem.

Fartygsdriften i ovan nämnda rederier skiljer sig åt mot den för Kustbevakningen, men det är rimligt att anta att liknande åtgärder skulle få god effekt. Hur stor effekten blir är mycket svårt att uppskatta, särskilt som få fartygsindivider står för en stor andel av flottans förbrukning. Nedan visas den årliga förbrukningen för Kustbevakningens större fartyg och tillhörande bränslebesparing med en reduktion om 15 %. En 15-procentig reduktion för de tio största fartygen skulle generera en besparing om 3,1 mnkr vid ett bränslepris om 5 kr/liter. Det är med andra ord troligt att en investering i mätning och uppföljning för Kustbevakningens större fartyg skulle få en relativt kort återbetalningstid. Studien har inte påvisat något annat än att de fartyg och fartygsserier med hög förbrukning bör prioriteras för ett eventuellt införande av bränslemätningssystem.

Tabell 3.2 Bränsleförbrukning och antagen bränsleminskning för KBV:s fartyg, data för 2018

Fartygsnamn	Årlig förbrukning [m ³]	15 % reduktion [m ³]
KBV001	853	127
KBV002	702	105
KBV003	861	129
KBV031	206	31
KBV032	211	32
KBV033	233	35
KBV034	228	34
KBV181	316	47
KBV201	265	40
KBV202	265	40
Övriga större fartyg (20st)	1019	153
Total		773

Utöver fartygen ovan finns även ett femtiotal mindre fartyg i Kustbevakningens flotta med en gemensam förbrukning om ca 300 m³ per år.

3.1.6 Automatisering - inte alltid lösningen

Automatiserade system ombord på fartygen kan ge bränslebesparingar. Exempel på automatiserade system är automatiska start och stopp av motorer vid losskastning och angöring samt automatisk styrning av belysning och ventilation vid olika driftsmoder.

Automatisering kan vara mycket kraftfullt när det fungerar. Så är dock inte alltid fallet. Orsakerna kan vara många. Automation kan bli för omfattande och dyr att implementera och programmera för olika driftmoder. Funktionerna kan bli för komplexa, med för många parametrar och driftfall. Lösningen i dessa fall kan vara skriftliga rutiner och checklistor. Skriftliga rutiner och checklistor blir också ett bra sätt att sprida kunskap och erfarenhet mellan fartyg i samma serie och i hela flottan.

3.2 Skrov

3.2.1 Skrovpåväxt

Påväxt på skrov kan kraftigt öka bränsleförbrukningen för ett fartyg. Många kommersiella rederier övervakar bränsleförbrukningen och/eller framdrivningseffekten kopplat till farten. Genom att analysera trender kan beslut om skrovrengöring eller tidigareläggning av dockning tas. Det finns ett flertal alternativ för att minska påväxten och för att rengöra skrov. Vilket alternativ som är lämpligast för ett fartyg är beroende både av fartygstyp och geografisk placering.

3.2.2 Skrovmonterad utrustning

Utrustning på undervattensroppen genererar ett ökat motstånd. Detta gäller exempelvis roder, bogtunnlar och ekolod. För studerade fartyg gäller att god hänsyn tagits till detta redan i designarbetet.

3.2.3 Displacement

Det finns en direkt koppling mellan fartygets displacement och bränsleförbrukningen. För planande fartyg och båtar ökar bränsleförbrukningen kraftigt i hög fart med ökat displacement. För KBV312-S gäller, med nuvarande displacement och driftprofil, att 1 ton ökat displacement ökar bränsleförbrukningen med ca 2,5 l/h. 2,5 l/h kan tyckas lite men antaget 800 gångtimmar per år och fem fartyg blir det 10 m³ bränsle per år.

Mot bakgrund mot detta rekommenderas att värdera vilken utrustning, mängd bränsle, vatten o.s.v. som finns ombord för respektive uppdrag.

3.3 Hotellast

Detta avsnitt behandlar elgenerering och förbrukning annan än framdrivning. För det fall el distribueras från land till fartyget antas denna för studien vara klimatneutral.

3.3.1 Elgenerering ombord

Primärt används generatoraggregat för att täcka hotellasten eller hjälpkraftsförbrukningen till sjöss. För dieselelektriska fartyg är generatoraggregaten de samma som används för framdrift och för hjälpkraft. Dock finns oftast även mindre aggregat för att minska den specifika bränsleförbrukningen när elkraftsbehovet är lägre, vilket det generellt är till kaj eller till ankars.

Även på fartyg med konventionell framdrivning finns det ofta möjlighet att använda huvudmotorerna till att generera elkraft. Detta genom att installera, om det inte redan finns, generatorer på kraftuttag (PTO - Power Take Out) på motorn eller genom kraftuttag på växel, om sådan finns. Genom att utnyttja dessa PTO kan belastningen på framdrivningsmaskineriet ökas, istället för att använda separata generatoraggregat, och på så sätt minska den specifika bränsleförbrukningen.

Hydraulgeneratorer som drivs via hydraulsystem kommer i stort sett i alla driftfall generera elkraft med en lägre totalverkningsgrad jämfört med ett konventionellt generatoraggregat. Möjligen skulle det finnas fall där en hydraulgenerator skulle kunna öka belastningen på en motor så att den tas ur

området där NO_x-reducerande system inte är aktiva och därmed göra nytta. Det finns också möjligheten att minska underhållskostnader på liknande sätt som med direktdrift på PTO.

För el och el-hybridiserade fartyg finns möjligheten att lagra energi genererad ombord. Detta öppnar för möjligheten att lastutjämna belastningen på generatoraggregaten. Framför allt kan det finnas en möjlighet att reducera antalet generatoraggregat i drift samt undvika låglast med tillhörande hög specifik bränsleförbrukning.

För ett fartyg som laddas med landström finns möjligheten till klimatneutral drift. Dock finns risken att möjligheten till laddning av batterierna till sjöss skapar en negativ klimateffekt. Konverterings- och lagringsförlusterna tar i många fall ut vinsten med högre belastning och tillhörande sänkning av specifik bränsleförbrukning. Ett landanslutet fartyg bör lämna kaj med väl laddade batterier och förtöja med så låg laddnivå som möjligt, utan att skada batterierna, förutsatt att all energi som förbrukats varit nyttoenergi.

3.3.2 Belysning

Belysning utgör oftast en inte försumbar del av hotellasten. Med relativt enkla åtgärder kan energiförbrukningen från belysningen på de flesta fartyg sänkas kraftigt. Följande åtgärder bör värderas:

- Byte till LED-belysning
- Närvarostyrning
- Nattläge – då fartygen har många timmar till kaj finns stor potential att delvis släcka ner fartygen nattetid då verksamheten är mycket begränsad. Detta är en form av manuell närvarostyrning

Ett exempel på effekterna av ovan åtgärder är isbrytaren Ymer där ca 500 armaturer ersattes, de som sitter i maskin har central närvarostyrning andra tider än dagtid, övriga områden som mässar korridorer och offentliga ytor har adaptiv närvarostyrning. Resultatet blev en sänkt årsförbrukning från 261 644 kWh/år till 15 503 kWh/år, en sänkt förbrukning om 94 %.

3.3.3 Pumpar

En stor källa till energiförbrukning är pumpar. Detta gäller särskilt för de större av studerade fartyg. Pump-systemen är dimensionerade för max behovet vilket sällan eller aldrig inträffar. Behovsstyrda system ger stora besparingar. Goda erfarenheter finns inom både Kustbevakningen och Sjöfartsverket kopplat till reglering av pumparnas varvtal samt ersättning av shuntventiler med reglerade pumpar.

3.3.4 Landström

Landström kan vara ett kraftfullt sätt att minska klimatpåverkan av ett fartyg. Särskilt för fartyg som ligger till kaj stora delar av året vilket Kustbevakningens fartyg gör. Detta förutsätter dock att kapacitet finns och att elen är "grön". Den svenska elmixen är långt ifrån klimatneutral. Enligt energimyndigheten skall 47 g CO₂/kWh användas (Energimyndigheten, 2019).

KBV002 är det fartyg i Kustbevakningen som har störst förbrukning på sin landanslutning, 426 MWh/år. Växthusgasbesparingar genom användande av grön el vid landanslutning bedöms som god, se exempel i Tabell 3.3.

Tabell 3.3 CO₂-utsläpp vid kaj för KBV002 med olika energikällor.

Energikälla	g CO ₂ ekv. /kWh bränsle	CO ₂ ekv. / 426 MWh
Diesel	287	244 ton*
HVO	32	28 ton*
Landström (Svensk energimix)	47	20 ton
Landström (Grön el)	0	0 ton

*Dieselgenset - verkningsgrad 50 %

3.3.5 Begränsad överföringskapacitet

Fartygens landanslutningar är generellt kraftigt begränsande och hindrar en snabb minskning av klimatavtrycket. Landanslutningarna för de större fartygen är generellt inte dimensionerade för att hantera de el-effekter som krävs för att driva tyngre utrustning, uppvärmning, kyla samt ventilation till kaj. De större fartygen har elpannor installerade som skulle kunna ersätta uppvärmning som idag görs med oljeeldade pannor om överföringskapacitet och infrastruktur fanns på plats. KBV031-S har exempelvis en el-panna som har kapacitet att värma fartyget större delen av året.

Faskompensering

Då en delösning för en mer klimatsmart drift av Kustbevakningens fartyg är ökat nyttjande av elektrisk landanslutning kommer många fartyg i flottan förr eller senare slå i taket vad gäller kapaciteten i landanslutningen. Beroende på fartygens placering och förhållanden ombord kan det vara mer eller mindre komplicerat och kostsamt att utöka kapaciteten.

Vid begränsningar i överföringskapacitet i landanslutningar kan faskompensering vara ett alternativ. Faskompensering är metoder i ett växelströmssystem för att minska den reaktiva effekt som anslutna laster ger upphov till genom att lasterna orsakar fasskillnad mellan spänning och ström. Den reaktiva effekten är effekt som inte förbrukas av den anslutna lasten utan sänds tillbaka till växeleffektkällan. Sändandet och mottagandet av reaktiv effekt ger överföringsförluster och de reaktiva strömmarna reducerar elkraftsledningarnas kapacitet att överföra nyttig effekt.

KBV002 är försett med landströmsfilter vilket möjliggör en ökad överföringskapacitet om ca 10-15 %. Det skall dock tilläggas att kostnaderna för denna typ av installationer är i storleksordningen flera hundra tusen kronor och skall ses som en nödlösning.

3.4 HVAC

HVAC infattar värme, ventilation och kyla. För Kustbevakningens fartyg utgör dessa system en betydande del av energiförbrukning både i form av bränsleåtgång för uppvärmning och elförbrukning för värme, ventilation och kyla. Det finns stor potential att sänka klimatavtrycket från dessa system, särskilt som fartygen ligger till kaj en majoritet av tiden över året.

3.4.1 Effektivt klimatskal

Sänkt behov av kyl- och värmeeffekt sänker driftskostnaderna. En sänkning av detta behov åstadkoms främst genom ett bättre klimatskal mellan klimatzonen ombord och det yttre klimatet.

Fartyg är jämfört andra konstruktioner relativt dåligt isolerade. Anledningarna är flera; materialval, viktbegränsningar, utrymmesskäl och komplexitet i konstruktionen. Det finns garanterat möjlighet att spara energi genom att se över isolering av fartyg och system. Eventuella åtgärder skall då förutom kostnad/effekt också värderas mot den tillförda vikten. Detta är särskilt viktigt för planande fartyg.

Fönster, framför allt på manöverbryggor, är en stor källa till energiförbrukning. Dels har de ofta dåliga isolervärden om annat inte specificerats vid byggnationen. Vidare är ytorna oftast stora vilket gör att solinstrålningen blir stor. För att minska solinstrålningen bör solfilm applicerat på rutornas utsida där regelverk tillåter. Solgardiner på insidan hjälper till viss del men solfilm på utsidan är avsevärt mer effektivt. Vidare bör särskild hänsyn tas till rutors placering, vinklar samt skärmning när större ny- och ombyggnationer genomförs.

Ett aktuellt exempel på ett bristfälligt klimatskal är KBV201-S brygga. Vid byggnationen tillät regelverket inget annat än enkelglas i styrhyttsrutorna. Därför har dessa ett mycket dåligt U-värde. En transmissionsberäkning för KBV201-S brygga visar att fönstren står för ca 70 % av värmebehovet på bryggan. Vid -15°C är värmebehovet knappt 9 kW. Med installation av moderna flerglasfönster likt de som finns på KBV001-S och KBV031-S reduceras värmebehovet till knappt 4 kW.

Det är inte ovanligt att dålig isolering används som metod för att hålla en yta isfri. Detta är en simpel men inte energieffektiv metod.

3.4.2 Onödig uppvärmning av utrymmen

Det är relativt vanligt förekommande att utrymmen ombord värms upp i onödan eller onödigt mycket. Oftast handlar det om förråds- eller apparat-rum. När det gäller däcksförråd och liknande så är de också oftast mycket dåligt isolerade vilket innebär en stor energiåtgång för att värma upp utrymmet.

Ibland är det även så att utrymmen värms upp mycket på grund av fukt i utrymmet. I de fallen kan det vara värt att värdera om det är avfuktning/torr luft som behövs istället.

3.4.3 Reducerat ventilationsbehov

Mängden friskluft till respektive utrymmen i ett fartygs inredning dimensioneras för det antal personer som normalt vistas där. Detta även om besättningen inte fyller upp alla utrymmen hela tiden. Till exempel är mässen dimensionerad för besättningens storlek och förses med friskluft därefter men samtidigt förses hytterna med friskluft för samma besättningsmedlemmar. Moderna ventilationssystem har möjlighet att styra friskluftstillförseln till utrymmen baserat på om det finns personer i rummet och/eller via mätning av CO_2 -halt. Vid moderniseringar av ventilationsanläggningar bör denna teknik värderas. Detta gäller särskilt konferensrum, mässar och hytter där behoven varierar kraftigt över tid.

Det är ofta kravställt att friskluftsflödet skall vara 100 %, det vill säga ingen recirkulation. Eftersom det är energikrävande att antingen kyla ner friskluften på sommaren eller värma den på vintern ger det en stor energibesparing att reducera detta behov.

3.4.4 Reducerat luftflöde

Utöver behovet av friskluft finns det också ett luftflödesbehov för att temperera respektive utrymme. Genom att reducera flödet av friskluft till den mängd som krävs för antalet personer och använda recirkulerad luft för temperering, i de utrymme där tempereringsflödet vida överstiger friskluftsflödet, ges en stor energibesparing. Bryggan på ett fartyg är ett bra exempel. Om det är 5 personer på bryggan räcker det med $150 \text{ m}^3/\text{h}$ i friskluft men det kan behövas $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ eller mer för att hålla temperaturen på bryggan. Är det då minus 10 grader utombords behöver $150 \text{ m}^3/\text{h}$ värmas upp till 20 grader och $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ värmas från 20 grader till kanske 30 grader för att klara 20 grader på bryggan. Detta ger en besparing på 15 kW jämfört med om $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ skulle vara friskluft.

3.4.5 Energiåtervinning

Fartygen i studien är redan anpassade för att tillvarata spillvärme från huvudmotorer och generatoraggregat. Detta gäller dock inte generellt för Kustbevakningens fartyg. Spillvärme nyttjas

från motorernas HT-krets. Förutsatt att fartygens huvudmotorer är i drift bör rimligen spillvärmen täcka uppvärmningsbehovet vid majoriteten av driftfallen för studerade fartyg.

Det skall dock tilläggas att tillgänglig spillvärme väntas minska i framtiden när t.ex. batterier används för att täcka delar av framdrivningseffektbehovet. Då blir det intressant att vidare studera möjligheterna att återvinna spillvärme även från LT-krets. Vid bristande spillvärmemängd kan värmepump värderas. Avgaspannor kan värderas vilket är möjligt för större installationer men där finns också en risk för konflikt med avgasreningsinstallationer.

Vidare är det lämpligt att återvinna energin i ventilationsluften så att energin i avgående luft från fartyget överförs till inkommande uteluft. Detta genom återvinning på ventilationssystem. På KBV201-S sker detta idag genom en korsflödesvärmväxlare och på KBV001-S och KBV031-S sker detta genom roterande entalpvärmväxlare. En förutsättning för att kunna genomföra denna värmeåtervinning är att frånluft och tilluft möts i samma punkt. Sker inte detta innebär det stora ombyggnationer för att åstadkomma denna återvinning. Den bästa återvinningen är den som sker via en roterande entalpvärmväxlare. Den återvinner även kyla, genom att även överföra fuktigheten. Störst effekt ger detta på nybyggnation då installerad kyleffekt kan reduceras. Effekten är givetvis större för de fartyg som är kallare inombords än utombords, det vill säga drift i varmare klimat. Entalpihjul har möjlighet att återvinna upp till 80 % av värmen och 75 % av luftfuktigheten i ventilationssystemet.

För deplacerade fartyg med varierande tillgång till spillvärme kan ackumulatortankar användas för att jämna ut tillgången till värme och därmed minska drifttimmar på oljepannan. Dock blir en sådan installationen relativt tung i förhållande till mängden lagrad energi varför en noggrann driftanalys bör göras i varje enskilt fall och nyttan med installationen värderas mot det ökade deplacementet. Exemplet nedan visar ett antagande för en mindre installation om 1 m³ och möjlighet att nyttja ett delta T om 20 grader. Denna ackumulatortank kan då lagra 23 användbara kWh vilket t.ex. täcker KBV201-Ss uppvärmningsbehov i knappt 1,5 h vid -15 C.

Tabell 3.4 Exempel på 1m³ ackumulatortank på KBV 201S

Volym	V	1	m ³
Densitet	ρ	1000	kg/m ³
Delta T	dT	20	degC
Specifik värmekapacitet	C _p	4,2	kJ/kg*K
Värme	P	23,0	kWh

För större fartyg finns även möjlighet att generera elkraft med spillvärme. Verkningsgraden är relativt låg, runt 10 %, varför det endast är aktuellt att installera om det finns ett stort överskott av värme. Det krävs att det kontinuerligt finns ett överskott om ca 1 000–1 500 kW. Baserat på studerade fartyg skulle det möjligen kunna vara aktuellt på ett fartyg i KBV001- serien.

3.4.6 Extern värmekälla

För fartyg med förhållandevis många timmar till kaj över året blir det intressant att värdera landbaserad uppvärmning. Förutsättningarna avseende kostnad, teknisk realiserbarhet och prestanda varierar kraftigt mellan fartygen och stationerna varför det inte finns en lösning som är mest effektiv och passar alla.

3.4.7 Lågvärdig värme

Nackdelen med externa värmekällor, så som värmepumpar, är att vattentemperaturen som levereras är lägre än vad systemen ombord är anpassade för. I fallet med fartygen i denna studie bedöms dock förutsättningarna vara relativt goda. Detta då fartygen till viss omfattning har luftburen värme och golvvärme. För luftburen värme och vattenburen golvvärme finns grundläggande förutsättningar för att jobba med lägre vattentemperaturer även om anpassningen för luftburen värme kräver en större anpassning.

På uppvärmningssidan återstår då att hantera vattenradiatorer som inte blir särskilt effektiva vid låga vattentemperaturer. Här finns ett flertal olika lösningar att värdera utifrån fartygets förutsättningar. Följande lösningar ses som möjliga:

- Radiatorerna separeras från övriga värmesystemet och läggs i en separat slinga.
- Radiatorerna ersätts med flätkonvektorer
- I undantagsfall kan el-radiatorer eller elektriska fläktvärmare användas

Här bör varje fartyg och utrymme värderas utifrån förutsättningarna varför det är svårt att lämna en generell lösning för hela flottan. Det är rimligt att anta att framför allt enheter i södra Sverige har möjlighet att nyttja lågvärdig värme. Möjligen kommer inte hela effektbehovet täckas och i de fallen kan el-panna och/eller oljepanna användas för att täcka effekttopparna.

Tilläggs bör att det sker en utveckling på området som går relativt snabbt.

3.4.8 Värmepumpar

Värmepumpar har möjlighet att leverera högre värme eller kyleffekt än den el-energi som tillförs. Dessvärre varierar verkningsgraden med temperaturen och i ett energisystem med icke-fossilfri elkraft finns driftlägen där till och med en oljepanna blir mer miljövänlig. Olika tekniker och applikationer relaterat till fartyg redovisas nedan.

Värmepump jämfört med oljepanna

Förutsatt att samma bränsle eldas i oljepannan som i generatoraggregat kan följande exempel användas avseende verkningsgrad:

Tabell 3.5 Verkningsgrad för värmepump jämfört med oljepanna

Värmekälla	Verkningsgrad el	Verkningsgrad värmegenerering	Total verkningsgrad
Oljepanna	-	90%	90%
Värmepump	40%	225%	90%

Exemplet visar alltså att det krävs ett COP för värmepumpen över 2,25 för att energiförbrukningen skall vara lägre för värmepumpen än för oljepannan. Alltså är värmepumpen effektiv vid högre utetemperaturer men när temperaturen faller och uppvärmningsbehovet ökar blir uppvärmning med oljepanna väsentligt mer energieffektivt, så länge man inte använder landel.

COP-värdet mäts vanligen vid standardiserade förutsättningar. Nedan visas de vanligaste förhållandena för mätning av COP för olika värmepumpar:

- Luft-luftvärmepumpar - +20°C inomhus och +7°C utomhus
- Luft-vattenvärmepumpar - +35°C i framledning och +7°C utomhus
- Bergvärmepumpar (sjövärme, jordvärme) - +35°C i framledning +0°C från kollektorn

Dessvärre är +7°C utomhustemperatur inte en särskilt intressant siffra när man befinner sig i Sverige och är ute efter en värmepump som levererar vid minusgrader. SCOP-värdet är något mer rättvisande än COP-värdet. Särskilt om man får veta SCOP-värdet för den kalla zonen, men detta är tyvärr ovanligt. Samtidigt är den kallaste temperaturen som ingår i SCOP-värdet -7°C.

Luft-luft värmepump

Luft-luftvärmepumpar har den fördelen att de har låg vikt och i stort sett bara behöver förses med spänning och styrning. De är användbara om det finns utrymmen med bristfällig värme eller kylkapacitet på befintliga fartyg. Noteras bör att särskild hänsyn bör tas vid val av enhet och placering då den marina miljön är aggressiv. Nackdelen är att verkningsgraden är låg vid låga utomhustemperaturer när behovet är som störst. Elens klimatavtryck blir relevant då uppvärmningsalternativet skall ställas mot t.ex. oljepanna.

Luft-vatten värmepump

Luft-vattenvärmepumpar kan vara aktuellt som ett alternativ till fjärrvärme och bergvärme när det gäller landbaserade anläggningar. Hur kostnads- och energieffektivt det är jämfört med fjärrvärme och bergvärme beror mycket på lokala förutsättningar varför en generell rekommendation inte kan ges.

Vatten-vatten värmepump

Förutsatt att tillgänglig spillvärme från motorerna är tillräcklig för att täcka uppvärmningsbehovet, vilket allt tyder på för de studerade fartygen, så är vatten-vatten värmepumpen endast aktuell för nyttjande till kaj. För ett fartyg med elektrisk framdrivning, utan förbränningsmotorer i drift, blir förutsättningarna liknande som de till kaj.

En värmepump som arbetar med sjövattnen är teoretiskt sett mycket energisnål. Erfarenheter från drift i svenska vatten har dock visat på stora problem. Problemen är kopplade till att sjövattnet fryser. Frysrisken är direkt beroende av salthalten i vattnet och vattenflödet. Man blir alltså tvungen att arbeta med höga flöden och tillhörande energikonsumtion för att undvika frysning. Med temperaturövervakning bedöms dessa problem kunna undvikas men då behövs alternativ uppvärmning när det är för kallt för värmepumpen.

För det fall ett fartygs spillvärme från HT-kretsen inte är tillräcklig skulle det vara möjligt att installera en vatten-vatten värmepump på LT-kretsen för att på sätt växla upp temperaturen.

Vatten-vattenvärmepump kan värderas som alternativ för kajanläggningar och benämns då vanligen sjövärme.

Sammanfattning

En ombordbaserad värmepump kan värderas för följande fall:

- Fartygets spillvärme till sjöss täcker inte uppvärmningsbehovet
- För fartyg som ofta ligger på kajer med god tillgång till elektrisk landanslutning, förutsatt att överföringskapacitet till fartyget är tillgänglig
- Fartyget har ett utrymme så som t.ex. en brygga eller mäss med kapacitetsproblem avseende värme eller kyla
- Fartyget är inte viktskänsligt

3.4.9 Fjärrvärme

Fjärrvärme har den fördelen att framledningstemperaturen ligger betydligt högre än den för värmepump. Dock kan det vara så att framledningstemperaturen sänks sommartid.

Klimatpåverkan för värme producerad med fjärrvärme är i genomsnitt 59,2 g CO₂e/kWh i Sverige (Energiföretagen, 2020) vilket motsvarar en reduktion om 84 % jämfört med oljepanna med Eldningsolja 1. Viktigt att notera är att lokala förhållanden måste tas i beaktande. Klimatavtrycket för fjärrvärmens för de fartyg i Kustbevakningens flotta som idag är försörjda med fjärrvärme är betydligt lägre än genomsnittet i Sverige.

3.4.10 El-värme

El-pannor installeras primärt som back-up eller boost till oljeeldade pannor då verkningsgraden är sämre till sjöss när elen produceras med en förbränningsmotor. Verkningsgraden för en el-panna blir ca 40 % och för oljepannan är motsvarande siffra 90 %. Till kaj däremot, när elen anses fossilfri, blir klimatnyttan stor när elpannan används istället för oljepannan. Dock så blir verkningsgraden över året väsentligt lägre än för t.ex. en värmepump. Vidare är ofta den elektriska landanslutningen inte dimensionerad för att hantera de stora effekter som krävs för att värma ett fartyg. Elektrisk uppvärmning med el-panna/el-patron är ett alternativ när:

- Fartyget förtöjs i annan hamn där infrastruktur för värmeanslutning saknas
- Fartyget saknar möjlighet att ta emot värme från land
- Landbaserade anläggningens kapacitet inte täcker uppvärmningsbehovet
- Värmebehovet för fartyget, tillsammans med övrigt elkraftsbehov, inte överstiger den effekt som tillåts av landanslutningen

3.4.11 Kyla

Generellt förordas centraliserat kylmaskineri med distribution genom ett kylvattensystem. En luft-luft-värmepump kan vara ett alternativ för att hantera ett lokalt problem så som en mäss eller en brygga i fall det installerade systemet har kapacitetsbrist.

Frikyla är relativt nytt begrepp och det innebär att kylning sker utan kylmaskineri med värmeväxling mot havsvattnet. Detta kan enbart användas när havsvattentemperaturen är lägre än returvattnet i kyltvattensystemet. Det är ett mycket energieffektivt sätt att producera kyla på. System för frikyla finns idag installerat på exempelvis KBV031-S.

Vissa kommuner har system för fjärrkyla. Detta fungerar som fjärrvärme. Fartyget bör i framtiden kunna anslutas till fjärrkyla om det görs tillgängligt i hamn.

3.4.12 Ventilation

Då bemanning och fartygets användande varierar över året och mellan fartygsindividerna rekommenderas att genomlysas ventilationsbehovet i olika driftfall.

3.4.13 Maskinrumsventilation

Maskinrumsventilation är en stor förbrukare på ett fartyg men de fartyg som ingår i studien är så pass moderna att de antas vara försedda med fläkstyrning som reglerar fläktarna efter behov och därmed minimerar förbrukningen. Viktigt avseende maskinrumsventilation är också att det finns spjäll monterade som stängs när motorerna inte är i drift så att kallras undviks. I de fall där oljepannor inte är försedda med separat förbränningsluft gör deras placering i maskinrum att maskinrumspjäll hålls öppna med tillhörande kylning av maskinrummen vintertid.

3.4.14 Reducering av systemförluster

Förluster i värme- och kylvattensystem återfinns i alla system så även inom dessa studerade fartygsserier. Detta visades tydligt på KBV034 där man lyckades sänka energiåtgången för uppvärmning med runt 25 % efter översyn av systemen. Följande åtgärder bör värderas:

- Översyn av rörisolering där åtkomst finns eller där de kan antas vara stora
- Reglering av motorers förvärmning för att undvika onödigt höga temperaturer och associerade energiförluster
- Reglering/shuntning av vatten till motorernas värmeåtervinning vid stillaliggande för att undvika onödig uppvärmning av system och värmeväxlare

Tilläggs bör att energieffektivisering ibland leder till oönskade effekter så som ökat behov av uppvärmning i ett utrymme t.ex. maskinrum. Det lönar sig dock i stort sett alltid att ersätta värmebehovet med dedikerad och reglerbar uppvärmning.

3.4.15 Locked-ship

Locked-ship är en form av energisparläge som ett fartyg kan försättas i då det inte är bemannat. T.ex. är KBV031-S specificerad med denna funktion och rätt inställd och använd kan funktionen ge stora besparingar. Det går också att tänka sig varianter av locked-ship funktionen eller energispar-moder som används då fartyget är bemannat men ej till sjöss.

Följande funktioner är lämpliga att integrera i en locked-ship funktion:

- Tillåtande av temperaturvariationer både uppåt och neråt
- Minskning av friskluftsmängd
- Belysning släcks eller minimeras
- Nedstängning av icke behövda system
- Automatisk övergång till frikyla och ev. alternativ uppvärmning

3.5 Sammanfattning

I kapitlet har en mängd energieffektiviserande åtgärder redovisats. Många har redan helt eller delvis implementerats inom Kustbevakningen. Åtgärdernas effekter på respektive plattform och rekommenderade åtgärder belyses i efterföljande kapitel.

4 Analys av energibesparandeåtgärder; KBV 001-S, KBV 031-S och KBV 312-S

I följande avsnitt analyseras driften för i studien ingående fartyg och åtgärdsförslag anges för respektive serie.

Storleksskillnaden till trots så finns det ett antal gemensamma utmaningar och möjligheter. Dessa beskrivs ovan i kapitel 3. Vidare fartygsbeskrivning återfinns i efterföljande avsnitt för respektive fartygsserie:

- KBV 001-S
- KBV 031-S
- KBV 312-S

Mer omfattande åtgärdsförslag så som el-hybridisering av KBV001-S och KBV031-S återfinns i beskrivning över respektive livstidsförlängning (LTF) i kapitel 6.

4.1 KBV001-S

De tre fartygen i KBV001-S förbrukar årligen ca 3100 kbm bränsle tillsammans. Detta utgör 50 % av den totala förbrukningen för Kustbevakningens samtliga fartyg. Av denna anledning bör åtgärder på dessa fartyg rimligen ha störst möjlighet att sänka det totala klimatavtrycket.

De tre kombinationsfartygen KBV 001 Poseidon, KBV 002 Triton och KBV 003 Amfitrite kan ta hand om större volymer oljeutsläpp, nödbogsera och släcka bränder till sjöss. KBV 003 är dessutom specialanpassad för att kunna assistera vid kemikalieolyckor till sjöss.

Benämningen kombinationsfartyg innebär att fartygen tjänstgör som miljöskydds- och övervakningsfartyg med alla de uppgifter som Kustbevakningen har i dag, till exempel sjötrafik- och miljöövervakning, gräns-, fiske-, tull- och polisiära kontroller till sjöss.

KBV 001-S har utrustning för oljeupptagning och läkringsutrustning, som möjliggör att pumpa över olja från ett fartyg till ett annat. De har även utrustning för brandsläckning av andra fartyg och nödbogsering.

Att nödbogsera är en viktig uppgift, men inte KBV 001-S huvuduppgift. Kustbevakningen ska kunna koppla, hålla och förflytta ett havererat fartyg till skyddad plats, tills en bärgare kan ta över. Att KBV 001-S är kombinationsfartyg betyder att förmågan till storskalig oljeupptagning och brandbekämpning är lika viktig som bogseringsförmågan.

Tabell 4.1 Tekniska data KBV001S

Tekniska data	
Längd	81,2 m
Bredd	16,2 m
Djupgående	normalt 5,0 m
	max 6,5 m
Displacement	normalt 3 760 ton
Maskineri	Dieselektriskt
Maskiner	3 x 1 940 kWe
	2 x 1 362 kWe
	1 x 492 kWe
Propulsion	2x thrustrar á 3300 kW
Marschfart	12 knop
Toppfart	16 knop
Aktionsradie	9500 NM@ 12 knop
Hotellast	normalt 130 kW

4.1.1 Operationsprofil

Fartygen i KBV001-S nyttjas och opereras relativt olika om sett till driftsprofil och tillhörande bränsleförbrukning. Nedan ses KBV001-S specificerade operationsprofil, med siffrorna angivna för ett fartyg:

Tabell 4.2 Operationsprofil KBV001S

Driftmod	% operation	Timmar/år	kWe (inkl 130kWe hotellast)	MWh/år	Bränsleförbrukning (m ³ /år)
Manöver/ Hamn	5%	200			88
5 knots	40%	1600	556	890	232
10 knots	45%	1800	1407	2533	663
Full fart	10%	400	7223	2889	743
Summa inkl 90 m ³ för oljepanna					1 816

Ovan skall jämföras med rapporterad gångtid och tillhörande bränsleförbrukning:

Tabell 4.3 Operationstid och bränsleförbrukning, år 2019

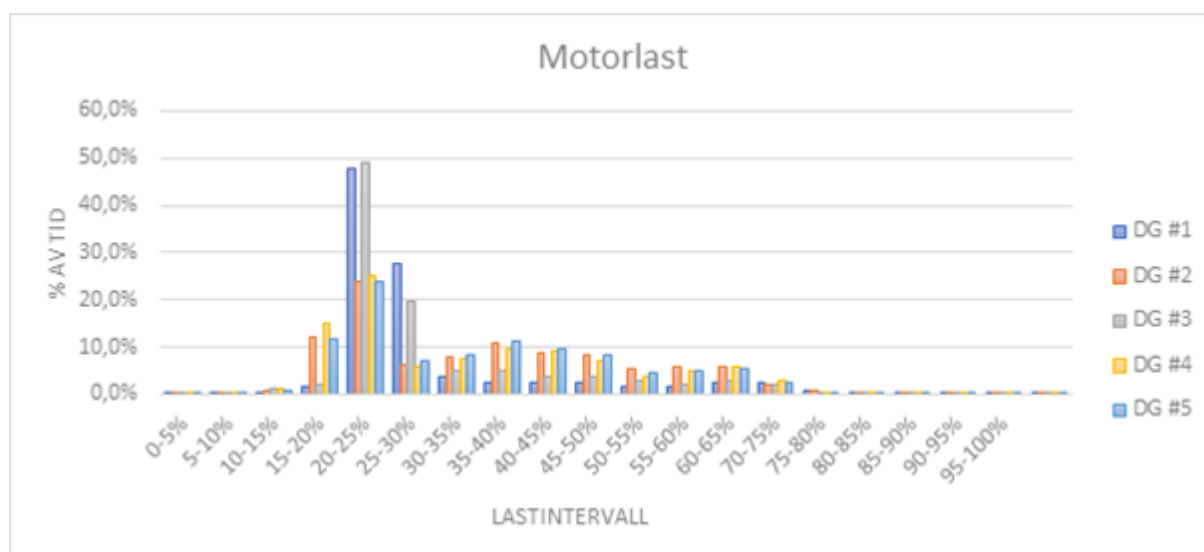
Fartyg	Årliga gångtimmar [h]	Årlig bränsleförbrukning [m ³]
KBV001	1 424	853
KBV002	1 759	702
KBV003	1 849	861

Det noteras att driften är betydligt mindre omfattande än planerat när fartygen byggdes.

Motorbelastning

Nedan ses en sammanställning över KBV003:s motorlast per generatoraggregat. Det noteras att motorlasten generellt är mycket låg. Då generatoraggregatens specifika bränsleförbrukning ökar vid låglast erhålls en överförbrukning om 5 % med denna lastprofil jämfört med om all drift ligger över 50 %. Under dessa motorers drift fram till idag uppgår denna överförbrukning till 400 m³ för KBV003. I snitt ligger motorerna på en last under 30 % ca 60 % av tiden och ca 85 % under 50 %.

Tabell 4.4 Motorlast över tid på KBV003



Att det ser ut på detta sätt beror troligen på att fartygen opereras med en hög grad av redundans med flera generatoraggregat igång. Följande åtgärder anses möjliga:

- Förändrat operationsmönster där en lägre redundans accepteras
- Installation av batteripaket (Utvecklas i kapitel 6)
 - Batteripaketet ersätter redundanta aggregat
 - Belastningen på aggregat i drift kan ökas då batteripaketet kan ta effektopparna, s.k. peak-shaving

Bemanning

Nedan visas sammanställning av bemanning för respektive fartyg.

Tabell 4.5 Bemanning över tid på KBV001:S

	KBV001	KBV002	KBV003
Antal besättningar	2	2	3
Antal perioder utan besättning	18	18	5
Antal dagar utan besättning	145	132	29
Antal dagar i genomsnitt	7,7	8,4	5,8
Procent av året utan besättning	40	36	8
Antal direkta besättningsbyten*2	14	13	42
Normal längd på en patrull (dagar)	7	7	7

Baserat på detta kan det konstateras att fartygen ligger en stor del av året till kaj både bemannade och obemannade.

4.1.2 Bränslesystem

KBV001-S bränslesystem är anpassat för att hantera dieselbrännolja av varierande kvalitet. Detta innebär att fartygen är utrustade med två bränsleseparatorer varav den ena går kontinuerligt. Då man avser använda renare bränslen bör det värderas att by-passa separatorerna. Dock skall detta inte göras utan godkännande från motortillverkaren. I de fall man behåller separatorerna bör man värdera att tillsammans med leverantören sänka flödet vilket både sänker energiförbrukningen och ökar reningsgraden.

4.1.3 Hotellast

Rapporterad elförbrukning från landanslutning

Nyttjande av landanslutning istället för egenproducerad el möjliggör en kraftigt reducerad bränsleförbrukning och klimatavtryck. Sammanställningen nedan är baserad på data för KBV001-S för 2019.

Tabell 4.6 Bränsleförbrukning för KBV001S 2019

Fartyg	Gångtimmar [h/år]	Bränsleförbrukning [m ³]	Elförbrukning [MWh]
KBV001	1 424	853	197
KBV002	1 759	702	426
KBV003	1 849	861	100

Elförbrukningen skiljer sig markant över serien. För KBV001-S antas en bränsleförbrukning om 217 g/kWhe. Omräknat till liter per MWh är det 258 l/MWh. Vilket för KBV002 innebär att landanslutningen sparar 110 m³ bränsle 2019. Jämfört med elkraft genererad vid låglast är nyttan ytterligare 10 % större.

Om ett "best-in-class"-scenario appliceras på serien. Alltså att samtliga fartyg i serien antas kunna nyttja sin landanslutning liksom KBV002 skulle det innebära en reducerad bränsleförbrukning för KBV001-S om 143 m³/år motsvarande 6 % av KBV001-S totala bränsleförbrukning för 2019.

Landströmsfilter

I det fall övriga fartyg i serien slår i taket på överföringskapacitet på landanslutningen kan det vara värt att värdera landströmsfilter även för dem. Se beskrivning i kap 3.

Redundans

Fartygen är byggda för en hög nivå av redundans i elnätet ombord. Fartyget har 6 st. transformatorer för att omvandla 400 V till 690 V. Dessa har en tomgångsförbrukning på ca 20 A per fas utan belastning. En av dem är dessutom placerad i ett apparatrum som kräver kylning. Det noteras att kraven på redundans för med sig förluster.

4.1.4 HVAC

KBV001-S har ett relativt avancerat HVAC-system varför besparingsmöjligheterna är mindre. Förutom de gemensamma förslagen för Kustbevakningen flotta noteras vissa möjligheter på värme-delen av HVAC-systemen.

Värme

Värmeåtervinning från generatoraggregaten är den primära källan till uppvärmning och bedöms vara tillräcklig för att täcka värmebehovet till sjöss.

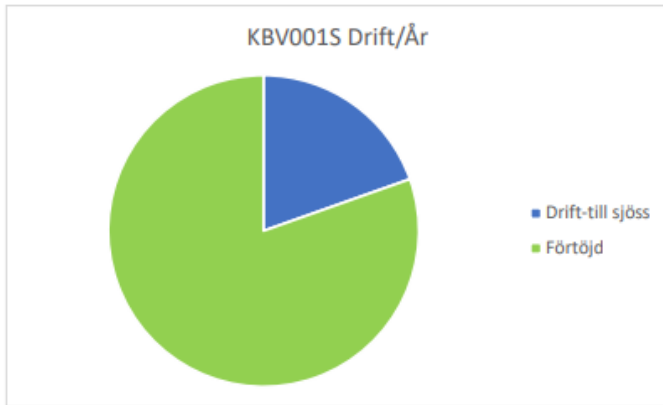
Ett eventuellt överskott av spillvärme skulle kunna nyttjas för att generera el enligt tidigare avsnitt. Det rekommenderas att vidare studera tillgången till spillvärme och i det fall det konstateras finnas, värdera installation av ORC-teknologi (Organic Rankine Cycle).

Större delen av uppvärmningen sker med hjälp av oljepanna eftersom fartygen är förtöjda vid kaj relativt stor del av sin tid. Förbrukningen är ca 90 m³ (KBV003) per fartyg årligen vilket motsvarar 9 % av seriens genomsnittliga förbrukning. För KBV001, som har lägst årlig förbrukning, utgör uppvärmningen 16 % av totalförbrukningen. Potentialen för besparingar genom värme distribuerad från land och/eller el-värme försörjd med landström är stora.

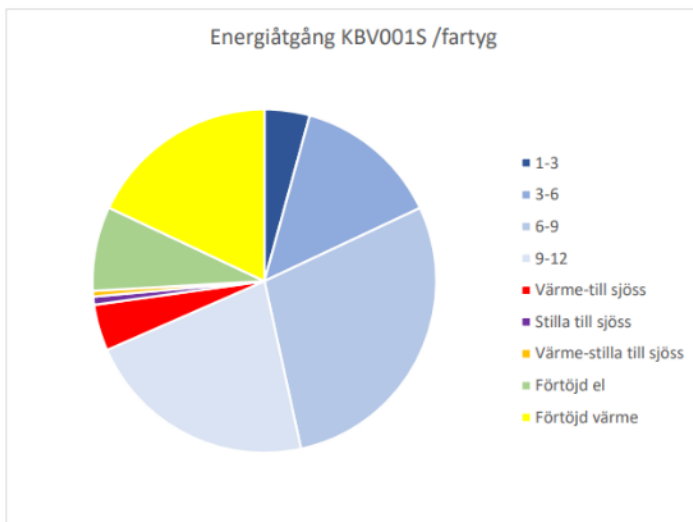
Minskning av förluster och kartläggning av icke nödvändig uppvärmning rekommenderas. Ett konkret förslag som bör övervägas är shuntning av vatten till värmeväxlarna för värmeåtervinning till kaj. Att cirkulera 80-gradigt vatten till dem skapar stora energiförluster.

4.1.5 Sammanfattning energiförbrukning

Driftsanalysen av KBV001-S visar att de har avsevärt fler gångtimmar än övriga fartyg i flottan men att tiden till sjöss ändå är relativt begränsad, se Figur 4.1. Figur 4.2 visar fördelning av energiåtgång. Av figuren framgår att det kan finnas potential i att minska energianvändningen till kaj, samt att ställa om energianvändningen till kaj till fossilfri.



Figur 4.1 Andel drifttimmar till sjöss och andel timmar förtöjd för KBV 001-S.



Figur 4.2 Energiåtgång för KBV 001 fördelat på fartintervall samt för värme och el till sjöss respektive förtöjd.

4.2 KBV031-S

Kustbevakningen har under 2010-2013 byggt fyra kombinationsfartyg av typen KBV 031 vid P+S Werften GmbH i Wolgast, Tyskland. Kombinationsfartygen ska tjänstgöra som miljöskydds- och övervakningsfartyg med alla de uppgifter som Kustbevakningen har i dag, till exempel sjötrafik- och miljöövervakning, gräns-, fiske-, tull- och polisiära kontroller till sjöss.

Tabell 4.7 Tekniska data för KBV031S

Tekniska data	
Längd	52,12 m
Bredd	10,40 m
Djupgående	3,00 m
Displacement	948
Maskineri	Konventionellt med PTI
Maskiner	4 x 800 kW
	2 x 200 kW PTI
Propulsion	2x CPP
Marchfart	12 knop
Toppfart	15,5
Aktionsradie	2 500 NM@ 12 knop
Hotellast	Till kaj 40-45 kW
	Till sjöss 65-80 kW

4.2.1 Driftsdata

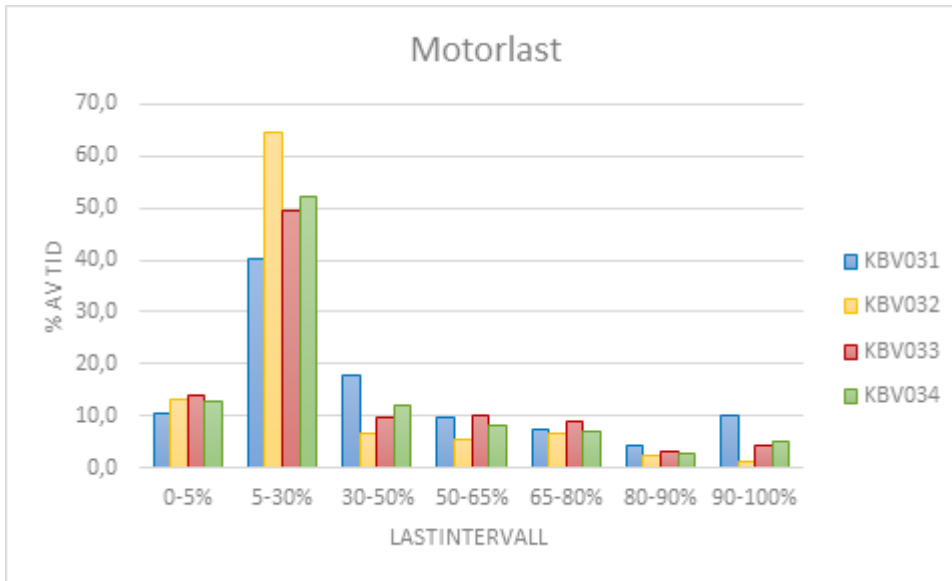
Nedan ses en sammanställning över gångtimmar och tillhörande bränsleförbrukning. Det noteras att gångtimmarna är avsevärt lägre än vad som ursprungligen specificerats för fartygen.

Tabell 4.8 Gångtimmar och bränsleförbrukning för KBV031S, 2019

Fartyg	Gångtimmar [h/år]	Bränsleförbrukning [m ³ /år]
KBV031	727	236
KBV032	693	237
KBV033	655	224
KBV034	640	209

KBV031 opereras inte så som specificerat i nybyggnadsspecifikationen. Nedan är en sammanställning över snittbelastning för de fyra motorerna för respektive fartyg. Skillnaden mellan motorindividerna på respektive fartyg är försumbar varför ett snitt för respektive fartyg kan användas.

Tabell 4.9 Motorlast över tid för KBV031S

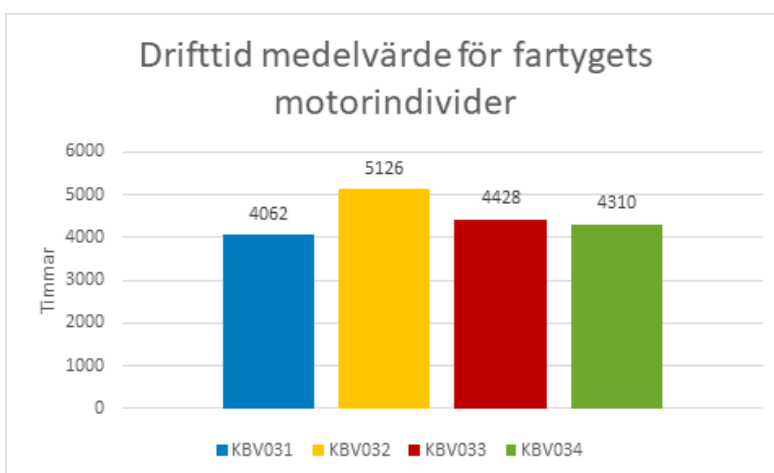


På samma sätt gäller för motorerna att drifttimmarna är relativt jämnt fördelade mellan motorerna på respektive fartyg. Motortimmarna ligger i snitt på 500-750 timmar per år sedan fartygen byggdes.

Vidare är fartygen försedda med NOx-reducerande system, SCR. Generellt fungerar denna typ av system dåligt vid låg last då de är beroende av hög avgastemperatur. Därav är de ej aktiva vid låg last. För KBV031-S gäller att systemen inte är aktiva under 30 % belastning. Det rekommenderas att se över denna gräns tillsammans med leverantören.

Det noteras att KBV032 sticker ut vilket ytterligare bekräftas av gångtimmarna på motorerna enligt nedan.

Tabell 4.10 Drifttid för huvudmotorer sedan installation



För 2019 har motorerna gångtimmar studerats. Respektive motors drifttid jämförs med fartygets gångtimmar där fartygets gångtimmar är definierade som att minst en axel roterar. Variationerna är stora över serien där KBV031 lyckas bäst med att reducera antalet motorer i drift medan övriga fartyg har många motorer med väldigt många drifttimmar i förhållande till fartygets totala drifttid.

Av detta kan man dra slutsatsen att de flesta av fartygen opereras med fyra motorer igång en stor del av tiden. Sammantaget med det låga effektuttaget kan slutsatsen att det finns en potential för att

spara bränsle, och underhållskostnader, om tiden med fyra motorer i drift minskas. Vidare kan noteras att fartygen i stort sett aldrig nyttjas med bara en motor och en drivlina vilket är ett mycket energieffektivt operationssätt.

Tabell 4.11 Drifttid för huvudmotorer, per fartyg och motorindivid, 2019

	Drifttimmar	Andel av gångtid		Drifttimmar	Andel av gångtid
KBV031			KBV033		
ME 1	453	62%	ME 1	606	93%
ME 2	446	61%	ME 2	502	77%
ME 3	442	61%	ME 3	429	65%
ME 4	454	62%	ME 4	688	105%
Fartyg	727		Fartyg	655	
KBV032			KBV034		
ME 1	618	89%	ME 1	360	69%
ME 2	687	99%	ME 2	513	98%
ME 3	700	101%	ME 3	368	70%
ME 4	618	89%	ME 4	505	96%
Fartyg	693		Fartyg	525	

4.2.2 PTI/PTO – el-hybridisering

KBV031-S är försedda med PTI på växlarna om 2 x 200 kW. Dessa används i stort sett inte.

PTO finns också på växlarna för att driva oljeupptagningsystem, lastpumpar och andra större hydraulförbrukare. Samma funktion finns på den stora hjälpmotorn. Vid oljeupptagning är det troligen PTO på växlarna som används. Däremot används hellre PTO på hjälpmotorn till kaj eller möjligen hamnpump om hydraulikbehovet är litet, men PTO på växlarna är en viktig redundans.

PTI-funktionen öppnar för en relativt mindre kostsam hybridiseringsmöjlighet. Realiserbarhet och prestanda utvecklas i kapitel 6.

Hydrauldrift vid låg fart och DP

Redan idag finns möjligheten att köra fartyget i låg fart, utan huvudmotorer igång, med PTO från generatoraggregatet. Detta används inte då det uppfattas skapa kraftigt oljud/buller. För det fall Kustbevakningen avstår elhybridisering kan det bli intressant att se över denna driftmöjlighet.

En djupare analys och lösning av dessa problem skulle kunna göra att en del av den relativt omfattande lågeffektsdriften, där NOx-ningen inte är aktiv, skulle kunna minskas.

Det är även möjligt att ligga i DP-mod med endast hydrauldrift. Dock blir tillgänglig effekt kraftigt begränsad och det är troligt att PTO:er skulle behöva utökas på genseten för att möjliggöra hydraulisk DP-drift utan huvudmotorer ingång med tillräckliga säkerhetsmarginaler vad gäller tillgänglig effekt.

4.2.3 Hotellast

Hotellasten försörjs med elkraft från hjälpmaskineri till sjöss samt landanslutning till kaj. Om landanslutningens kapacitet överskrids till kaj används hjälpmaskineriet även till kaj. Hjälpmaskineriet används också för att driva tyngre hydraulsystem.

Driftanalys generatoraggregat

Nedan presenteras respektive generatoraggregats drifttimmar för jämförelse mot fartygets gångtimmar.

Tabell 4.12 Drifttid för generatoraggregat på KBV031S, 2019

	Gångtimmar [h/år]	Drifttimmar AE1	Drifttimmar AE2
KBV031	727	1 297	2 390
KBV032	693	918	3 351
KBV033	655	1 051	2 683
KBV034	640	626	1 935

Utifrån ovan konstateras att drifttimmarna på generatoraggregaten är flera gånger större än fartygens gångtimmar. Detta beror på att generatoren används till ankars och i hamnar där landanslutning saknas, vilket idag är alla hamnar utom hemmahamn.

Rapporterad elförbrukning från landanslutning

Nyttjande av landanslutning istället för egenproducerad el möjliggör en kraftigt reducerad bränsleförbrukning och klimatavtryck. Sammanställningen nedan är baserad på data för KBV031-S för 2019.

Tabell 4.13 Landelförbrukning för KBV031S, 2019

	Elförbrukning [MWh]
KBV031	245
KBV032	272
KBV033	278
KBV034	239

Det noteras inga större skillnader över serien. Snittförbrukningen för serien är 259 MWh vilket innebär en snittförbrukning om 32 kW under tid som ej är definierad som gångtid.

4.2.4 Stillaliggandeperioder

031-S används i princip varannan vecka. Fartygen är oftast operativa 7 dagar i taget. Däremot kan de mycket väl ligga kvar i hemmahamn trots att det finns besättning ombord.

4.2.5 Uppvärmning

KBV031-S använder en inte försumbar del av sin bränsleförbrukning till uppvärmning. KBV034 hade 2016 en förbrukning på 37 m³ bränsle enbart för uppvärmning med oljepanna. Vidare har serien långa stillaliggandeperioder. Efter 2016 har diverse mindre åtgärder genomförts på KBV034 vilka

väsentligt sänkt oljepannas förbrukning. En jämförelse med KBV033, där inga åtgärder genomförts förutom att hon redan då använde fjärrvärme för uppvärmning, är sammanställd nedan.

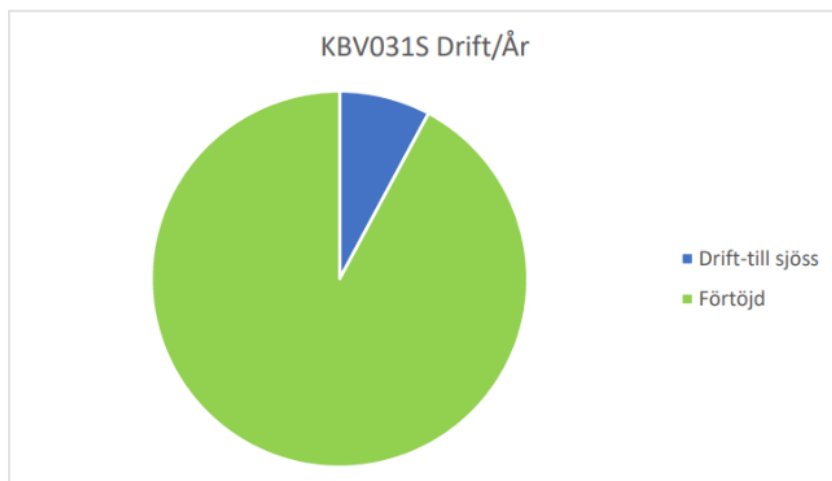
Tabell 4.14 Värmepannans förbrukning, KBV033 och KBV034

Fartyg	Värmepannans oljeförbrukning [m ³]	
	2016 (Före åtgärder KBV034)	2019
KBV033	28	30,5
KBV034	37	29,2

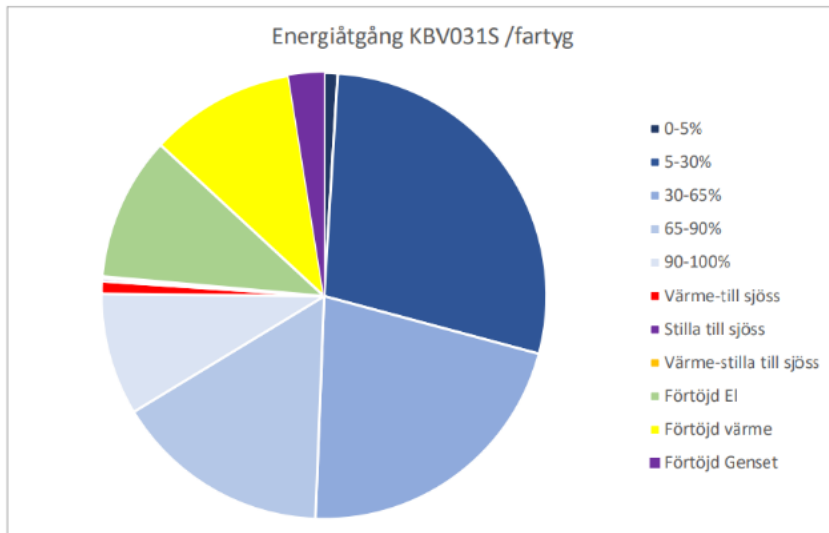
Detta motiverar både investeringar i fjärrvärme och energibesparande åtgärder. Det rekommenderas att vidare undersöka anledningen till KBV033s relativt höga förbrukning. Om förbrukningen beror på att oljepannan används för att stötta till kaj bör el-pannan nyttjas istället.

4.2.6 Sammanfattning energiförbrukning

Driftsanalysen av KBV031-S visar att de har relativt få gångtimmar till sjöss. Se Figur 4.3. Vad gäller energiåtgången noteras det framför allt finns potential i att minska och ställa om energianvändningen till kaj till fossilfri men till skillnad från KBV001-S och KBV312-S noteras även en större möjlighet att minska energianvändningen till sjöss genom operativa åtgärder, se Figur 4.4.



Figur 4.3 Andel drifttimmar till sjöss och andel timmar förtöjd för KBV 031-S,2019



Figur 4.4 Energiåtgång för KBV 031 fördelat på fartintervall samt för värme och el till sjöss respektive förtöjd, 2019

4.3 KBV312-S

Fartygen är byggda av Baltic Work Boats (BWB) på Ösel i Estland, i en serie av 5 fartyg. De levererades till Kustbevakningen under 2012-2013.

Tabell 4.15 Tekniska data KBV312S

Tekniska data	
Längd	26,5 m
Bredd	6,2 m
Djupgående	1,5 m
Deplacement	53,8
Maskineri	Volvo Penta IPS
Maskiner	3 x 588 kW
Propulsion	3 x VP IPS 1050
Marschfart	25 knop
Toppfart	31 knop
Aktionsradie	350 NM

4.3.1 Operationsprofil

I tabellen nedan kan utfallet från mätningar gjorda under perioden 2013–2014 ombord KBV312-S utläsas, inklusive avvikelser och medelvärden. Motsvarande mätningar repeterades på KBV312 2019 vilket bekräftade en oförändrad operationsprofil jämfört med 2013/2014. Det noteras att effektuttagen är lägre än de ursprungligt specificerade och att andelen låglast är mycket hög. Då denna rapport skrivs pågår loggning för att se hur stor andel av lasten som sker till- respektive ur-kopplat. Sammantaget med associerad bränsleförbrukning enligt den nedre tabellen noteras att

bränsleförbrukningen är koncentrerad till högre farter, vilket är normal för planande fartyg av denna typ.

Tabell 4.16 Utfall från mätningar gjorda under perioden 2013–2014 ombord KBV312-S

Fart	Medelvärde %	Utfall % KBV312	Utfall % KBV313	Utfall % KBV314	Utfall % KBV315	Utfall % KBV316	Max %	Min %	Medelavvikelse %
Maxfart	4.8	2.8	4.9	5.5	6	4.7	6	2.8	0.82
Marschfart	20.1	24.6	19.8	13.8	28	14.3	28	13.8	4.96
12-20 knop	12.3	14.4	10.5	14.6	11	11.1	14.6	10.5	1.74
7-12 knop	10.8	8.4	12.2	17	6	10.3	17	6	3.06
Manövrering / 5 knop	51.8	49.2	52.6	49.7	48	59.3	59.3	48	3.35

Tabell 4.17 Utfall från mätningar gjorda under perioden 2013–2014 ombord KBV312-S

	Moment [Nm]	Varvtal [rpm]	Effekt [kW]	Förbr. [kg/h]	Förbr./motor [l/h]	Förbr. totalt [l/h]	Förbr. viktad [l/h]
Maxfart	2400	2300	578.1	121.4	144.5	433.5	20.7
Marschfart	1600	1750	293.2	61.6	73.3	219.9	44.2
12-20 knop	1200	1450	182.2	38.3	45.6	136.7	16.8
7-12 knop	700	1000	73.3	15.4	18.3	55.0	5.9
Manöver / 5 knop	400	600	25.1	5.3	6.3	18.8	9.8
Viktat enligt driftsprofil			130		32.5		97

4.3.2 El över landanslutning

KBV312-S är kraftigt begränsade avseende kapacitet för elektrisk landanslutning. Ökad kapacitet skulle möjliggöra följande:

- Ökad användning av el-patronen och därmed minskad användning av oljepannan
- Möjlighet att gå över till el-hydrauliska system och därmed eliminera behovet av huvudmotordrift då däcksutrustning används

Rapporterad elförbrukning från landanslutning

Nyttjande av landanslutning istället för egenproducerad el möjliggör en reducerad bränsleförbrukning och reducerat klimatavtryck. Sammanställningen nedan är baserad på data för KBV312-S för 2019.

Tabell 4.18 Bränsleförbrukning och landelsförbrukning för KBV312S, 2019

	Gångtimmar [h/år]	Bränsleförbrukning [m ³ /år]	Elförbrukning [MWh/år]
KBV312	765	89	10,8
KBV313	1 020	141	31,7
KBV314	488	61	34,4
KBV315	595	50	1,1
KBV316	649	80	38,4

En hög elförbrukning över landanslutningen behöver nödvändigtvis inte innebära att bränsle kan sparas men det bör undersökas varför elförbrukningen varierar så kraftigt över serien.

4.3.3 Bemanning - Stillaliggandeperioder

312-S används betydligt mer än 50 % av året. Patrullerna är oftast 3 dagar långa med obemannat emellan. Fartygen används även i olika utsträckning som hotell för personal som jobbar på andra enheter. Detta bör tas i beaktande inför eventuell framtida ersättning av HVAC-systemet. Driftfallen obemannat till kaj och bemannat till kaj blir viktiga att optimera. En stor fördel är att en stor del av denna tid är förlagt till hemmahamn vilket motiverar investering i infrastruktur för el och värme från land.

4.3.4 Framdrivningsalternativ

Batterihybrid

För projekt KBV320-S har en batterihybridinstallation utvärderats baserat på KBV312-S enligt nedan.

För KBV312-S i farter kring 30 knop kan motståndet förenklat sägas vara direkt proportionerligt mot displacementet för fartyget. Med ett ökat displacement ökar således erforderlig framdrivningseffekt och för just KBV312-S gäller att en ökning på 2,4 ton ökar dragkraftsbehovet från ca 69 till 73 kN (ref. indata från Volvo Penta enligt KBV312 Contract amendment 01). Detta skulle innebära ett ökat effektbehov linjärt med dragkraftsbehovet, vilket motsvarar ca 6 % (detta är en förenkling som gäller för mindre förändringar för aktuellt fartyg). En ökning av dragkraftsbehov med 6 % och bibehållen fart kan då likställas med en ökning av bränsleförbrukningen om ca 6 %.

Detta innebär att bränsleförbrukningen uppgår till 103 l/h mot tidigare 97 l/h om ny teknik eller utrustning tillförs som ökar fartygets displacement med 2,4 ton.

Baserat på ovanstående resonemang kan ett exempel på emissionsreducerade teknik kalkyleras. Med införande av en batteribaserad hybriddrivlina skulle följande scenario kunna appliceras, som räkneexempel.

Tabell 4.19 Exempel på installation av batterihybrid på KBV312-S

	Vikt [ton]
Deplacement ursprungsfartyg	50
Tillkommande batterivikt	2
Tillkommande vikt drivlina	1
Tillkommande vikt elsystem	1
Tillkommande vikt struktur, brand etc.	1
Summa deplacement	55

Ovanstående deplacementsökning skulle med tidigare resonemang öka effektbehovet, och därmed bränsleförbrukningen, med ca 13 %. Detta skulle då innebära en total bränsleförbrukning om 111 l/h, viktat enligt medelvärderad driftsprofil för KBV312-S.

En drivlina av batterihybridtyp kan dock sannolikt väsentligt reducera bränsleförbrukningen i farter upp till 10 knop. Bränslereduktionen är dock högst osäker beroende på möjligheter till laddning, batterikapacitet, effekt mm, varför ett antagande återigen måste göras. Som räkneexempel ansätts att bränsleförbrukningen i farter upp till 10 knop halveras, vilket skulle medföra en reduktion i bränsleförbrukning om 8,3 l/h. Det skall noteras att siffran är fiktiv och bara ett räkneexempel.

Sammantaget ovanstående ökning på grund av ökat deplacement erhålls en total viktad bränsleförbrukning om 101 l/h, vilket är 4 l/h högre än för ett fartyg med det lägre deplacementet, utan batterihybrid.

Lågfartsdrift

KBV312-S har en stor andel av sin drifttid i lågfart och manöver. Troligen är en andel av denna drift stillaliggande med drift av hydraulik. Det bör undersökas hur stor andel som är drift enbart för att få kraft till hydrauliken och utifrån det resultatet värdera om hydrauliken skall drivas på annat sätt t.ex. el-hydrauliskt.

För lågfartsdrift med en eller två motorer identifieras följande begränsningar:

- Manöversystemet med joysticks har inte full funktion
- Farten begränsas till 8 knop, då IPS-systemet inte kan flöjlas eller medrotera

Byte till annat bränsle

En nackdel med KBV312-S drivlina med IPS är att man är hänvisad till Volvo Pentas motorer. Detta är begränsande vid val av bränsle. Detta gäller exempelvis för metanol. Skulle man välja att gå över till metanol så finns det idag inga Volvo Penta motorer för drift med metanol. Men om man skulle få till en konvertering så skulle det, med tillgänglig teknik idag, innebära ett lägre effektuttag vilket i sin tur leder till en sänkt toppfart. En metanolkonvertering får alltså följande konsekvenser:

- Minskat klimatavtryck – skall jämföras med biodiesel
- Minskad toppfart
- Minskad räckvidd (förutsatt att inte ytterligare utrymme tas i anspråk för tankar)

Sammanfattning åtgärdsförslag drivlina

I dagsläget anses det inte finnas något alternativ till att fortsätta köra fartygen på ett dieselliknande bränsle. Inte heller anses det möjligt att genomföra en hybridisering. Då livslängden på motorerna i KBV312-S är relativt kort bör möjligheterna för hybridisering, med tanke på den snabba utvecklingen inom batteriteknik, verifieras med jämna mellanrum.

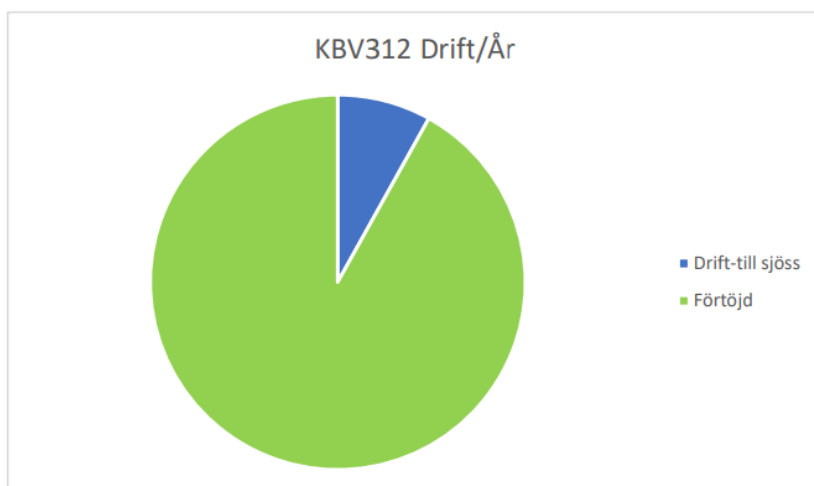
4.3.5 HVAC

Vid ett eventuellt större ingrepp/ombyggnation av HVAC-systemet på KBV312-S rekommenderas att följande åtgärder värderas:

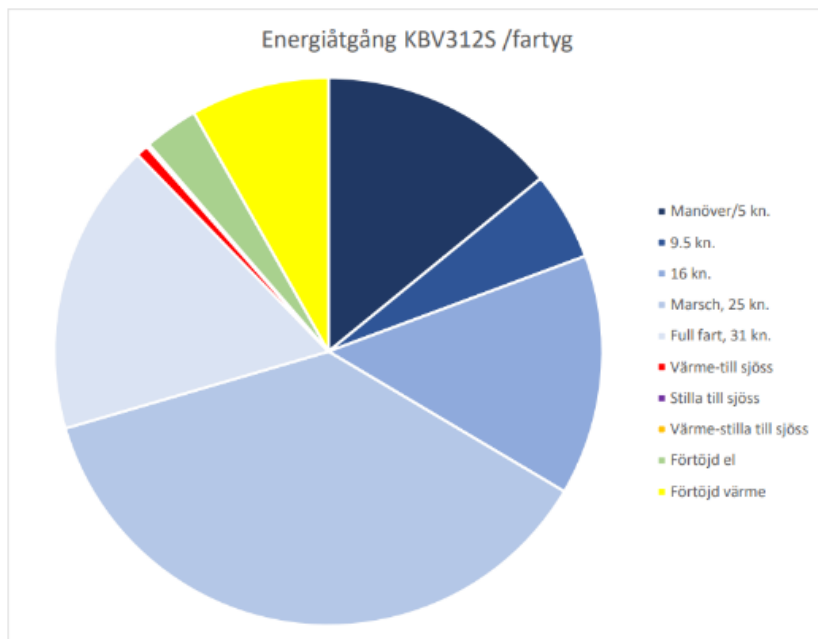
- En ökad centralisering och reducering av antalet komponenter bör eftersträvas för att skapa ett robust och energieffektivt system. Möjligheterna är dock kraftigt begränsade eftersom ledigt utrymme ombord är begränsat.
- Införande av möjlighet att samtidigt värma inredning och att kyla styrhytt.
- Anpassning till lägre systemtemperatur i värmesystemet för att bättre kunna nyttja värme från extern värmekälla så som t.ex. värmepump, bergvärme eller fjärrvärme. Detta innebär följande åtgärder:
 - o En ökad andel luftburen central värmedistribution.
 - o Radiatorer byts mot flätkonvektorer, alternativt förläggs till egen slinga med högre temperatur.

4.3.6 Sammanfattning energiförbrukning

Driftsanalysen av KBV312-S visar att de har relativt få gångtimmar till sjöss, se Figur 4.5. Vad gäller energiåtgången noteras det framför allt finns potential i att minska och ställa om energianvändningen till kaj till fossilfri, se Figur 4.6. Till sjöss finns potentialen i att använda mindre enheter för att minska nyttjandet i hög fart.



Figur 4.5 Andel drifttimmar till sjöss och andel timmar förtöjd för KBV 312-S.



Figur 4.6 Energiåtgång för KBV312-S fördelat på fartintervall samt för värme och el till sjöss respektive förtöjd

4.4 Sammanfattning energibesparingsåtgärder

I detta avsnitt presenteras resultaten från studien av KBV001-S, KBV031-S och KBV312-S kortfattat. Analysen utgår från de principer som ställts upp i kap 3 och baseras på de driftdata som sammanställts i kapitel 4. Följande slutsatser har gjorts för fartygen gemensamt och för respektive serie.

Vid införande av föreslagna åtgärder rekommenderas att det görs på ett strukturerat sätt med noggrann uppföljning av effekt. Detta gäller särskilt när åtgärderna överlappar och påverkar varandra. Det kan exempelvis vara bra att först införa operationella åtgärder avseende framdrivningsrelaterade frågor för att därefter införa tekniska åtgärder vilka då har möjlighet att bli mer träffsäkra.

4.4.1 Gemensamt

Följande åtgärder bedöms realiserbara för både KBV001-S, KBV031-S och KBV312-S:

- **Byte av bränsle** till HVO är den åtgärd som direkt har störst potential att minska fartygens klimatpåverkan
- Näst efter bränslebyte är **operationella åtgärder** den åtgärd som har störst potential att minska energianvändningen och därmed utsläppen av växthusgaser. I stora drag föreslås följande:
 - o Marschfarten sänks
 - o Antalet framdrivningsmotorer i drift reduceras
 - o Mindre enheter utnyttjas istället för större
 - o Möjligheten att nyttja obemannade enheter utreds
- **Mätning och uppföljning** av förbrukad energi samt premiering av minskad förbrukning har visat stor besparingspotential för många rederier.
- **Utbildning och erfarenhetsutbyten** är en förutsättning för minskad energiförbrukning för fartyg som är så pass tekniskt avancerade som Kustbevakningens.

- När driftfallen är för komplexa eller investeringskostnaderna är för stora kan **rutiner och checklistor** för energibesparing vara ett kraftfullt verktyg för att minska energiförbrukningen
- Fartygen ansluts till **landbaserad värmedistribution**. Val av teknik får utvärderas för respektive fartyg baserat på dess placeringsort.
- **Ventilationsbehovet** genomlysas för de olika driftfallen.
- **Frikyla** har viss potential att till en relativt liten kostnad minska energiförbrukningen under framför allt årets varma månader.
- Vid modifiering av utrymmen bör effektiviteten av **klimateknet** utvärderas och möjligen uppgraderas. Ökad isoleringsgrad skall dock värderas mot den ökade vikten.
- **Isolering av rörsystem** för värmesystem och kyltvattenssystem ses över.
- Ökad användning av **värme producerad** iland – exempelvis fjärrvärme eller bergvärme utefter lokala förhållanden.
- Avseende belysning bör denna bytas till **lågenergibelysning** typ LED. Vidare bör belysning **automatiskt(närvarostyrning)** eller **på rutin** släckas då den inte behövs.
- **Locked-ship** funktioner ses över.

4.4.2 KBV001-S

Utöver åtgärder under rubriken gemensamt anses följande åtgärder möjliga för fartygsserien:

- Ökat nyttjande av **el över landanslutning**
- Reducerat **antal generatoraggregat i drift**
 - o Högre belastning på aggregaten i drift
 - Avgasrening i drift större andel av tiden
 - Lägre specifik bränsleförbrukning
 - o Minska antal drifttimmar och därmed ett minskat underhållsbehov
 - o Fartygens redundanskrav bör genomlysas
- Översyn av **energiförluster för spillvärmesåtervinning** när motorer ej är i drift

4.4.3 KBV031-S

Utöver åtgärder under rubriken gemensamt anses följande åtgärder möjliga för fartygsserien:

- **Reducering av antalet huvudmotorer** i drift har potential att:
 - o Minska drifttimmarna på huvudmotorerna och därmed underhållsbehovet
 - o Öka lasten på de motorer som är i drift och därmed
 - Sänka den specifika bränsleförbrukningen
 - Öka tiden då NOx-systemen är i drift.
- Se över förutsättningarna för **drift med en drivlina**
- Se över möjligheterna att **minska gångtiden med fix-varvtal**
- Se över möjligheterna till **drift med PTI** i dagens konfiguration
- **Elhybridisering** (Utvecklas i kapitel 6)
 - o Installation av elmotorer på PTI samt batteripaket antas få följande effekt
 - Förbättrad redundans – andelen drift med 4 motorer minimeras
 - Genom minskat antal motorer i drift ökar belastningen på de som är igång och därmed ökar tiden när NOx-reducerande system är i drift

- Lågfartsdrift utan utsläpp
- Ökat användande av **elektrisk landanslutning**

4.4.4 KBV312-S

Utöver åtgärder under rubriken gemensamt anses följande åtgärder möjliga för fartygsserien:

- **Minskat displacement** har potential att minska den årliga bränsleförbrukningen. Observera att vissa åtgärder som föreslås påverkar räckvidd, förmåga och uthållighet. Följande åtgärder har identifierats:
 - o Minskad mängd bränsle, färskvatten m.m. ombord.
 - o Däcksbåt eller vattenskoter sätts iland när den inte bedöms behövas
- Minskade gångtimmar på motorerna genom:
 - o Förbättrade ankringsmöjligheter
 - o Förbättrade möjligheter till **en och två-motordrift**
 - o Införande av elhydraulisk utrustning (om loggningen visar att stor andel av driften är urkopplad)
- Analys av variationerna i användning av **elektrisk landanslutning**
- **HVAC-installationen** byggs om när den är end-of-life enligt följande principer:
 - o Centralisering
 - o Möjlighet till samtidig uppvärmning och kyla
 - o Robust installation
 - o Energiåtervinning förbättras
 - o Anpassning till lågvärdig värme
 - o Möjlighet till nyttjande av frikyla
- Värdering av förbättrat klimatskal avseende:
 - o Förbättrat solskydd

5 Identifiering möjliga framdrivningsalternativ

Baserat på utvärderingen av alternativa bränslen i kapitel 2 identifieras alternativ som möjliga att förbereda för på nya miljöskyddsfartyg till år 2031, samt möjliga att implementera vid en livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S till år 2040.

5.1 Biodiesel/HVO

Dieselsubstitut, och i första hand HVO, bedöms som möjligt bränsle både för nya miljöfartyg samt för livstidsförlängda KBV001-S och KBV031-S. Operation med biodiesel antas inte kräva någon form av modifiering av tekniska installationer eller negativ inverkan på operationell drift. Vidare utredningar antas därmed inte nödvändiga och biodiesel utgör därför istället ett s.k. nollalternativ, vilket övriga alternativ jämförs mot.

Biodiesel antas också kunna utgöra ett av två bränslen vid en lösning med *dual fuel*-motorer.

5.2 Metanol

Metanol har en sammanlagd bedömd mognadsgrad på 10, se Tabell 2.4. Den har framgångsrikt installerats på prov ombord på flera marina plattformar i olika storlek, se kap 2.2.

Metanol går att lagra relativt enkelt. Den kräver inga tryckkärl eller kryogena tankar vilket gör att lagringen kan göras i vanliga tankar vilket blir utrymmeseffektivt. Den kan lagras under lång tid utan att något avkok behöver tas hand om, vilket skulle vara nödvändigt om fartygen ej används under en längre tid. Den har dock en lägre energidensitet än diesel och dieselsubstitut, vilket medför att det krävs större tankvolym för att fartygen ska få samma räckvidd som idag. Kring-installationer som krävs för metanol, t.ex. intergasinstallation och dedikerade pumprum, tar upp mer utrymme och väger mer än en dieselinstallation. Trots detta bedöms metanol som ett möjligt bränslealternativ som nya miljöskyddsfartyg skulle kunna vara förberedda för 2030, och som ett alternativ vid livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S år 2040

Möjligheten med metanol på dessa fartyg värderas och utreds vidare i kapitel 6 och 7.

5.3 Etanol

Etanol har en sammanlagd bedömd mognadsgrad på 10,25, se Tabell 2.4. Etanol är vanlig inom fordonsindustrin, men har inte använts på marina plattformar tidigare, se kap 2.3.

Etanol har relativt liknande egenskaper som metanol. Eftersom det inte finns några exempel på etanolinstallationer ombord på fartyg idag är det svårt att veta hur en installation skulle se ut. Man kan dock anta att en etanolinstallation skulle vara lik en metanolinstallation, med samma kring-installationer. Etanolen har en något högre energidensitet än metanolen, vilket gör att den skulle kräva mindre tankar än metanolen men större än en dieselinstallation antaget samma fart och räckvidd.

Etanol bedöms vara ett möjligt bränslealternativ som nya miljöskyddsfartyg skulle kunna vara förberedda för 2030. Det bedöms också vara ett alternativ vid livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S år 2040. Möjligheten med etanol på dessa fartyg värderas och utreds vidare i kapitel 6 och 7.

5.4 Biogas och LBG

Biogas har en sammanlagd bedömd mognadsgrad på 11,25, se Tabell 2.4. Biogas eller naturgas är vanlig inom fordons- och marinindustrin och används även på flera på marina plattformar idag, se kap 2.4.

Biogas bedöms trots detta inte som ett möjligt bränslealternativ för nya miljöskyddsfartyg och anses inte heller vara ett alternativ vid livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S år 2040. Nedan listas de främsta orsakerna till att biogas inte utreds vidare.

- Tar stor plats kylt och mycket stor plats komprimerad. Välisolerade kryogena tankar eller stora tryckkärl för högt tryck gör att en installation blir relativt tung per kilo bränsle.
- LBG kräver att avkok tas om hand, kräver antingen att man kör frekvent, eller att man tar hand om den på annat sätt t.ex. genom att släppa ut vätgasen eller kyla ner den till vätska och återföra den till tanken.
- Biogas är brandfarligt och mycket i kallt i kryogen form vilket ställer höga krav på säkerhetssystemen ombord och bränslehantering.

5.5 Vätgas

Vätgas har en sammanlagd bedömd mognadsgrad på 7 se Tabell 2.4. Vätgas används inom fordonsindustrin, och har använts på test på en del marina plattformar, se kap 2.5.

Vätgas bedöms inte som ett möjligt bränslealternativ som nya miljöskyddsfartyg skall vara förberedda för 2030 och vid livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S år 2040. Nedan listas de främsta orsakerna till att vätgas inte utreds vidare.

- Tar stor plats kylt och mycket stor plats komprimerad. Välisolerade kryogena tankar eller stora tryckkärl för högt tryck, gör att installationen blir relativt tung per kilo bränsle.
- Vätgas i vätskeform kräver att avkok tas om hand, kräver antingen att man kör frekvent, eller att man tar hand om den på annat sätt t.ex. genom att släppa ut vätgasen eller kyla ner den till vätska och återföra den till tanken.
- Kostnaden för bränsleceller och bränslet är idag relativt höga. Infrastruktur saknas.
- Vätgas är explosivt, brandfarligt och mycket i kallt i kryogen form vilket ställer höga krav på säkerhetssystemen ombord och bränslehantering.

5.6 Ammoniak

Ammoniak har en sammanlagd bedömd mognadsgrad på 4,5, se Tabell 2.4, vilket gör ammoniak till det bränsle med lägst bedömd mognadsgrad. Ammoniak används i dagsläget framförallt inom industrin för tillverkning av konstgödsel.

- Den låga mognadsgraden idag gör att det bedöms osannolikt att utveckling har lett till en tillräcklig mognadsgrad för installation ombord nya miljöfartyg till 2030.
- Ammoniak är en giftig gas som erfordrar trycksatta tankar för att vara flytande. Detta medför att det vid en installation ombord kommer ställas höga krav på bränslehantering och säkerhetssystem vilket gör att konvertering till ammoniakdrift antas vara svårt.

Med anledning av detta utreds inte vidare för möjligheterna avseende ammoniak som ett bränsle att förbereda för på nya miljöskyddsfartyg till år 2030. Ammoniak utreds inte heller vidare som ett alternativ att konvertera till vid en livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S år 2040.

5.7 Elektricitet

För KBV031-S som har en räckvidd på 2 500 nm vid 12 knop skulle det krävas ett batteripaket om drygt 200 MWh för att bibehålla räckvidden vid nuvarande deplacement. Viktsmässigt skulle det innebära mer än en tredubbling av deplacementet vilket skulle ytterligare öka effekt- och energilagringsbehovet. Detta bedöms inte realistiskt och ett hel-elektriskt framdrivningskoncept

utreds därför inte vidare. Inte heller för en livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S år 2040 bedöms en hel-elektriskt framdrivning som möjlig och utreds därför inte heller vidare.

5.8 Vind

Vind kan endast värderas som en kompletterande källa till framdrivning. Vindpropulsion är utrymmeskrävande och tar däcksyta i anspråk. Fri däcksyta är en central kapacitet för Kustbevakningens fartyg. Vidare inverkar utrustningens vikt och placering negativt på fartygens stabilitet. Med anledning av detta utreds inte vindpropulsion vidare.

5.9 El-hybrid

El-hybrid skall ses som ett komplement till samtliga ovan värderade bränslen. Nyttan ur ett klimatperspektiv är stor för ett fartyg där laddning från land med fossilfri el är möjlig och särskilt för de fartyg som drivs med icke fossilfritt bränsle. Hybridisering kan också minska behovet av bunkervolym ombord samt reducera underhållskostnader på framdrivningsmotorer. För KBV031-S och KBV001-S finns stora fördelar med el-hybridisering utifrån den driftsanalys som genomfördes och presenterades i kapitel 4. Mot bakgrund av detta bör hybridisering av KBV001-S och KBV031-S värderas för införande före livstidsförlängning. Exempelvis skulle det kunna göras vid en halvtidsmodernisering (HTM).

5.10 Sammanfattning framdrivningsalternativ

Följande bränslen värderas och utreds vidare för nytt miljöskyddsfartyg respektive livstidsförlängning av KBV001-S och KBV031-S.

- Biodiesel/HVO
- Metanol
- Etanol
- Elhybridisering

Egenskaperna för metanol och etanol liknar varandra och erforderade installationer ombord antas därmed vara likvärdiga. Med anledning av detta värderas och beskrivs därför system och installation för dessa alternativ gemensamt i kapitel 6 och 7.

6 Livstidsförlängning KBV001-serien och KBV 031-serien

Kombinationsfartygen KBV001-S och KBV031-S kommer utifrån Kustbevakningens bedömning att behöva en livstidsförlängning runt 2040. För att uppnå målet om fossilfrihet till 2045 krävs att livstidsförlängningen möjliggör en övergång till helt fossilfri framdrivning

I kapitlet presenteras en översikt av de lösningar som bedöms som mest lämpliga att uppnå fossilfri framdrivning. Uppskattade kostnader, samt för- och nackdelar med olika lösningar presenteras.

6.1 Förutsättningar

För respektive livstidsförlängning är ingångsvärdet att nuvarande kapaciteter och förmågor skall bibehållas. För biodiesel är detta möjligt men med metanol och etanol är detta inte möjligt. Påverkan på fart och, framför allt, räckvidd belyses för respektive fartygsserie nedan.

6.1.1 KBV001-S

KBV001-S är byggd för dieselelektrisk drift. Detta ger en operationell flexibilitet men lägre verkningsgrad. Det bedöms inte som ekonomiskt försvarbart att förändra konceptet varför fokus bör läggas på att öka verkningsgraden och reducera underhållskostnaden.

6.1.2 KBV031-S

KBV031-S är byggd för dieselmekanisk drift vilket korrekt opererat är mycket energieffektivt. Då fartyget antas använda förbränningsmotorer som primär energikälla bör framdrivningsprincipen behållas.

För att lastoptimera driften rekommenderas el-hybridisering vilket kan innebära allt från en lättare hybridisering där fyra förbränningsmotorer kombineras med elmotorer på PTI till att förbränningsmotorerna reduceras till två som kombineras med två större elmotorer. Det första alternativet bedöms mer kostnadseffektivt och påverkar inte räckvidden varför fortsatt analys görs för alternativet med fyra förbränningsmotorer i kombination med elmotorer på PTI.

Då livstidsförlängningen för respektive fartygsserie antas göras för att förlänga fartygens livslängd med en relativt kort tid blir investeringskostnadens påverkan på kalkylen större relativt operationskostnaden jämfört med vid en nybyggnation.

6.2 Biodiesel

Operation med biodiesel antas inte kräva någon form av modifiering av varken tekniska installationer eller operationell drift.

Biodiesel antas också kunna utgöra ett av två bränslen vid en lösning med *dual fuel*-motorer.

6.3 El-hybridisering

6.3.1 KBV001-S

För ett dieselelektriskt fartyg kan det finnas energi och driftkostnadsbesparing att göra genom att el-hybridisera. Potentiell bränslebesparing genom peak-shaving och reducerad redundans bedöms vara upp till 5% då KBV001-S har en onödigt hög bränsleförbrukning kopplat till att fartyget opereras med en hög nivå av redundans. Flera maskiner hålls igång med mycket låg belastning. Fokus för en hybridisering bör ligga på att ersätta redundansen med batteri för att på så sätt gå med så få motorer igång som möjligt. Ytterligare bränslebesparing är möjlig utifrån att fartyget drivs med energi laddad vid kaj. Den potentialen är beroende av installerad kapacitet och landanslutningens laddkapacitet.

Även till kaj bör batterierna nyttjas för att möjliggöra användning av fartyget och dess utrustning utan att egna generatoraggregat startas upp.

Fördelar:

- Reducerat antal genset i drift med bibehållen redundans
- Lägre specifik bränsleförbrukning genom högre belastning (Denna effekt överskattas ofta då hänsyn till förluster i överföring och lagring missas)
- Möjlighet att gå utan förbränningsmotorer i drift vid miljöinsats, t.ex. oljesanering eller vid gång i känsligt område
- Väsentligt reducerat antal drifttimmar och tillhörande underhållskostnader för generatoraggregaten

Nackdelar:

- Kostnader för landinfrastruktur
- Kostnad för ombordinstallation
- Risk att laddning görs med lägre verkningsgrad om el genereras med genset istället för landkraft.
- Komplexitet

En djupare analys behövs för att fastställa relevant storlek på installationen men ett minimum bör vara en installation om 3 000 kWh. Det ger möjlighet att effekt- och redundansmässigt ersätta ett av de stora generatoraggregaten. Det bör noteras att potentiell besparing avseende CO₂-utsläpp är mycket större än de 5 % som nämns ovan om batteristorleken kan ökas och en större del av driften kan utföras med lagrad el som är laddad till kaj.

För det fall utrymmesbristen blir avgörande kan det värderas att avinstallera ett av fartygets stora generatoraggregat. Detta har gjorts i samband med hybridisering av färjor. Förutsatt att batterierna dimensionerats för att leverera en uteffekt minimum motsvarande ett generatoraggregat (2 MW) påverkas inte toppfarten eller manöverförmågan. Det enda som påverkas är tiden då maxeffekt och tillhörande toppfart kan nyttjas. Denna blir då med exemplet ovan begränsad till en dryg timma.

6.3.2 KBV031-S

KBV031-S har inte samma försättningar som KBV001-S för hybridisering. Detta i första hand på grund av den dieselmekaniska driften, men också delvis på grund av operationsprofilen, med en stor del av bränsleförbrukningen vid lägre effekter.

Med anledning av detta antas en lösning med en bränslmekanisk drivlina med PowerTake In (PTI) i form av en elmotor på respektive växel vara mest lämplig. Hybridiseringen utesluter inte användning av alternativa bränslen såsom metanol, varför benämningen bränslmekanisk används istället för dieselmekanisk.

Nuvarande växlar är försedda med PTI om 200 kW på vardera av de två växlar. Dessa är hydrauliskt drivna men funktionen används i stort sett inte. Detta innebär att möjligheten finns att ersätta den hydrauliska driften med elmotorer om 2 x 200 kW. Effektnivåerna är fullt tillräckliga för att täcka en stor del av fartygens drift vilket illustreras av exemplet nedan.

Exempel

Följande exempel är baserat på modelltest-data för KBV031-S. Installationens storlek baseras på vad som bedöms möjligt att fysisk få plats.

Effektbehov:

- Effektbehovet för 10 knop är 295 kW.
- Kan ytterligare sänkning av farten accepteras är effektbehovet för 7 knop 155 kW
- I exemplet nyttjas en hotellast om 70 kW

Batteriinstallation:

- Installation av 3 000 kWh
- För att säkerställa livslängden på batterierna nyttjas 60 % av installerad kapacitet vilket innebär en nyttjad kapacitet om 1 800 kWh. Detta tar också höjd för minskad kapacitet när batterierna åldras.

Laddkapacitet

För ett fartyg med liggstider på timmar, och inte minuter vilket ofta är fallet för färjor, blir det mest kostnadseffektivt att ladda fartyget med el-handske som kopplas in manuellt. Detta underlättar också för möjligheterna att ladda i annan hamn än hemmahamn.

- En landanslutning om 125 A som ger en laddningseffekt om ca 80 kW antas finnas tillgänglig. Detta laddningsalternativ är ett budgetalternativ som passar för fartyg med relativt långa laddningstider. Det kan jämföras med laddningsinstallationer för elbilar som kan ligga uppåt flera 100 kW eller färjor där laddningsinstallationerna kan ligga i MW-området, dock över kortare tid.
- 1 800 kWh laddas på 23 timmar

Räckvidd

Nedan är baserat på nyttjande om 60 % (1 800 kWh)

Fart [kn]	Effekt [kW]	Räckvidd [NM]	Uthållighet [timmar]
10	365	50	5
7	225	56	8
0 (DP)	200	-	9
0 (Hotell)	40	-	45

Sammantaget värderas batteridriften för följande driftfall:

- Transit i farter upp till 10 knop
- Dynamisk positionering
- Redundans vid manöver
- Hotellast till kaj eller till ankars

6.3.3 Konsekvenser av el-hybridisering

Konsekvenserna av el-hybridisering vid livstidsförlängning är förutom kostnad, kopplade till ökad vikt och behov av volym. Särskilt problematiskt blir det när batteriinstallation kombineras med ett bränsle med lägre energidensitet.

Vikt

I dagsläget är marinbatterier relativt tunga. Normalt väger de i spannet 8–14 kg/kWh. Det finns även lättare system neråt 5 kg/kWh. För vidare analys antas en vikt om 10 kg/kWh för en installation som sker idag. Utvecklingen drivs primärt av bilindustrin där man idag ligger under 5 kg/kWh och stora tillverkare såsom Tesla siktar på att vara nere på 2,5 kg/kWh inom 3-4 år. För installationer som värderas för installation runt 2030 är det rimligt att anta väsentligt högre energidensitet, dvs. lägre vikt per kWh. Det skall dock tilläggas att marina installationer rimligen kommer ha lägre energidensitet jämfört med bilar, till följd av effektuttag, kylning och säkerhetskrav.

Med exemplet ovan om 3 000 kWh beräknas en tillkommande vikt om 40–50 ton, vilket motsvarar ca 5 % av KBV031-S displacement. Detta bedöms hanterbart för KBV031-S och relativt okomplicerat för KBV001-S. För installationer som genomförs 2030 och 2040 är det rimligt att sikta på att installera batterier med motsvarande vikt men då med större kapacitet för att täcka in en större andel av driften.

Fysiska dimensioner

Batteriinstallationer är utrymmeskrävande. I dagsläget ligger utrymmesbehoven för batterirum på ca 8-12 l/kWh. För 3 000 kWh innebär det batterirum om 24-36 m³. Likt vikten väntas även volymen per lagrad energienhet sjunka kraftigt över kommande decennier.

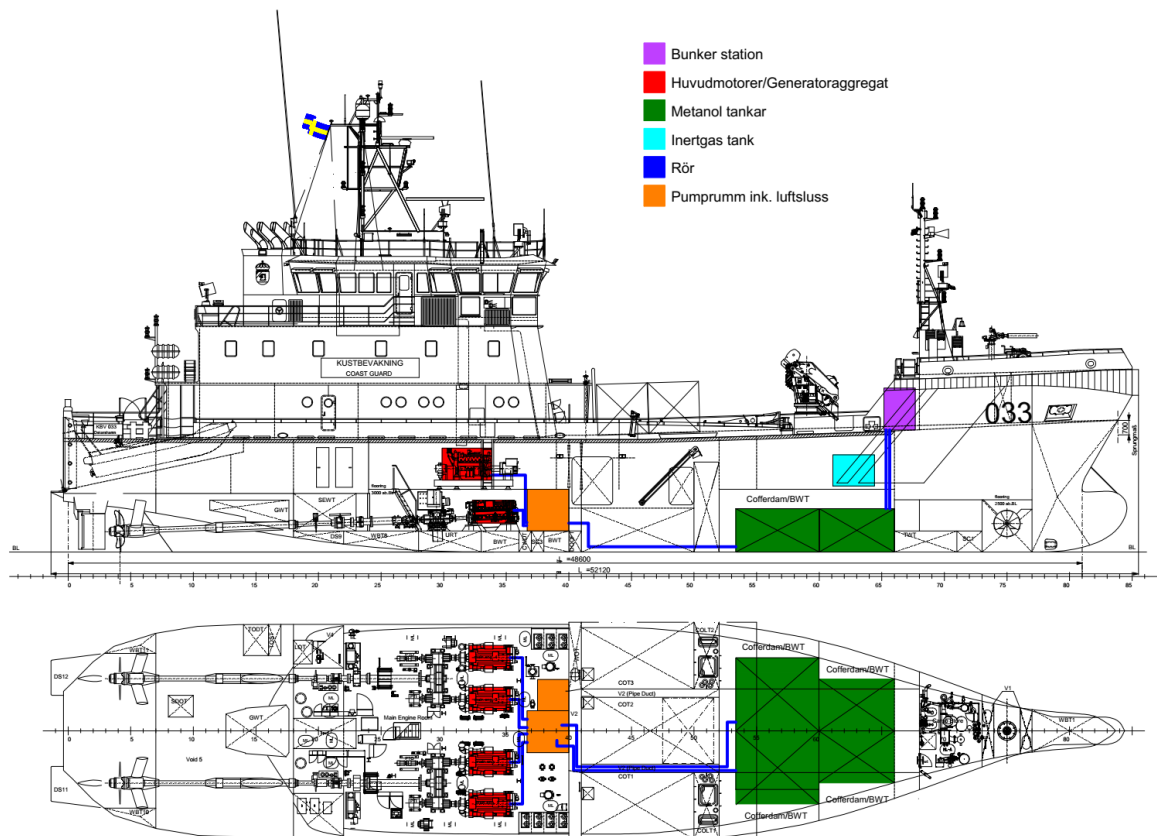
Kringsystem

Batteriinstallationen ställer krav på installation av kylsystem, ventilation och brandskydd.

6.4 Metanol och etanol

Etanol är inte testat som bränsle för kommersiell sjöfart och det finns inga exempel på installationer ombord på större fartyg. Med anledning av detta är det svårt att bestämma exakt hur en sådan installation ska utformas. Etanolen har dock liknande egenskaper som metanolen och är ett "low flashpoint fuel", vilket gör att en etanolinstallation antas bestå av liknande delsystem som en metanolinstallation. Etanol har dock högre energidensitet än metanol vilket gör att en längre räckvidd erhålls om etanol används istället för metanol för samma installation.

Figur 6.1 visar ett exempel på hur en metanoldrivlina skulle kunna påverka utformningen av KBV033 vid en livstidsförlängning. Figuren är en förenklad illustration där några av de större komponenterna/åtgärderna som krävs för en metanolinstallation innefattas.

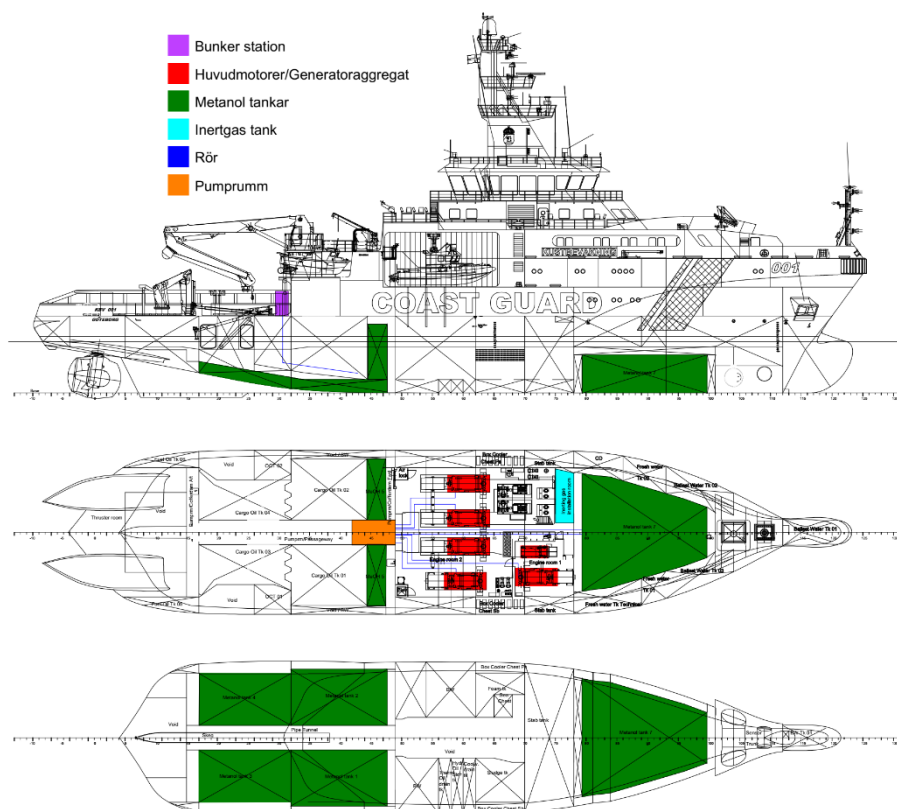


Figur 6.1 Ett förenklat exempel på hur KBV033 skulle kunna se ut med en metanoldrivlina.

I Figur 6.1 har en del av utrymmet i maskinrummet reserverats för ett separat pumprum med metanolpumpar, som behövs för att förse nya huvudmotorer/generatoraggregat med metanol. De gamla dieseloljetankarna, några ballastvattentankar och en större färskvattentank ersätts med metanoltankar och kofferdammar (eller ballastvattentankar). Färskvattentankarna skulle i detta fall behöva flyttas till ett annat utrymme. En separat bunkerstation och en inertgas-installation behöver installeras. Nya metanoltankar och inertgasinstallation tar i detta exempel upp del av lastutrymmet. Med metanoltankarna i Figur 6.1 fås en bunkerkapacitet som motsvarar 78 % av energimängden med nuvarande tankar för diesel, vilket förenklat också kan antas medföra en räckvidd motsvarande 78 % av dagens räckvidd med samma fartprestanda. En sänkning av fart jämfört med idag ger en längre räckvidd.

Om även det andra mindre generatoraggregatet, värmepannan och "thermal oil"-boliern, som idag är placerad i generatorrummet, ska drivas av metanol skulle dessa kunna flyttas närmare maskinrummet för att undvika längre rördragningar av dubbelmantlade metanolor. Huruvida det finns lämpliga metanoldrivna värmepannor och boilers är osäkert. Hur installationen med nödgenerator och dess bränsletank skulle kunna anpassas för metanol har ej undersökts.

Figur 6.2. visar hur en installation av metanoldrivna motorer skulle påverka utformningen av en livstidsförlängning av KBV001-S. I figuren som är en förenklad illustration har KBV001-S kompletterats med installationer nödvändiga för metanoldrift, endast några av de större komponenterna/åtgärderna är illustrerade.



Figur 6.2 Ett förenklat exempel på hur KBV 001, skulle kunna se ut med en metanoldrivlina.

Större delen av "Engine room 2" och en stor ballasttank har ersatts med de främre metanoltankarna. Akter om maskinrummet har befintliga lastoljetankar och dieseloljetankar byggts om till nya metanoltankar. Nuvarande tomtankarna under lastoljetankarna antas kunna användas som metanoltankar. Med metanoltankarna i Figur 6.2 fås en bunkerkapacitet som motsvarar 78 % av energimängden med nuvarande tankar för diesel, vilket förenklat också kan antas medföra en räckvidd motsvarande 78 % av dagens räckvidd med samma fartprestanda.

Det finns alternativa lösningar för hur KBV001-S och KBV031-S skulle kunna konverteras till metanoldrift i samband med en livstidsförlängning. Illustrationerna i Figur 6.1 och Figur 6.2 utgör därmed endast övergripande exempel på placering samt utformning av delsystem och utrustning. Det råder även en del oklarheter vad som regelmässigt krävs av olika system, t.ex. gällande kofferdammar eller ytterligare barriärer runt metanoltankar och hur dessa varierar beroende på om de är placerade över eller under vattenlinjen.

6.5 Kostnadsuppskattningar

Nedan värderas investeringskostnader samt påverkan på underhållskostnader för respektive bränslealternativ. Bränslepriset värderas inte nedan, ungefärliga bränslepriser framgår av Tabell 2.4.

Beräknad återstående livslängd för fartyget efter en livstidsförlängning och eventuell konvertering till alternativ framdrivning är av stor betydelse för kostnadskalkylen eftersom så väl investeringskostnader som bränslekostnader varierar avsevärt mellan de olika alternativen.

6.5.1 Biodiesel

Operation med biodiesel väntas inte innebära någon väsentlig skillnad i varken investerings- eller underhållskostnad jämfört med fossil diesel.

6.5.2 Metanol och Etanol

Investeringskostnad

I tidigare exempel har stora utrymmen antagits behöva byggas om till metanoltankar för att bibehålla fartygens nuvarande räckvidd. Dessa stora modifieringar av tank- och andra utrymmen får stora konsekvenser för fartygens arrangemang. Kostnaderna för dessa konsekvenser är dock mycket svåra att uppskatta.

Enklare kostnadsbedömningar har gjorts för modifiering av KBV031S och KBV001S till metanoldrift. Förutsättningar för dessa bedömningar är att nuvarande bränsletanksvolymer behålls, ca 55 m³ bränsle för KBV031S och 460 m³ bränsle för KBV001S. Det får den direkta följden att fartygens räckvidd minskar ca 56 %, eller att fartygen behöver bunkras 2.3 gånger oftare.

Beräkningarna har gjorts för konvertering av motorer till metanoldrift som bas. Kostnader för nödvändiga kring-system som inertgas-system, bunkerstationer, högtrycksbränslepumpar, dubbelmantlade rörsystem och luftslussar har uppskattats. Modifiering av stålstruktur och ommålning av tankar är också bedömda.

De kostnader som bedömts måste tas för högst preliminära. För att få en mer noggrann kostnad måste en mer detaljerad genomgång av en metanolkonvertering göras.

Kostnaden för metanol-konvertering av ett fartyg i KBV031-serien bedöms kosta 24 MSEK per fartyg.

Kostnaden för metanol-konvertering av ett fartyg i KBV001-serien bedöms kosta 42 MSEK per fartyg.

En metanolkonvertering av fartygen förutsätter att aktuella motorer finns i utförande för metanoldrift. I dagsläget finns endast ett fåtal motorer i metanolutförande. I forskningsprojektet GreenPilot (B. Ramne, 2018) har man med framgång lyckats konvertera Scania- och Weichai-motorer för drift med metanol av en lotsbåt. En konvertering av motorerna med en part extern från motorleverantörerna, som i fallet med GreenPilot, är också möjlig.

Underhållskostnader

Med metanol- eller etanoldrift tillkommer ett antal kring-installationer. Dessa installationer kräver ett visst underhåll, t.ex. ska sensorer kontrolleras och tryckkärl provtryckas. Med metanol- eller etanoldrift slipper man dock antagligen ett SCR-system, ett system som kräver en del underhåll. Underhållskostnaden för ett fartyg med metanol eller etanoldrift bedöms vara i samma storleksordning som ett fartyg med dieseldrift.

6.5.3 El-hybridisering

Investeringskostnad

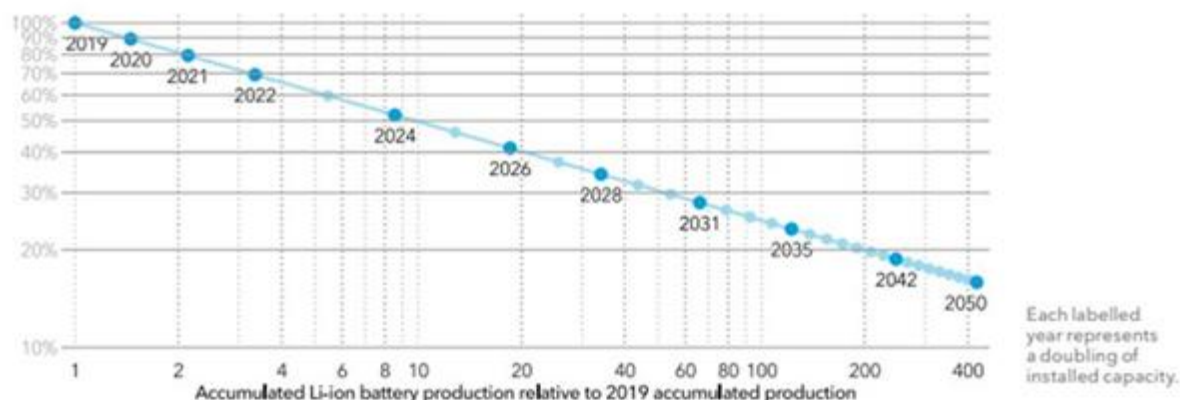
Kostnaderna för hybridisering utgörs till stor del av batterikostnaden. En kostnad på drygt 6 000 kr/kWh bedöms som rimlig för kostnadsberäkningar för studerade fartyg. Kostnaden är baserad på ett antal liknande installationer av varierande storlek.

Exempelvis uppgår kostnaden för anpassning till laddhybridframdriving för Älvskyttlarna i Göteborg till 12 miljoner kronor. Med effekt och energikapacitet om 400–500 kW respektive 960 kWh motsvarar det 24 000-30 000 kr/kW och 12 500 kr/kWh för hela installationen.

Priset för batterier väntas reduceras kraftigt de närmaste decennierna. Även om prisnivån för marinbatterier ligger väsentligt över den för bilar är det inte orimligt att vänta sig en liknande prisutveckling. Figur 6.3 visar prognos för elbilsbatteriernas utveckling ur DNV GL:s Energy transition outlook 2020. Jämfört med prisnivån 2021 väntas batteripriserna falla med drygt 60 % till 2030 och 75 % till 2040.

EV battery cost learning curve

Units: Fraction of 2019 price



Figur 6.3 Cost learning curve elbilsbatterier (DNV GL, 2020)

Kostnader för anpassningar utöver batterier utgör ca 50 % av totalkostnaden. För mindre installationer, likt Älvskyttlarna, skulle kostnaden per kWh då vara ca 8 000 kr/kWh år 2030 och ca 7500 kr/kWh år 2040.

I en rapport beställd av Norska Kystverket (DNV GL, 2018) anges merkostnaden för en hybridiserad vägfärja till 10-30 miljoner NOK vilket bedöms bekräfta siffrorna ovan. Vidare lyfts kostnaderna för investeringar i laddinfrastruktur i land till 20-40 miljoner NOK. Denna siffra väntas generellt vara väsentligt lägre för Kustbevakningens stationer om man väljer en långsammare laddning, kring 80kW (125A). Skillnaderna i investeringskostnad kommer skilja sig åt mellan stationer beroende på elnätets förutsättningar och behov av laddeffekt.

Underhållskostnader

Hybridisering har möjlighet att kraftigt reducera underhållskostnaderna kopplat till framdrivnings- och hjälpkraftmaskineri. Reduceringen erhålls genom ett minskat antal drifttimmar samt för en nybyggnation ett minskat antal installerade generatoraggregat.

Underhållskostnaderna kopplade till batterierna är relativt låga men då livslängden på batterierna inte motsvarar fartygets livslängd kommer de behöva bytas ut, vilket medför en betydande kostnad. Tack vare förväntat sjunkande pris och ökning av energidensitet så kommer dessa batteribyten möjliggöra kraftiga kapacitetsökningar vid respektive byte, särskilt under de närmaste två decennierna. Livslängden för batterier är beroende av antalet driftcykler, hur cyklerna ser ut och åldrande över tid vilket gör det svårt att sätta en definitiv livslängd. För studerande fartyg kan en livslängd på ca 10 år antas rimlig.

Applicerat på KBV031-S och KBV001-S

El-hybridisering av befintliga fartyg är relativt dyrt. Framför allt beror det på priset för marina batteriinstallation. Komponentkostanden bedöms bli lägre för KBV001-S, jämfört med KBV031-S, då KBV001-S redan är diesel-elektriskt. KBV001-S är dock en mer komplex plattform. Detta antas medföra att den totala kostnaden, där även kostnader relaterade till påverkan på angränsande system inkluderas, blir likvärdig för de båda fartygserierna. Investeringskostnaden för el-hybridisering vid tre olika tidpunkter har värderats. För båda fartygsserierna beräknas kostnaden för konvertering av ett fartyg med en 3 000 kWh-installation vara:

2020: 38 miljoner

2030: 25 miljoner

SSPA Sweden AB - Your Maritime Solution Partner

2040: 23 miljoner

Kostnadsminskningen fram till 2030 drivs av fallande batteripriser.

6.6 Energibesparingsåtgärder utöver framdrivning

Energibesparingsåtgärder har diskuterats i kap 3 och applicerats på KBV001-S respektive KBV031-S i kap 4. Med vissa undantag gäller detta även vid livstidsförlängning 2040. En livstidsförlängning förändrar delvis förutsättningarna jämfört med vad som beskrivits i kapitel 3 och 4.

För att minska klimatavtrycket har tidigare föreslagits att utrustning bör drivas elektriskt med landström när fartyget ligger till kaj. Fördelarna med detta minskar när bränslets klimatavtryck minskar men det finns fortfarande en nytta med det avseende underhållskostnader och minskade volymer av fossilfritt bränsle.

6.7 Sammanfattning livstidsförlängning KBV001S och KBV031S

Användning av dieselsubstitut framstår som det bästa alternativet då påverkan på förmågor och konverteringskostnaderna undviks.

Metanol eller etanol utesluts inte, men utrymmeskraven och därmed påverkan på förmågor är problematisk. Utrymmeskraven blir särskilt problematiska när alkoholerna kombineras med utrymmeskrävande batteriinstallationer.

Kostnads kalkylen för hybridisering kommer primärt att avgöras av kostnader för batteriinstallationer samt prisdifferensen mellan bränsle och el distribuerad från land.

Hybridisering minskar bränsleförbrukningen ombord och kan, beroende på installationens storlek, medföra en betydande reduktion av klimatpåverkan när batteridrift ersätter dieseldrift. Med anledning av detta rekommenderas Kustbevakningen att värdera hybridisering i närtid, eller åtminstone långt före 2040. Möjligen vore det lämpligt att istället för livstidsförlängning genomföra en så kallad halvtidsmodernisering vid en tidigare tidpunkt. Övriga energibesparingsåtgärder föreslagna i kapitel 3 och 4 bör också värderas både direkt, för halvtidsmodernisering och för livstidsförlängning.

Det noteras att det finns många och relativt stora osäkerheter kring prisbilden för bränslen och teknik. Påverkande faktorer är framför allt kommersiella faktorer, teknikutveckling och politisk inriktning och påverkan.

7 Nya miljöfartyg till 2031

Nya miljöfartyg som ska ersätta KBV010, KBV047-S och KBV050-S kommer att behöva vara förberedda för fossilfri framdrivning vid leverans 2031. Nedan presenteras en översikt över vilka framdrivningsalternativ och bränslen som kan vara mest lämpliga, samt vilka uppskattade merkostnader sådana installationer innebär jämfört med ett konventionellt framdrivningssystem.

Kustbevakningen bedömer att ersättningsfartygen blir större än dagens miljöfartyg, framför allt drivet av arbetsmiljökrav, varför det anses rimligt att utgå från en storlek nära KBV031-serien.

7.1 Kravbild nytt miljöskyddsfartyg

Kravbild för nytt miljöskyddsfartyg liknar mycket nuvarande driftsprofil och kapacitet för KBV031-S.

7.1.1 Operationsprofil

Kustbevakningen har fastställt att årsdriften för nytt miljöskyddsfartyg kan antas vara 1000 timmar. Baserat på driftdata från existerande miljöskyddsfartyg samt från KBV031-S antas att nytt miljöfartyg kommer ha en driftprofil med ett lägre fartuttag än KBV031-S hade vid dess projektering.

Toppfarten för fartyget är en mycket kostnadsdrivande fråga då det är avgörande för installerad effekt. Vidare när el-hybridisering värderas är även tiden då toppfarten skall vara tillgänglig en viktig parameter. Man kan tänka sig att ersätta en del av installerad effekt med ett effektuttag från batterier.

För jämförelse används modelltestdata från KBV031-S, se nedan. Det finns stora kostnads fördelar med att ha en lägre installerad effekt på framdrivningsmaskineriet och att använda batterier för att "boosta" toppfarten över kortare perioder, exempelvis några timmar.

Tabell 7.1 Modelltestdata KBV031-S

Fart[knop]	Axeffekt [kW]
6	72
8	158
10	284
12	722
14	1546
16	2894

7.1.2 Räckvidd

Det noteras att krav på räckvidd är direkt avgörande till varför ett flertal alternativa bränslen utesluts.

7.1.3 Bostadsutrymmen

Krav på bostäders storlek, utformning och utrustning ökar. Mot bakgrund av detta antas storleken på bostäderna i nytt miljöskyddsfartyg öka jämfört med existerande miljöskyddsfartyg och därmed också fartyget storlek. Med detta i beaktande har Kustbevakningen ansatt att nytt miljöskyddsfartyg antas bli storleksmässigt likt KBV031-S.

7.1.4 Lastkapacitet och oljeupptagningsförmåga

Oljeupptagningsförmåga och lagring antas behöva vara likvärdig med nuvarande KBV031-S. Det samma gäller fri däcksyta. Krav på fri däcksyta bidrar till att öka fartygets huvuddimensioner samt minskar möjligheten att bära bränslen som lagras ovan däck.

7.1.5 Isklass

Förmågan till gång i is och tillhörande klassnotation ökar fartygets energiförbrukning samt drift- och investeringskostnad. Följande negativa effekter följer av isklass:

- Mindre effektiv propulsor
- Högre installerad effekt
- Större displacement
- Dyrare skrov

7.2 Framdrivningskoncept

För de bränslen som värderas finns ett antal möjliga framdrivningskoncept, vilka inte är direkt kopplade till bränslet.

- Bränslemekanisk installation
 - Propulsorer i form av konventionella propellrar på axel, likt KBV031, eller poddar som drivs mekaniskt med motorer via växlar
- Bränslemekanisk hybrid-installation
 - Propulsorerna drivs mekaniskt med motorer via växlar
 - Växlarna förses med PTI vilka bestyckas med elmotorer som får elkraft från batteribank och eventuellt mindre generatoraggregat
- Bränsleelektrisk installation
 - Propulsorerna drivs av elmotorer på axel eller i poddar, likt KBV001-S
 - Kraft distribueras i elnät från batterier och generatoraggregat

Utöver detta finns även alternativet att kombinera en bränslemekanisk och en bränsleelektrisk installation genom att förse fartyget med båda drivlinetyperna i så kallad CODED-installation, Combined diesel-electric and diesel-mechanical installation. Installationen möjliggör framdrift med hög verkningsgrad och en mycket bra manöverförmåga men bedöms vara för kostsam och komplex varför den inte värderas vidare.

Då operationell flexibilitet är en viktig faktor förordas en bränsleelektrisk installation. Detta trots att en sådan installation har en lägre verkningsgrad än det mekaniska alternativet, se vidare 7.2.1. När en bränsleelektrisk installation kombineras med en batteriinstallation blir flexibiliteten mycket god och möjlighet finns att uppnå en mycket hög totalverkningsgrad. Om batterierna dimensioneras för relativt stora effektuttag kan också den installerade effekten för generatoraggregat minskas. Med möjlighet till stora effektuttag erhålls en relativt god förmåga att gå i is samt att möjlighet att uppnå en hög toppfart, om än över kortare tid. Möjlighet till stora effektuttag gör också att fartygen vid manöver inte behöver starta upp fler generatoraggregat för att erhålla manövereffekt. Rimligen bör det räcka med ett generatoraggregat i kombination med batterier vid förtöjningsmanöver. Med en sådan batteriinstallationen blir det också möjligt att gå helt utan förbränningsmotorer under operation i känslig miljö.

7.2.1 Verkningsgrad

Ur ett verkningsgradsperspektiv är en bränslemekanisk installation mer fördelaktig än en bränsleelektrisk. För jämförelse nyttjas exemplet nedan:

Verkningsgrad	Elektriskt	Mekaniskt
η Generator	96%	
η Transformator	99%	
η Omformare	99%	
η Kablage	99%	
η Motor	96%	
η Axel/Transmission	99%	97%
ηTotal	88%	97%

Jämförelse med batteriinstallation

Exemplet ovan är giltigt för konvertering av uteffekt från förbränningsmotor till propulsor. För värdering av elhybridisering blir det relevant att jämföra hela systemverkningsgraden från batteri eller bränsletank till propulsor. För det fall batteriet laddas med landström kan systemverkningsrader uppåt 85 % erhållas ombord vilket skall jämföras med ett bränslemekaniskt alternativ som endast når drygt 40 % verkningsgrad. Jämförelsen gäller för mindre installationer där batterivikten är i samma storleksordning som bränslets vikt.

7.2.2 Propulsorer

För nytt miljöskyddsfartyg värderas ett antal propulsionskoncept. Verkningsgrad, manöverförmåga och djupgående är viktiga parametrar för ett miljöskyddsfartyg.

- En propeller med ställbara blad
 - En stor propeller
Energieffektivt
Ökar djupgående
 - Kombineras med sidopropeller både i för och akter för att uppnå god manöverförmåga vid stillaliggande och förtöjning.
- Två propellrar med ställbara blad
 - Två mindre propellrar
Mindre energieffektivt
Reducerat djupgående
 - Bogtruster installeras men tillräcklig manöverförmåga erhålls utan aktertruster
- Två podar
 - Två podar
Mindre energieffektivt
Reducerat djupgående jämfört med en propeller, men större djupgående än med två axel propellrar
Ökade underhållskostnader

- Bogtruster installeras men tillräcklig manöverförmåga erhålls utan aktertruster

Baserat på referensfartyg bedöms ett två-propellerfartyg få ett djupgående på ca 2,5-3,0 m medan ett en-propellerfartyg bedöms få ett djupgående på ca 3,5-4,0 m.

Bedömningen görs att manöverförmåga, men framför allt, djupgående är så pass viktiga parametrar att två-propelleralternativet bör vara det primära alternativet. Med anledning av vikten av energieffektiv drift bör kommande projekt dock även värdera en-propelleralternativet.

7.2.3 Eldrift och hydrauldrift

För det fall framdrivningen är bränsleelektrisk finns möjligheten att utrusta fartyget med elektrisk och elhydraulisk utrustning. Är fartyget också hybridiserat med batterier är det möjligt att använda all utrustning till kaj utan att köra varken framdrivningsmaskineri eller generatoraggregat då batterierna har möjlighet att hantera effekttoppar vilket annars hade varit svårt med enbart en elektrisk landanslutning. För ett miljöskyddsfartyg finns stora möjligheter att driva största delen av utrustningen så som brandpumpar, bogpropellrar och kranar elektriskt. Det är dock inte troligt att all utrustning kommer att kunna drivas elektriskt varför bedömningen görs att ett hydraulsystem fortsatt kommer behövas för att driva t.ex. lastoljepumpar.

7.3 Värderade bränslen

Nedan värderas de bränslen som i kap 5 framstod som möjliga för installation i nytt miljöskyddsfartyg.

7.3.1 Biodiesel

Alternativet biodiesel bedöms vara det primära alternativet för nytt miljöskyddsfartyg då det utöver en ökad bränslekostnad inte bidrar till ökade kostnader jämfört med idag samt att samverka med försvarsmakten säkerställs genom detta. Vidare värderas biodiesel för kombination med alkoholer och hybridisering nedan.

7.3.2 Metanol och Etanol

Byggnation av nya miljöskyddsfartyg ger bättre möjligheter för att introducera metanol/etanol som bränsle jämfört med en livstidsförslängning. Detta eftersom det finns en större frihet i placeringen av tankar och utrustning då ingen utrustning eller struktur behöver byggas om, modifieras eller flyttas. Merkostnaden av metanolmotorer med kringssystem, istället för en dieselininstallation, blir mindre vid en nybyggnation jämfört med en livstidsförslängning. Dessutom kan utrymmen ombord användas mer effektivt, om man från början bygger fartyget anpassat för ett alkoholbränsle. Exempel på detta är att man vid nybyggnad kan planera tanklayouten så att man får ett effektivt platsutnyttjande, istället för att anpassa befintliga tankar eller bygga nya tankar i utrymmen som används för andra ändamål.

Oavsett om man bygger nya fartyg eller livstidsförslänger gamla miljöskyddsfartyg kommer man inte ifrån det faktum att metanolen och etanolen har en lägre energidensitet än ett dieselsubstitut. Det bedöms dock ändå som möjligt att bygga fartygen för metanol/etanol om man är villig att justera krav på prestanda som t.ex. räckvidd och fart eller om man på ett eller annat sätt utökar tankvolymerna.

Om man anser att det inte finns förutsättningarna för att nya miljöskyddsfartyg år 2030 ska drivas på metanol eller etanol, kan det vara aktuellt att bygga de nya fartygen så att de med mindre åtgärder kan konverteras till metanol- eller etanoldrift om förutsättningarna för dessa bränslen har förbättrats vid ett senare tillfälle, t.ex. år 2040. Exempel på åtgärder för att göra fartygen förberedda för alkoholbränslen är:

1. Planera tankarrangemanget så det enkelt kan anpassas från ett dieselsubstitut till ett alkoholbränsle. Alkoholerna behöver större tankvolym och är förenade med andra regler på var de får placeras.
2. Redan vid nybyggande planera plats och eventuellt förbereda för kända tillkommande installationer som t.ex. bunkerstationer, utrymmen för en inertgas-installation och dedikerade pumprum med luftslussar.
3. Dimensionera ventilationssystem för att uppfylla högre krav på ventilation som krävs för vissa utrymmen vid användning av metanol, även på vilka fläktar som monteras och placering av ventilationsöppningar bör beaktas.
4. Om även kringinstallationer som t.ex. pannor och nödgeneratorn ska gå på metanol så behöver placering av dessa tänkas igenom med avseende på t.ex. rördragning och extra bränsletankar.
5. Säkerställ att kritiska prestanda och egenskaper som blir svåra och/eller kostsamt att ändra vid ett senare tillfälle, t.ex. stabilitetskriterier, även uppfylls vid ett byte av drivmedel.
6. Dual fuel-motorer diesel/metanol eller diesel/etanol i en passande storleksordning för KBV031-S finns inte i dagsläget men om det finns 2030 kan det vara lämpligt att sätta in dem.

7.3.3 El-hybrid

För att erhålla en framdrivningseffekt för 12 knop antas en installerad effekt om ca 900 kW, vilket också bedöms täcka hotellasten. För att nå 14 knop för t.ex. fallet där man vill snabbt förflytta sig till ett område där oljeupptagning skall ske krävs en ytterligare installerad effekt om ca 900 kW. En batteriinstallation på 3 000 kWh skulle kunna leverera detta under 2–3 h medan en 6 000 kWh-installation skulle öka detta till 4-6 h. För det fall installerad effekt anpassas till 10 knop, vilket bedöms rimligt baserat på dagens drift, finns möjligheten att leverera effekten för 12 knop i 7–10 timmar och även 14 knop över flera timmar.

En batteriinstallation om 3 000 kWh, vilket värderats för installation vid livstidsförlängning av KBV031-S, antas på samma sätt som för KBV031-S täcka stora delar av en dags patrull men förutsätter att fartyget laddas minst en hel natt före varje patrull för att ha god effekt.

En batteriinstallation om 6 000 kWh bedöms mer relevant för nytt miljöskyddsfartyg då prisbilden väntas reduceras kraftigt till 2031. En sådan installation bedöms även möjliggöra flera dagars elektrisk drift även för de fall där den tillfälliga natthamnen inte erbjuder tillräcklig laddkapacitet. Sammantaget med den ökade räckvidden vid boost-läge blir prestandahöjningen jämfört med 3 000 kWh påtaglig.

Tillgänglig laddinfrastruktur kan dock begränsa möjligheterna att utnyttja batterierna fullt ut. För exemplet med 3 000 kWh, varav 1 800 kWh nyttjas, blir laddtiden över en 125A-anslutning ett dygn. Alltså räcker det inte med en natt för att erhålla full laddning. För fallet 6 000 kWh blir laddtiden således 2 dygn och det är därför troligt att man behöver se över möjligheterna för större laddinstallationer, med allt vad det innebär i infrastrukturkostnader. För 6000kWh varianten finns också möjligheten att laddnivå tillåts sjunka under en patrull, även om laddning sker nattetid, för att sedan laddas full mellan patrullerna.

7.4 Energibesparingsåtgärder utöver framdrivning

Vid nybyggnation finns möjligheter att mer kostnadseffektivt bygga in de funktioner och energibesparingsåtgärder som diskuterats i kap 3. Utöver framdrivningsåtgärder föreslås följande:

- Displacement optimeras

- Förmågor och kapaciteter värderas mot ökat displacement och tillhörande energiförbrukning
- Isklass
 - Behovet av isklass värderas mot tillhörande energiförbrukning
- Mindre enheter - dotterfartyg
 - Skeppsbåtar - enkel sjösättning
 - Obemannade enheter
- Utökad elektrisk landanslutning
 - Reducera drifttimmar på framdrivnings- och hjälpmaskineri
 - Möjliggöra elektrisk uppvärmning för de fall annan fossilfri uppvärmning ej är tillgänglig eller mindre prisvärd
 - Möjliggöra elektrisk drift av däcksutrustning
- Belysning
 - Låg-energi
 - Närvarostyrd
- Energiförluster
 - Effektivt klimatskal
 - Hög isoleringsgrad av system
- HVAC
 - Effektivt klimatskal
 - Centraliserade system
 - Behovsstyrda system
 - Anslutningar för värme och eventuellt kyla från land
 - Nyttjande av frikyla
 - Entalpiåtervinning i ventilationssystem
- Locked ship-funktioner
 - Energiförbrukande system konfigureras för olika driftlägen kopplade till fartygets drift och bemanning

7.5 Kostnadsuppskattningar

I följande avsnitt görs en grov kostnadsuppskattning över tillkommande kostnader för klimatanpassningen för nytt miljöfartyg avseende drivlineprincip och bränslealternativ.

7.5.1 Drivlineprincip

Studien har begränsats till att värdera och jämföra en diesel-elektrisk drivlina mot en diesel-mekanisk drivlina. Inom Kustbevakningen finns tidigare genomförda studier avseende prisdifferansen mellan diesel-elektrisk och dieselmekanisk framdrift. Studierna baseras på en framdrivningseffekt på 2 MW vilket gör dem relevanta för nytt miljöskyddsfartyg. Studierna pekar på en ökad investeringskostnad

för diesel-elektrisk drivlina på ca 60–70%. Kostnadsdrivande är framför allt tillkommande elektrisk utrustning men även ökad installerad effekt på grund av lägre verkningsgrad jämfört med en dieselmekanisk drivlina.

Driftskostnaderna däremot beräknas minska med 5–10%. Med en driftsprofil liknande den som är specificerad för KBV031-S och 30 års drift bedöms totalkostnaden för en diesel-elektrisk installation bli 10–20% högre baserat på dagens bränslepriser. Med kraftigt ökade bränslepriser minskar differensen för samma driftprofil eftersom bränslekostnadens andel av totalkostnaden ökar.

Tidigare genomförda studier har inte tagit hänsyn till besparingar kopplade till att fartyget drivs med energi lagrad i batterier ombord. Denna ökade totalkostnad som studien visar på blir inte giltig för ett hybridiserat fartyg. Underhållskostnader minskar och prisdifferensen mellan el och bränsle blir en avgörande faktor.

7.5.2 Biodiesel

Operation med biodiesel väntas inte innebära någon väsentlig skillnad i varken investerings- eller underhållskostnad jämfört med fossil diesel.

7.5.3 Metanol och Etanol

Det är svårt att bestämma merkostnaden för metanol- eller etanoldrift på nya miljöskyddsfartyg när det ej är bestämt hur de nya fartygen kommer se ut eller vad de ska klara av.

Bedömningen är att merkostnaden för att anpassa fartyg för metanol- eller etanoldrift kontra en ordinarie dieseldrift är mindre vid nybyggnation av fartygen än vid en livstidsförlängning. Antar man att nya miljöskyddsfartyg är i samma storlek som KBV031-S och med motsvarande maskineri, kan man mycket grovt uppskatta att merkostnaden för att bygga fartygen för metanol- eller etanoldrift istället för dieseldrift är 17 miljoner per fartyg.

7.5.4 El-hybridisering

Bedömningen görs utifrån två exempelinstallationer om 3 000 kWh respektive 6 000 kWh. För vidare studie rekommenderas att studera synergieffekter mellan diesel-elektrisk installation och batteriinstallation. Det bedöms inte rimligt att rakt av addera kostnaderna då kalkylen då innehåller system som är möjlig att integrera.

3 000 kWh

Baserat på kostnaderna som i avsnitt 6.5.3 uppskattas kostnaden för el-hybridisering av nytt miljöskyddsfartyg med kapacitet om 3 000 kWh till 24 miljoner per fartyg. Då installationen är större än referensinstallationen och att det rör sig om ett nybygge väntas kostnaden kunna reduceras till ca 20 miljoner.

6 000 kWh

En dubblerad kapacitet ställer högre krav på effektöverföring och utrymme samt påverkar övriga installationer i större utsträckning varför det bedöms rimligt att anta en dubblerad kostnad jämfört med 3 000kWh.

7.5.5 Energibesparingsåtgärder

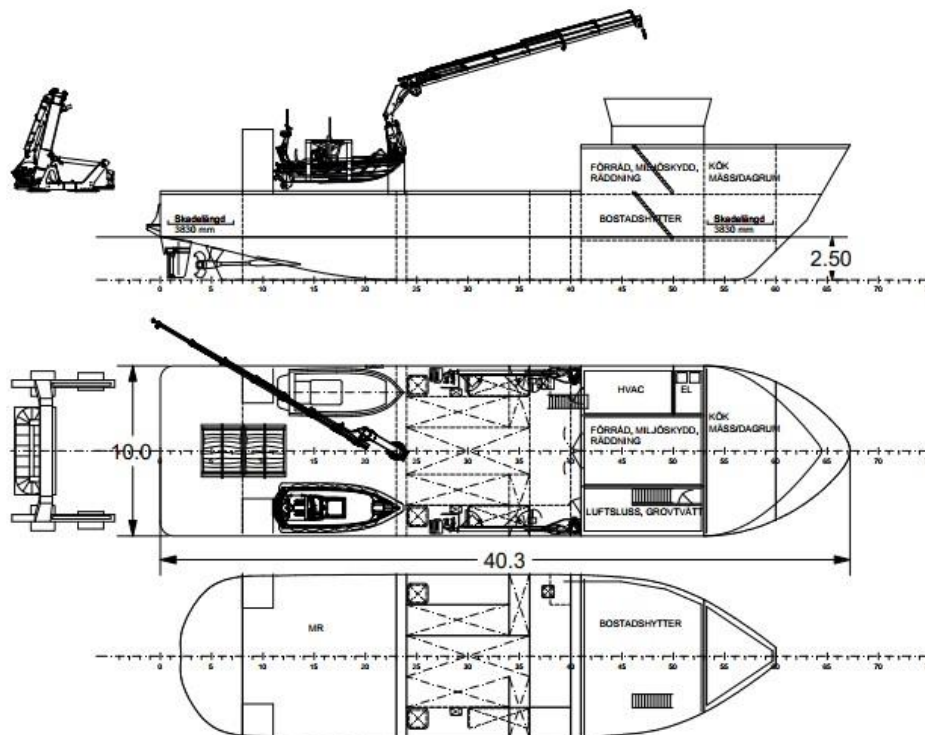
Föreslagna energibesparingsåtgärder kommer innebära en viss ökning av kostnad för nybyggnation, men med mycket kort återbetalningstid.

7.6 Alternativ utformning av nya miljöskyddsfartyg

Mycket av ett fartygs funktioner och egenskaper bestäms när man sätter kraven på det. Detsamma kan också sägas vara giltigt för dess energi- och bränsleförbrukning. Om fartyget har stor kapacitet av lastförmåga, förmåga att bära olika utrustning och hålla hög fart blir dess storlek och vikt stor och därmed även dess energiförbrukning. Eftersom fartyget har en lång livslängd får ett större fartyg mycket högre energiförbrukning än motsvarande mindre fartyg.

Följande är en beskrivning av hur ett nytt miljöskyddsfartyg skulle kunna utföras utan att dess storlek blir allt för stor.

Fartyget är tänkt att inte vara mycket större än nuvarande äldre miljöskyddsfartyg, KBV047, KBV010 och KBV050. Det skall ha litet djupgående för att kunna verka i grunda vatten. Det skall kunna ha stor förmåga att hantera olika slags oljesaneringsutrustning och god förmåga att ta hand om upptagen olja i tankar. Med ett stort flexibelt arbetsdäck skulle fartyget kunna utgöra en effektiv plattform för olika slags uppgifter. Oljesaneringsutrustning för det aktuella uppdraget skulle kunna lastas ombord, tillsammans med arbetsbåtar eller annan behövd utrustning.



Figur 7.1 Exempel på hur ett nytt miljöskyddsfartyg med begränsad storlek skulle kunna utformas

Det som främst skiljer det beskrivna konceptet mot ett större miljöskyddsfartyg, som KBV031, är att det helt saknar bostäder. Fartyget är tänkt att verka med växlande besättning som inte bor kvar ombord. Med skeppsbåtar ska besättningsbyten kunna ske. Vid längre insatser i ett område växlas besättningen kontinuerligt i skift och de bor iland. Det är enbart tänkt att ha utrymme för vila och för bespisning ombord, allt övrigt utrymme är för fartygsdriften och för tjänsten.

Fartyget skulle bli mindre utan utrymmen för bostäder ombord. Med den mindre storleken och den följande mindre vikten skulle fartygsskrovet kunna optimeras för en lägre energiförbrukning. Med den mindre fartyglängden kan fartyget dock inte göra samma höga fart som KBV031S kan.

7.7 Sammanfattning nya miljöfartyg

Vid kravsättning på nya fartyg bestäms mycket av dess framtida energiförbrukning. Om man vill reducera energiförbrukningen på nya miljöfartyg är det därför viktigt att sätta kraven med beaktande av detta.

Användning av biodiesel framstår som det bästa alternativet då påverkan på förmågor är lägst, och installationskostnaderna är likt en ordinarie dieselininstallation. En el-hybridisering skulle kunna vara lämpligt på nya miljöfartyg. En osäkerhet finns angående laddkapacitet i de olika hamnarna. El-hybridiseringen innebär en merkostnad jämfört med en ordinarie dieselininstallation.

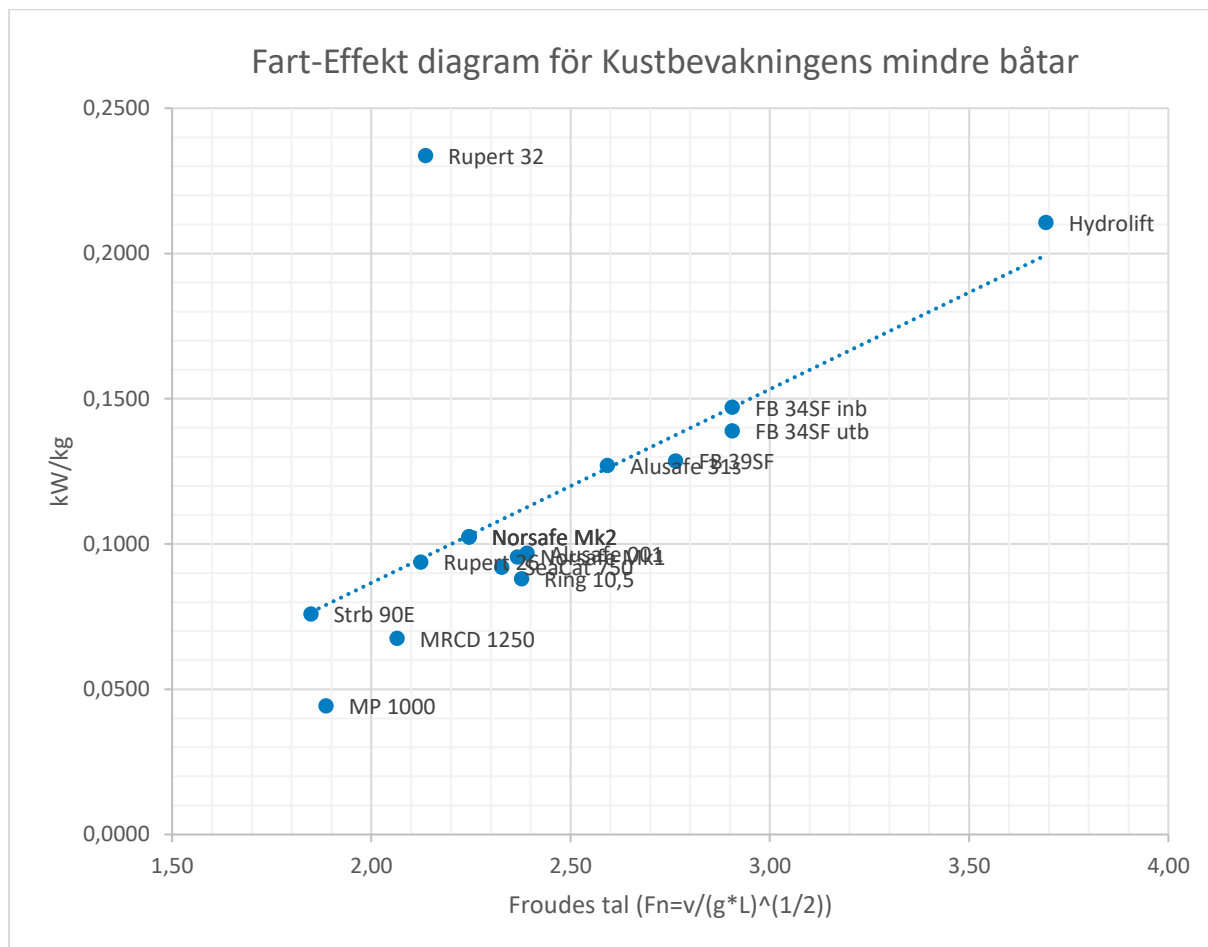
Metanol eller etanol utesluts inte på nya miljöfartyg, men utrymmeskraven och därmed påverkan på förmågor är problematisk. Tekniken och infrastrukturen för metanol- och etanoldrift är idag inte lika utvecklad som för diesel/dieselsubstitut. En metanol- eller etanolinstallation innebär även en merkostnad jämfört med en ordinarie dieselininstallation. Att anpassa ett fartyg till metanol- eller etanoldrift vid nybyggnationen är enklare än vid en livstidsförlängning. För att underlätta en eventuell framtida konvertering av nya miljöfartyg, kan det vara lämpligt att redan vid byggnation förbereda fartygen till viss del för metanol eller etanol.

Stora osäkerheter finns idag vad gäller framtida bränslepriser, bränsletillgång, teknikutveckling samt påverkan från politiska styrmedel. Dessa kommer säkerligen att ändras fram till 2030 och vidare till 2040, vilket kommer påverka vilka drivmedel, och typer av drivlinor, som är lämpliga på nya miljöfartyg. Vilka lösningar som är lämpliga på nya miljöskydds-fartyg bör därför utvärderas kontinuerligt.

8 Högfartsbåtar till 2040

Högfartsbåtar är planande båtar. En båt är planande när den hydrodynamiska lyftkomponenten överstiger den deplacerande lyftkomponenten. Vid planing lyfter den hydrodynamiska kraften som uppstår av båtens rörelse delvis skrovet ur vattnet, så att båten till del går ovanpå vattnet. Eftersom en planande båt delvis skall lyftas ur vattnet är det till skillnad från en deplacerande båt viktigare att båten är lätt. Detta gäller speciellt om man vill hålla den installerade motoreffekten för båten låg, och båtens fart hög.

Ett samband mellan fart och installerad effekt på Kustbevakningens mindre högfartsbåtar kan ses i Figur 8.1 där den installerade effekten är presenterad som kW/ton och farten som Froudes tal.



Figur 8.1 Fart-effekt kurva för Kustbevakningens mindre högfartsbåtar. Baserad på data från Kustbevakningens datainsamling (Kustbevakningen), Rupert 32 har antagligen fel fart i Kustbevakningens datainsamling.

8.1 Energibesparingar för höghastighetsbåtar

8.1.1 Designrelaterade åtgärder

Det finns många designrelaterade parametrar som avgör en planande båts prestanda. Exempel på dessa är vikt, installerad effekt, drivlinans utformning, tyngdpunktens placering och skrovets bottenvinkel. Dessa optimeras redan från början av respektive tillverkare för att uppnå önskade prestanda och sjöegenskaper.

Det finns alltid utrymme för förbättringar om man vill göra just energibesparingar, men dessa är ofta känsliga avvägningar. Som exempel kan man enkelt reducera den installerade effekten ombord på en

båt om man har en mindre bottenvinkel, detta leder dock till mer slamning och sämre förarmiljö då båten kör i vågor. Ett annat exempel är att man kan reducera vikten på båten genom att bygga lättare och ta bort onödig utrustning och på så sätt reducera behovet av den installerade effekten. Frågan är dock vad som är onödig utrustning och hur lätt man vågar bygga.

Det finns även ett flertal designrelaterade åtgärder som inte används i någon större utsträckning idag och som enligt leverantörer kan minska den installerade effekten/energiförbrukningen. Exempel på detta är annorlunda utformning och placering av sprutlister/steglister, se t.ex. Petestep, (Petestep, 2020).

En annan metod för energibesparing på höghastighetsbåtar som inte används i någon större utsträckning är bärplan. Bärplan på båtar är ingen ny teknik, den har funnits sedan tidigt 1900-tal. Idag finns det mindre foilande högfartsbåtar som fritidsbåtar. Huruvida denna teknik skulle vara lämplig för Kustbevakningens operationella mönster är oklart.

8.1.2 Operationella åtgärder

För högfartsbåtar är det ej troligt att man kan göra större energibesparingarna genom eco-driving i form av långsammare accelerationer och retardationer. För höghastighetsbåtar är accelerationsfasen oftast kort i förhållande till resten av sträckan, därför finns där endast små besparingar att göra i denna fas. En enkel och lämplig åtgärd för att reducera bränsleförbrukningen kan dock vara att ta fram bränsleförbrukningsdiagram för ett antal lastfall som kan användas som vägledning för förarna.

Det finns möjlighet att installera effektvred eller brytare på inombordsmotorer, där man med vredet kan välja vilken "rating" man vill köra på. Med ett sådant vred skulle man kunna ha ett läge för hög effekt och ett för låg effekt. Detta skulle kunna vara en lösning där man vid övning/patrullering endast får köra på en lägre effekt och vid utryckning/nöd kan köra på en högre effekt. En sådan lösning skulle kunna reducera bränsleförbrukningen på högfartsbåtarna samtidigt som det skulle ge en längre livslängd på motorerna (antaget att man för det mesta kör på en lägre effekt).

8.1.3 Maskin- och systemrelaterade åtgärder

Tekniken i drivlinan från motorn till propeller kan idag anses som en mogen teknik och det är inte troligt att några större framsteg kommer göras som väsentligt förbättrar verkningsgraden för drivlinan.

Att bygga högfartsbåtar som parallellhybrider/laddhybrider där en extra batterigrupp används för att ge en kortare extra uteffekt vid t.ex. högfart eller att man delvis kan köra på endast el är möjligt. Patrullfartyg/MOB- eller FRB-båtar skall dock ofta kunna köra full fart under en längre tid. Då skulle det behövas en relativt stor batterigrupp som kan leverera effekt under en längre tid. Den ökade vikten för batterier kräver extra effekt från drivlinan för att nå motsvarande hastighet.

8.1.4 Yttre faktorer

Att använda yttre faktorer som sol och vind anses ej relevant för att göra energibesparingar på högfartsbåtar.

Som exempel har en Norsafe Magnum MK2 en installerad effekt på 292 kW. En solcellsanläggning på 5 kW kräver en yta på ca 25-30 m², (Solcellskollen, 2020)). Det skulle innebära att en Norsafe Magnum skulle behöva utrustas med ca 1 500 -1 800 m² solceller för att ersätta den fossilbränsle driven motorn.

8.2 Inombordsmotorer för högfartsbåtar

De vanligaste inombordsmotorerna för högfartsbåtar är idag dieselmotorer. Dessa kan efter godkännande av motortillverkaren köras på dieselsubstitut som t.ex. HVO eller FAME. Inga modifikationer behöver göras på själva motorn vid användning av HVO.

Dieselmotorer som installeras efter 2021, med en effekt på mer än 130 kW kommer behöva uppfylla utsläppskraven för NO_x, IMO Tier III (Transportstyrelsen, 2020). Som tekniken ser ut idag behöver de därför kompletteras med ett SCR system. Detta kommer antagligen även behövas för motorer som körs på dieselsubstitut.

Metanolmotorer som skulle vara lämpliga på Kustbevakningens högfartsbåtar tillverkas ej i någon större utsträckning idag. Det är möjligt att konvertera dieselmotorer, gasmotorer och etanolmotorer till metanoldrift vilket har gjorts i t.ex. projektet Green Pilot, (B. Ramne, 2018). Preliminära resultat från Green Pilot-projektet visar att sådana metanolmotorer inte behöver kompletteras med ett SCR-system för att reducera NO_x utsläppen, efter 2021. Det finns även bränsleceller för metanol som har använts på mindre båtar, (Innogy, 2018).

Lämpliga etanolmotorer och CBG-motorer (CNG-motorer) för högfartsbåtar finns idag som lastbilmotorer (Scania, 2020), men ej som marinkonverterade inombordsmotorer.

Elektriska inombordsmotorer för marina applikationer har funnits under en lång tid och finns i en mängd olika utföranden och effektklasser.

Bränsleceller för vätgas tillverkas idag av ett flertal olika tillverkare. På mindre marina plattformar har bränsleceller använts på t.ex. flodkryssare, (Zemships, 2020). Där två stycken bränsleceller på totalt 96 kW installerats. Det går även att använda vätgas direkt i en förbränningsmotor. Detta har gjorts i projektet Hydroville där två Volvo Penta D4 konverterats för att kunna drivas med vätgas med diesel som pilotbränsle, (Hydroville, 2020).

8.3 Utombordsmotorer

De vanligaste utombordsmotorerna idag är bensinmotorer. Det finns dock flera leverantörer som tillverkar utombordsmotorer som går på diesel, exempel på dessa är OXE-diesel, Yanmar och COX marine. Dieselutombordare kan precis som inombordsmotorer efter godkännande utav motortillverkaren köras på dieselsubstitut.

Ingen lösning på hur dieselutombordare som är större än 130kW skall klara IMO utsläppskrav för NO_x Tier III finns för nuvarande. Eventuellt kommer det finnas möjlighet att ansöka om avsteg från dessa krav, för dieselutombordare hos Transportstyrelsen.

Metanolutombordsmotorer finns ej idag. Men det är möjligt att konvertera bensinutombordsmotorer till metanoldrift. Detta pågår bland annat i projektet Greenboat, (Greenboat, 2020). Etanol och biogas utombordsmotorer finns ej att köpa idag. Men rent tekniskt så är det möjligt att tillverka dem.

Elektriska utombordare finns idag från ett flertal tillverkare. Effekten varierar mellan 0,4 kW upp till 110 kW, exempel på tillverkare är Evoy, (Evoy, 2020). Större elektriska utombordsmotorer kommer troligen att finnas 2040.

8.4 Tillgänglig teknik om 20 år

För de bränslen som analyseras i denna studie finns det i dag, för de flesta fall, redan teknik som gör det möjligt att använda dessa i inom- och utombordsmotorer för höghastighetsfartyg. Även om denna teknik idag innebär kostsamma konverteringar av motorer eftersom produkten inte är kommersialiserad och tillverkas i någon större skala. En skala över teknologisk mognadsgrad för

respektive bränsle finns presenterad i Figur 2.7. För vilka bränslen som skulle vara lämpliga på högfartsbåtar se 8.5.

Om det inom 20 år kommer en efterfrågan på t.ex. marina metanol- eller etanolmotorer för mindre högfartsbåtar, så kommer det förmodligen också finnas tillverkare som bygger eller konverterar denna typ av motorer i större skala. På det viset kan man också få ner priserna för den teknologin som redan finns.

Det finns en osäkerhet över vilka miljökrav som kommer att gälla 2040. Kommer t.ex. kraven på NOx-utsläpp att skärpas ytterligare från IMO Tier III, så skulle detta kunna kräva att ett SCR-system även behövs på en metanolmotor, eller att befintliga SCR-system för dieselinombordare ej kommer att fungera.

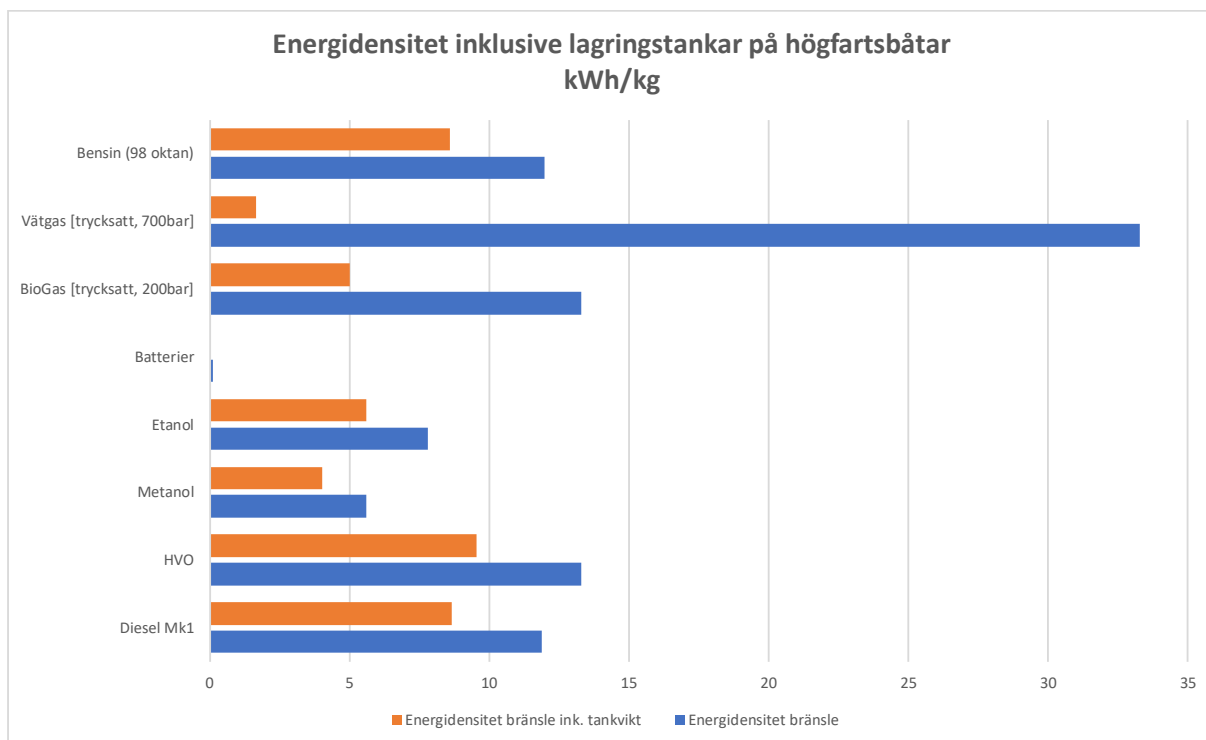
8.5 Fossilfria bränslen som är lämpliga för högfartsbåtar

Kustbevakningens höghastighetsbåtar går relativt få gångtimmar per år (Datainsamling - Kustbevakningen). Därför kan kryogena bränslen som LBG och LH2 inte anses som relevanta eftersom det kräver att avkoket från bränslena tas omhand.

Om högfartsbåten ska tankas från ett moderfartyg och moderfartyget använder ett annat bränsle från högfartsbåten, måste särskilda tankar för högfartsbåtens bränsle tillföras till moderfartyget.

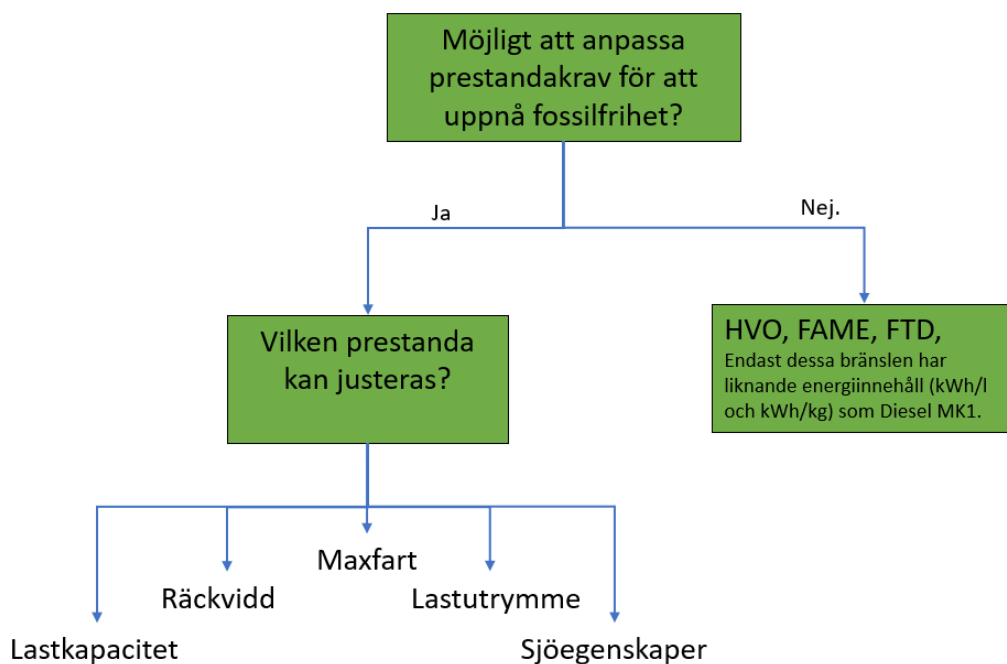
Som tidigare påpekat är vikt och volym två viktiga parametrar för små planande båtar. Om man jämför energiinnehåll och energidensitet (kW/kg och kW/m³) för olika bränslen, se Figur 2.5, framgår att det endast är dieselsubstituten som har liknande energidensitet som diesel MK1.

De olika bränslena har ganska olika lagringsförutsättningar ombord. Vissa bränslen kan lagras i vanliga rostfria tankar och andra bränslen behöver lagras i tryckkärl som är dimensionerade för höga tryck. För mindre höghastighetsbåtar kan det vara mer relevant att jämföra kW/kg för respektive bränsle inklusive vikten för lagringsutrustning jämfört med att endast jämföra energidensiteten av respektive bränsle. En uppskattning av energidensiteten av respektive bränsle inklusive lämplig lagringsutrustning på en högfartsbåt kan ses i Figur 8.2. Det skall dock tilläggas att detta endast är ett exempel, eftersom det finns många olika varianter av tankar som är lämpliga för att lagra både diesel och vätgas.



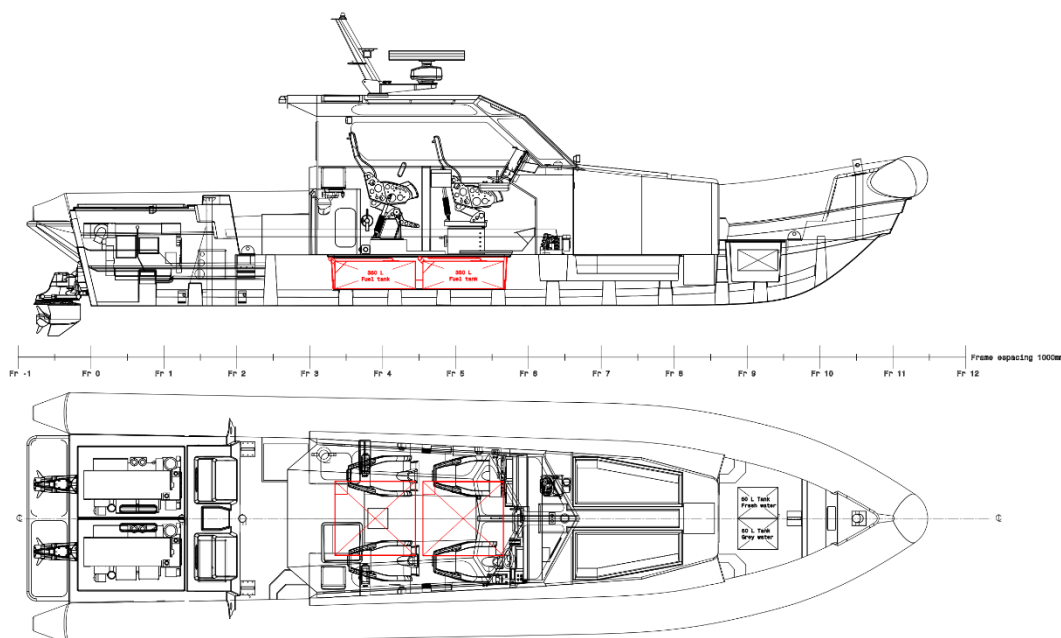
Figur 8.2. En uppskattning av energidensitet av relevanta bränslen som är lämpliga på högfartsbåtar, exklusive och inklusive vikt för lagringstankar. Vätgas baserat på 76 l kolfibertankar från Hexagon, 700 bar (Hexagon, 2017), Biogas baserat på 90 l CNG-tankar från Hexagon, 220 bar (Hexagon, 2020), alla flytande bränslen räknat på 350 l tank i rostfritt stål.

Det är enbart dieselsubstituten som har ungefär samma energidensitet som diesel Mk1 eller bensin. Detta innebär att om man vill ha en högfartsbåt som går på t.ex. metanol, etanol, biogas eller vätgas istället för bensin, diesel och dieselsubstitut så kommer man att få en båt med lägre prestanda jämfört med vad motsvarande bensin-, diesel- eller dieselsubstitut-båt har. För att bestämma ett lämpligt bränsle för Kustbevakningens högfartsbåtar behöver man därför ta ett beslut om det är möjligt att anpassa prestandakraven eller inte, och vilken prestanda som man i sådant fall kan justera, se Figur 8.3. Typiska prestanda som kan justeras är räckvidd, lastkapacitet, lastutrymme eller maxfart.



Figur 8.3. Finns möjligheten att anpassa prestandakrav för att uppnå fossilfrihet

För att exemplifiera diagrammet ovan kan man ta Utsjö-RIB KBV 474 och förenklat illustrera hur denna skulle påverkas av olika bränslealternativ, se Figur 8.5. KBV 474-477 är en 12,5 m RIB som gör upp till 43 knop. Båten har två inombords dieselmotorer på totalt 540 kW och två stycken drivmedelstankar på totalt 700 l, (Kustbevakningen). En illustration av båten kan ses i Figur 8.4

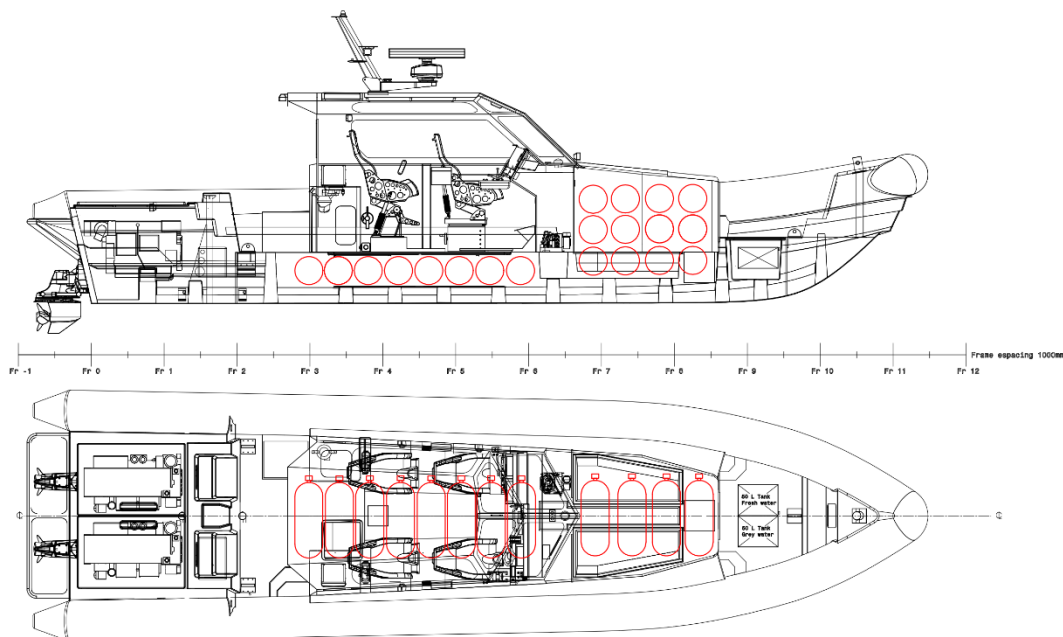


Figur 8.4. KBV 474-477 som den ser ut idag, med 2 x 350 l dieseltankar

Byter man bränslet till ett dieselsubstitut får man beroende på vilket dieselsubstitut man väljer samma räckvidd som man får med diesel. Byter man istället bränslet till etanol eller metanol, antaget

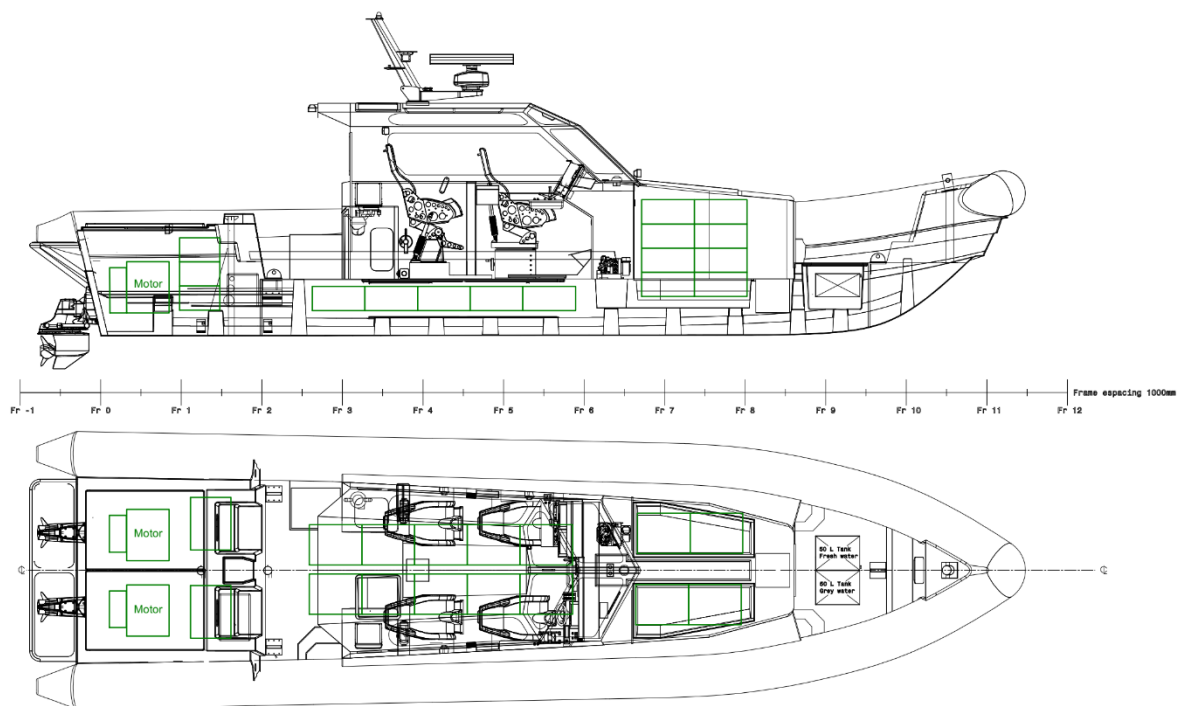
att samma drivlina kan användas och att den ger samma effekt, kan man mycket förenklat säga att räckvidden blir ca 63 % respektive 45 % av den ursprungliga räckvidden med diesel. Den befintliga maxfarten, lastutrymmet och lastvikten kan bibehållas med undantag för eventuella begränsningar från ytterligare installationer som krävs för att använda etanol/metanol.

Byter man bränsle till CBG (220 bar) och antar att samma drivlina kan användas och ger samma effekt, kan man se en förenklad bild på hur detta skulle kunna se ut i Figur 8.5. Energiinnehållet i tankarna motsvarar ca 66 % av energiinnehållet i de ursprungliga dieseltankarna. Med konfigurationen i Figur 8.5, förlorar man räckvidd, och lastutrymme i förhållande till den ursprungliga dieseldrivlinan. Den sammanlagda vikten av CBG och tankarna i exemplet är något tyngre än ursprunglig den för diesel och dieseltank, därför förlorar man delvis även lastkapacitet och maxfart.



Figur 8.5. KBV 474-477 med CBG-tankar. CBG-tankarna i illustrationen innehåller ca 70 % av energiinnehållet av vad som finns i de ursprungliga dieseltankarna, CBG-tankar från Hexagon.

Byter man bränsle till el, d.v.s. batterier och elmotor kan man se en förenklad illustration över hur det skulle kunna se ut i Figur 8.6. Energiinnehållet i batterierna motsvarar ca 5 % av energiinnehållet av vad som finns i de ursprungliga dieseltankarna. En el-batteri-drivlina har ca dubbelt så hög verkningsgrad som en drivlina med dieselmotor (se Figur 2.5) så räckvidden skulle bli ca 10 % av den ursprungliga dieselmotorkonfigurationen. Detta inkluderar dock inte den förlorade räckvidden p.g.a. ökat skrovmotstånd som en effekt av den tillkommande vikten och eventuell tyngdpunktsförskjutning från batterierna. Med batterikonfigurationen i Figur 8.6 förlorar man maxfart, räckvidd, lastkapacitet och lastutrymme i förhållande till den ursprungliga dieseldrivlinan.



Figur 8.6. KBV 474-477 med batterier och elmotor. Batterierna i illustrationen innehåller ca 5 % av energiinnehållet av vad som finns i de ursprungliga dieseltankarna. Baserat på batterier från Corvus Energy, (Corvus Energy, 2020), och en elmotor från Danfoss (Danfoss, 2020).

8.6 Regler för högfartsfartyg

Etanol, metanol, CBG och vätgas har en flampunkt som är mindre än 60°C, vilket innebär att om de skall användas på eller i närheten av SOLAS-fartyg så skall de uppfylla IMO:s IGF-kod eller få ett undantag från Transportstyrelsen.

Regelverk som t.ex. IMO IGF-koden och LR Rules for the Classification of Methanol Fuelled Ships (Lloyd's Register, 2020) är skrivna för större fartyg och är ej direkt applicerbara på mindre högfartsbåtar. Ett exempel är att det enligt LR:s regler krävs att metanoltankarna skall vara minst 800 mm från sidobordläggningen och övriga utrymmen. Klassificerings-sällskap kan dock generellt tillåta avvikelser från reglerna så länge man kan påvisa att systemet är utfört så att det når samma säkerhet.

Eftersom det inte finns några regler som är direkt anpassade på mindre höghastighetsbåtar, och det är få båtar som faktiskt blivit godkända av Transportstyrelsen, så är det svårt att veta exakt vilka krav som kommer att ställas på högfartsbåtar med bränslen som har en låg flampunkt.

En del av Kustbevakningens högfartsbåtar används i nuläget inte i närheten av SOLAS-fartyg eller har undantag från Transportstyrelsen eftersom de idag går på bensin, vilket har en flampunkt under 60°C.

8.7 Kostnadsuppskattningar av ny Teknik för högfartsbåtar

Grovt uppskattade merkostnader för att installera fossilfria framdrivningsalternativ på en större högfartsbåt typ MRCD 1250 (KBV 474-477) och en mindre högfartsbåt typ Norsafe Mk2 finns presenterade i Tabell 8.1 Dessa kostnader är grovt beräknade och skall tolkas som en antydning om merkostnader för respektive bränsle.

Kostnaderna gäller för nybyggnation och inte ombyggnation. Kostnaderna är ökade kostnader jämfört med ett nytt konventionellt framdrivningssystem för ett dieselbränsle. Större antaganden som är gjorda för respektive drivmedelsalternativ är listade. Kostnaderna inkluderar endast installationskostnader per båt och inte driftkostnader eller kostnader för eventuell infrastruktur. För de bränslen där det ej idag finns kommersiella "off the shelf" produkter som skulle passa en högfartsbåt, antas det att motorn måste konverteras. Konverteringskostnaden är inkluderad i kostnaderna, det antas dock att denna konvertering sker i relativt stor skala inte för enstaka motorer. Kostnaderna är baserat på den teknik och de prisuppgifter som finns tillgängliga idag.

Tabell 8.1. Grovt uppskattade merkostnader för att installera fossilfria bränslealternativ ombord på en större och en mindre av Kustbevakningens högfartsbåtar. Kostnaderna gäller för nybyggnation inte ombyggnation.

Drivmedel	Större antaganden	Merkostnad från ordinarie diesel-installation. Större högfartsbåt (typ MRCD 1250)	Merkostnad från ordinarie diesel-installation. Mindre högfartsbåt (typ Norsafe Mk2)	Kommentarer
Diesel	SCR-installation behövs till respektive dieselmotor	0 SEK	0 SEK	Referensinstallation.
HVO	SCR-installation behövs till respektive dieselmotor	0 SEK	0 SEK	Samma kostnad som för ordinarie dieselinstallation.
Etanol	SCR-installation behövs ej. Mängden etanol motsvarar 60 % av energiinnehållet från referensinstallationen. Omfattning av säkerhetshöjande installation (eg. dubbel pipiga rör och nitrogen täcke i metanoltanken) i likhet med projekt Green pilot.	600 000 SEK	500 000 SEK	
Metanol	SCR-installation behövs ej. Mängden metanol motsvarar 45 % av energiinnehållet från referensinstallationen. Omfattning av säkerhetshöjande installation (eg. dubbel pipiga rör och nitrogen täcke i metanoltanken) i	600 000 SEK	500 000 SEK	

Drivmedel	Större antaganden	Merkostnad från ordinarie diesel-installation. Större högfartsbåt (typ MRCD 1250)	Merkostnad från ordinarie diesel-installation. Mindre högfartsbåt (typ Norsafe Mk2)	Kommentarer
	likhet med projekt Green pilot.			
CBG (200bar)	SCR-installation behövs ej. Mängden CBG motsvarar 63 % av energiinnehållet från referensinstallationen. Omfattning av säkerhetshöjande installation i likhet med projekt Green pilot.	800 000 SEK	600 000 SEK	Lagringstankar är prisdrivande jämfört med dieselinstallation. Lastkapacitet på båtarna minskar, vikten på båtarna ökar.
Vätgas (700 bar)	Bränslecell. Mängden vätgas motsvarar 25 % av energiinnehållet från referensinstallationen.	10 800 000 SEK	6 000 000 SEK	Bränsleceller och lagringstankar är prisdrivande jämfört med Diesel installation. Lastkapacitet på båtarna reduceras, vikten på båtarna ökar.
Vätgas (700 bar)	Förbränningsmotor. SCR-installation behövs ej. Mängden vätgas motsvarar 25 % av energiinnehållet från referensinstallationen.	1 600 000 SEK	900 000 SEK	Lagringstankar är prisdrivande jämfört med dieselinstallation. Lastkapacitet på båtarna reduceras, vikten på båtarna ökar.
Elektricitet	Batterier. Mängden batterier motsvarar 5 % av energiinnehållet från referensinstallationen.	1 300 000 SEK	600 000 SEK	Batterier är prisdrivande jämfört med dieselinstallation. Lastkapacitet på båtarna reduceras, vikten på båtarna ökar.

8.8 Sammanfattning högfartsbåtar

Teknik för att uppnå fossilfrihet på höghastighetsfartyg finns idag kommersiellt för dieselsubstituten och el. För de övriga bränslena är det tekniskt möjligt att uppnå fossilfrihet, även om produkterna inte finns kommersiellt idag och man behöver genomföra konverteringar av befintliga motorer.

Vill man inte använda sig av dieselsubstituten, kommer man få en lägre prestanda på högfartsbåtarna relativt vad man hade fått på en båt som använder diesel. En fossilfri framdrivning som inte använder sig av diesel/dieselsubstituten kostar idag mer att installera än en konventionell dieseldrivlina.

Det finns inget regelverk idag som är direkt applicerbart för mindre båtar med bränslen som har låg flampunkt och som används på eller kring SOLAS-fartyg.

9 Matris för bedömning av möjliga alternativa bränslen

Kritiska parametrar för vilket typ av bränsle som väljs för ett fartyg är exempelvis önskad räckvidd och fart, effektbehov, energilagringsbehov, utrymme för energilagring och viktkänslighet. Räckvidd, fart och effektbehov och som följd av detta energilagringbehov, är operationella parametrar som kan anses öppna för diskussion medan tillgängligt utrymme för energilagring och enhetens viktkänslighet är fysiska begränsningar. Dock är energilagringsbehovet direkt sammanlänkat med nödvändig räckvidd och kan man genom exempelvis förändring i ett fartygs operation minska behövd räckvidd minskar således också energilagringsbehovet.




Nämnda parametrar är bedömda tillsammans med fem olika fartygskategorier och den övergripande bedömningen utifrån dagens operation är sammanställd i nedanstående matris. De fem kategorierna innehåller såväl Kustbevakningens som Sjöfartsverkets nuvarande fartyg, där enheter kategoriseras utifrån liknande konstruktion och operationsprofil oavsett myndighet. Fartygsspecifika data för samtliga enheter, vilken ligger till grund för kategoriseringen av fartygstyper, återfinns i Bilaga 2 (Kustbevakningen) och Bilaga 3 (Sjöfartsverket).

Bedömningen av varje bränsle eller bränslekombination för sig återfinns i Bilaga 4. Utöver ovan parametrar kan bunkringsmöjligheter i form av infrastruktur och tillgång/produktion av bränslet vara faktorer att ta hänsyn till inför val av bränsle. I bedömningen av vilket bränsle som fungerar för en viss fartygskategori har bunkringsmöjligheterna dock ej tagits med eftersom bunkringsmöjligheter inte är beroende av fartygskategori. Vad som krävs säkerhetsmässigt för att hantera ett visst bränsle tas inte heller hänsyn till i matrisen, då ett bränsles godkännande som faktiskt fartygsbränsle får anses vara tillräckligt och regleras av säkerhetsbestämmelser kring bränslet i sig.

Kolumnen mognadsgrad i matrisen ger dock en snabb överblick över varje bränsles aktuella mognadsgrad, jfr kap 2.9 och tabell 2.4 i denna rapport, genom fyra parametrar; tillgänglighet bränsle, distribution & infrastruktur, energisystem ombord samt regelverk och säkerhet. Skalan för bedömning av mognadsgrad är baserad på den niogradiga skalan TRL-skalan (Technology Rediness Level) för produkter (Energimyndigheten, 2020). För att differentiera bränslen som alla har uppnått nivå nio, med vilket avses god mognad, men där det bedöms finnas skillnader avseende i vilken omfattning tekniken och bränslet är beprövat har skalan utökats med ytterligare tre nivåer, upp till tolv. I matrisen har bränslen som inte är bedömda mogna idag markerats med orange.

Hybridlösningen i matrisen förutsätts vara el i kombination med biodiesel. Andra kombinationer, där ett annat bränsleslag ersätter dieseln, kan vara möjliga men tas inte upp för bedömning för varje enskild kombination.

För att tydligt visualisera vilka bränslen som är mest lämpade för olika kategorier av fartyg och båtar färgkodas möjligheten att använda ett visst bränsle eller bränslekombination i grönt, gult och rött.

-  = Möjlig
-  = Möjlig, men med reducerad förmåga
-  = Ej möjlig

Där färgkodningen visar rött eller gult ges en kort förklaring till vad som är den huvudsakliga begränsningen och avgörande faktorn för den aktuella bedömningen. Exempelvis menas med "räckvidd" behov av räckvidd så som fartyget opereras idag. För fartyg där det finns ett behov av lång räckvidd är generellt sett bränslen som kräver litet eller normalt lagringsutrymme (i jfr med diesel) mer lämpade. Bedömningen är konservativ, d.v.s. om en parameter är röd för ett bränsle i kombination med en fartygskategori sätts kombinationen som "ej möjlig". Likaså gäller för bränslen som bedöms som både gula och gröna i kombination med en viss fartygskategori, då blir bedömningen "möjlig". Huruvida bedömningen av ett visst bränsle i kombination med ett fartyg kan

justeras beror i stort på om den utslagsgivande faktorn är av operationell eller fysisk karaktär. Indelningen av Kustbevakningens och Sjöfartsverkets fartyg i fem olika kategorier ger ett verktyg för att bedöma lämpligheten av ett bränsle eller kombination av bränslen på en specifik enhet och fungerar som en vägledning. Vid varje tillfälle en åtgärd ska göras på ett fartyg kan matrisen användas för att se vad som behöver påverkas för att fartyget ska kunna flyttas till en kategori där det möjligen finns fler alternativ för drivmedel. Hur man ska kunna påverka måste bedömas från fall till fall. Operationella justeringar för att möjliggöra ett annat bränsleslag kan vara att sänka farten eller att minska bunkringsintervallerna. Energieffektivisering kan också vara ett sätt att möjliggöra ett fossilfritt bränsle. Matrisen är alltså tänkt som ett stöd lämpligt att beakta vid exempelvis omorganisationer, inför eventuella justeringar i operationsmönster eller vid ombyggnation. Fartygets operationsprofil är viktig att beakta för att undersöka möjligheterna för om operationella justeringar är genomförbara och i så fall kan möjliggöra ett annat bränsleslag. Inför ett faktiskt utbyte av existerande bränsle med tillhörande system på ett visst fartyg behöver också dess specifika konstruktion vägas in.

BRÄNSLE-ALTERNATIV	Bränslets mognadsgrad	FARTYGSKATEGORIER				
		A1	A2	B	C	D
Biodiesel	11,8					
Metanol	10	Räckvidd, utrymme	Utrymme	Räckvidd		
Etanol	10,25	Räckvidd, utrymme	Utrymme			
Biogas, komprimerad	11,25	Utrymme	Utrymme	Utrymme	Räckvidd, utrymme	Räckvidd, utrymme
Biogas, flytande	11,25	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme	Utrymme, bränslestabilitet	Utrymme
Ammoniak	4,5	Utrymme	Utrymme	Räckvidd	Räckvidd	Utrymme
Vätgas, komprimerad	7	Räckvidd, utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme	Utrymme	Utrymme
Vätgas, flytande	7	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Utrymme	Räckvidd, bränslestabilitet	Räckvidd
El, batteri	11,5	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Räckvidd	Utrymme, vikt	
Elhybrid med dieselininstallation		Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt		

A1: Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)

A2: Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)

B: Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S, mindre kombinationsfartyg).

C: Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar och miljöskyddsfartyg).

D: Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. deplacerande lotsbåtar kortdistans, transportbåtar kortdistans).

10 Referenser

- ABB. (den 11 november 2019). *The floating filling station: bunkering zero-emission fuel at sea*. Hämtat från ABB - news: <https://new.abb.com/news/detail/46259/the-floating-filling-station-bunkering-zero-emission-fuel-at-sea>
- Alfa laval, Hafnia, Haldor Topsoe, Vestas, Siemens Gamesa. (2020). *Ammonfuel - An industrial view of ammonia as a marine fuel*.
- B. Ramne, J. B. (2018). *Final Report, GreenPilot – Pilot Boat with Minimal Environmental*.
- Bennani, Y., Perl, A., Patil, A., van Someren,, C., Heijne, L., & van Steenis, M. (2016). *Power-to-ammonia: rethinking the role of ammonia – from a value product to a flexible energy carrier (FlexNH3)*. Hanzehogeschool Groningen.
- Brinks, H. (2020). Session 6: Ammonia as a marine fuel. *Alternative Fuels Online Conference*. DNV GL.
- Brynolf, S. (2014). *Environmental Assessment of Present and Future Marine Fuels*. Chalmers University of Technology.
- Brynolf, S., Taljegård, M., Grahn, M., & Hansson, J. (2018). Electrofuels for the transport sector: A review of production costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, 1887-1905.
- Börjesson, P., Lundgren, J., & Nyström, I. (2016). *Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel - sammandrag*. Svenskt kunskapscenter för förnybara drivmedel.
- Corvus Energy. (2020). Hämtat från <https://corvusenergy.com/products/corvus-dolphin-energy/>
- Danfoss. (2020). Hämtat från <https://www.danfoss.com/en/products/mobile-electrification/dps/electric-machines/#tab-overview>
- DNV GL. (2018). *SAMFUNNSØKONOMISKE ANALYSER AVROP 40 Utvikling i fartøystørrelser, motor- og drivstoffteknologi*. Kystverket .
- DNV GL. (2019). *Comparison of Alternative Marine Fuels*.
- DNV GL. (2020). *Energy Transition Outlook 2020*. DNV GL.
- DNV GL. (2020). *Maritime Forecast to 2050*. DNV GL.
- Energiföretagen. (den 23 november 2020). *mail från Raziye Khodayari, Miljö, hållbarhet och energitillförsel*.
- Energigas Sverige. (den 19 oktober 2019). *Statistik om biogas*. Hämtat från Energigas Sverige Fakta om gas: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/>
- Energimyndigheten. (2019). *Drivmedel 2018 Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten*. Energimyndigheten.

Energimyndigheten. (den 12 augusti 2019). *Växthusgasutsläpp*. Hämtat från Energimyndigheten Drivmedelslagen :
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>

Energimyndigheten. (den 7 september 2020). *Läget på energimarknaderna för biodrivmedel och fasta biobränslen, september 2020*. Hämtat från Energimyndigheten Prenumerera på marknadsrapporter: <http://www.energimyndigheten.se/om-oss/press/prenumerera/laget-pa-energimarknaderna/biobranslemarknaderna/laget-pa-energimarknaderna-for-biodrivmedel-och-fasta-biobranslen-september-2020/>

Energimyndigheten. (den 1 oktober 2020). *Technology Readiness Level*. Hämtat från Energimyndigheten.

Energimyndigheten. (den 28 augusti 2020). Växthusgasutsläpp från drivmedel baserat på hållbarhetsrapportering 2019. (I. e. Nilsson, Intervjuare)

Equinor. (den 23 januari 2020). *The world's first carbon-free ammonia-fuelled supply vessel on the drawing board*. Hämtat från Equinor - News: <https://www.equinor.com/en/news/2020-01-23-viking-energy.html>

Evoy. (2020). Hämtat från <https://www.evoy.no/outboard/>

FReSMe. (den 22 september 2020). *About FReSMe project*. Hämtat från FReSMe: <http://fresme.eu/about.php>

Fuelcellworks. (den 15 april 2019). *Norway: Norled's Hydrogen Ferry Begins to take shape* . Hämtat från Fuelcellworks News: <https://fuelcellworks.com/news/norway-norleds-hydrogen-ferry-begins-to-take-shape/>

Greenboat. (2020). Hämtat från <http://www.greenboat.se/>

Hansson, J., Månsson, S., Brynolf, S., & Grahn, M. (2019). Alternative marine fuels: Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholder. *Biomass and Bioenergy* 126, 159-173.

Hexagon. (2017). Hämtat från HEXAGON COMPOSITES HYDROGEN TYPE 4 CYLINDER INFORMATION.

Hexagon. (2020). *COMPOSITE TYPE 4 HIGH-PRESSURE TANKS FOR CNG LIGHT-DUTY VEHICLES*.

Hydroville. (den 21 10 2020). Hämtat från <http://www.hydroville.be/en/hydroville/>

Innogy. (02 2018). Hämtat från https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20180226-fachkonf-bundesfoerderung-bringt-elektromobilitaet-entscheidend-voran/tag-2_1-4-4_joswig-msinnogy.pdf

Kustbevakningen. (u.d.). Databasinsamling - Kustbevakningen, (excel dokument bifogat till uppdraget).

- Liquid wind. (den 20 10 2020). *Carbon Neutral fuel*. Hämtat från Liquid wind eMetanol:
<https://www.liquidwind.se/emethanol>
- Lloyd's Register . (2020). *Rules for the Classification of Methanol Fuelled Ships*.
- Lloyd's register. (den 17 december 2017). *First LR classed hydrogen-powered vessel launched*. Hämtat från Lloyd's register Latest news: <https://www.lr.org/en/latest-news/first-lr-classed-hydrogen-powered-vessel-launched/>
- Lloyd's Register. (2020). *Fuel production cost estimates and assumption This is part of Zero-Emission Vessels: Transition pathways*. Lloyd's Register, UMAS.
- Maersk. (den 24 oktober 2019). *Press Release: Alcohol, Biomethane and Ammonia are the best-positioned fuels to reach zero net emissions*. Hämtat från Maersk :
<https://www.maersk.com/news/articles/2019/10/24/alcohol-biomethane-and-ammonia-are-the-best-positioned-fuels-to-reach-zero-net-emissions>
- MAN. (2018). *Ship Operation Using LPG and Ammonia As Fuel on MAN B&W Dual Fuel ME-LGIP Engines. 15th Annual NH3 Fuel Conference*,. Pittsburgh.
- Nikoleris, A., & Nilsson J., L. (2013). *Elektrobränslen – en kunskapsöversikt*. Lunds tekniska högskola.
- Pavlenko, N., Comer, B., Zhou, Y., & Clark, N. (2020). *The climate implications of using LNG as a marine fuel*. INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION.
- Petestep. (den 21 10 2020). *Petestep*. Hämtat från <https://petestep.com/>
- Scandinaos. (den 21 10 2020). Hämtat från <https://www.scandinaos.com/products.html>
- Scania. (den 20 november 2019). *SCANIA INTRODUCERAR NY ETANOLMOTOR*. Hämtat från Scania Nya etanolmotorn: <https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2019/scania-om-laengskidslandslandslaget/nya-etanolmotorn.html>
- Scania. (2020). Hämtat från <https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2019/scania-om-laengskidslandslandslaget/nya-etanolmotorn.html>
- Solcellskollen. (den 21 10 2020). *Solcellskollen*. Hämtat från <https://www.solcellskollen.se/vanliga-fragor/hur-stor-yta-kraver-solceller>
- SPBI. (den 12 mars 2020). *HVO- Hydrogenated Vegetable Oil*. Hämtat från Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/fornybara-drivmedel/hvo-hydrogenated-vegetable-oil/>
- SSPA. (2018). *Biogasdriven färjeled - Hönöleden*. Västra Götalandsregionen.
- Södra. (den 25 september 2020). Emailkorrespondens med Viktor Odenbrink, Sales Manager Södra cell Bioproducts.

- Södra. (den 20 februari 2020). *Pressmeddelande: Södra först i världen med fossilfri biometanol*. Hämtat från Södra: <https://www.sodra.com/sv/se/om-sodra/pressrum/pressmeddelanden/sodra-forst-i-varlden-med-fossilfri-biometanol/>
- Trafikverket. (2018). *Möjliga tekniker och drivmedle för fossilfri statlig sjöfart - underlags-PM till regeringsuppdrag om förslag till strategi för fossilfri statlig sjöfart*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2018). *Omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg – ett regeringsuppdrag*. Trafikverket.
- Transportstyrelsen. (den 21 10 2020). Hämtat från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Luftforening/NOx---kvaveoxider/>
- Transportstyrelsen. (den 21 10 2020). Hämtat från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Luftforening/NOx---kvaveoxider/>
- Vries, N. (2019). *Safe and effective application of ammonia as a marine fuel*. TU Delft Mechanical, Maritime and Materials Engineering.
- Vätgas Sverige . (den 22 november 2020). *Vanliga frågor om vätgas*. Hämtat från Vätgas Sverige: <http://www.vatgas.se/faktabank/faq/>
- Winnes, H., Fridell, E., Ellis, J., Forsman, B., Ramsay, W., & Westermark, H. (2020). *Aftertreatment of methane slip from marine gas engines*. Lighthouse.
- Zemships. (2020). Hämtat från https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3081

BILAGA 1

Klimatpåverkan

	Fossil vätgas		375,48	Naturgas genom ångreforming. Komprimerad vätgas i en bränslecell									
Elektricitet (batterier)			47,16										

*

Energimyndigheten 2020

Energimyndigheten 2019

Brynolf 2014

Varierande/specifika producenter

SPBI

Furusjö Lundgren 2017 (RED)

Uppgifter från Energimyndigheten baserat på hållbarhetsrapportering 2019

*Drivmedel 2018 Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikt**Environmental Assessment of Present and Future Marine Fuels.* Chalmers University of Technology.HVO: Produktblad Neste MY Förnybar Diesel <https://www.petrobell.se/app/download/14576118929/Neste%20MY%20Fornybar%20Diesel%20HVO100.pdf?t=1600938239>

LBG: Uppgifter erhållna via mail från Marie Bengtsson, Fordonsgas, avser rapportering enligt hållbarhetskriterier för LBG produktion vid anläggning i Lidköping

Ammoniak: Bicer et. al. (2016) Comparative life cycle assessment of various ammonia production methods

<https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/>

Utvärdering av produktionskostnader för biodrivmedel med hänsyn till reduktionsplikten

Jämförande bedömning av mognadsgrad

	HVO		Metanol		Etanol		LBG/COG		Ammoniak		Vätgas		Eldrift (batteri)		Vind	
Tillgänglighet bränsle (fossilfritt)	11	Storskalig produktion, god tillgänglighet idag men osäkerhet kring tillgång i framtiden då efterfrågan ökar. Flera leverantörer finns.	9	Produktion av biometanol sker idag i Sverige, dock i begärnsad omfattning 500 ton/år. Produktionen förväntas öka i framtiden. Tillgång på råvara finns.	12	Världens mest producerade biobränsle.	10	Utbredd produktion och tillång på biogas. Produktionen av flytande biogas är dock begränsad till ett fåtal platser. Begärnsad råvara.	5	Ingen produktion av fossilfri ammoniak finns idag. Kan framställas från vätgas.	6	Vätgas kan produceras genom elektrolys från fossilfri el. Ingen storskalig produktion av fossilfri vätgas finns idag.	12	Sverige har en omfattande produktion av fossilfri el. Kärnkraft (fossilfri, ej förnybar) och vattenkraft utgör ca 80% av elproduktionen, vindkraft utgör ca 12%. Elavtal med förnybar el garanterar produktion av förnybar el med hjälp av <i>usageguaranties</i> .	-	Intermittent "bränsle". Varierar över tid samt stora lokala och geografiska skillnader i vindresurs.
Distribution & infrastruktur	12	Omfattande distributionsnät för försörjning på landsidan. Kan använda samma infrastruktur och distributionsnät som diesel.	10	Omfattande distribution av (fossil)metanol som kemikalie idag med tankbil. Finns standardlösningar av tankar anpassade för metanol och etanol som kan användas som mellanlagring för bunkring.	11	Omfattande distributionsnät för försörjning på landsidan (E85). Ingen distribution som fartygsbränsle idag. Finns standardlösningar av tankar anpassade för metanol och etanol som kan användas som mellanlagring för bunkring.	11	Etablerad distribution. Biogas distribueras som fordonsbränsle. LNG/(LBG) distribueras som bränsle för tunga fordon. Finns även distributionskedjor för LNG som fartygsbränsle, både med bil och tankbil.	8	Finns distributionskedjor för (komprimerad, flytande) ammoniak som kemikalie och för användning inom industri. Ingen distribution av ammoniak som bränsle och infrastruktur för bunkring saknas.	8	Trycksatt (komprimerad) vätgas distribueras med tankbil idag för användning inom industri i först hand. Ett fåtal tankstationer för komprimerad gas finns i Sverige. Ingen utbredd distribution och infrastruktur för flytande (kryogen) vätgas finns.	10	Distribution via befintligt elnät. Lokala kapacitetbegränsningar i elnätet kan medföra behov av uppgradering för att möjliggöra tillräcklig effekt för laddning.	12	Oberoende av distribution och infrastruktur
Energisystem ombord	12	Kan användas i konventionella dieselmotorer utan modifieringar.	10	2-taktsmotorer finns tillgängliga från leverantör. Installerade och beprövade i tankfartyg. Maringodkända 4-takts motorer från leverantör saknas. Flera konverterade dieselmotorer i drift, ex. Stena Germanica, Green Pilot.	8	Maringodkända motorer från leverantör saknas. Lastbilsmotorer för ED95 finns. Har inte testats kommersiellt som fartygsbränsle. Etanol antas dock kunna användas i motorer utvecklade för metanol. Etanol kan användas istället för bensin i utomborsmotorer efter mindre justeringar. Inga långvariga test finns dock.	12	Gasmotorer för marint bruk finns tillgängligt från flera leverantörer. Ca 5000 fartyg i drift i världen.	3	Hitills finns inga system installerade ombord på fartyg, varken med förbränningsmotor eller bränsleceller. Tester med förbränning i motorer har genomförts men tekniken är inte färdigutvecklad. MAN har tagit fram en LPG-motor vilken ska kunna använda även ammoniak som bränsle.	7	Bränsleceller för vätgas finns tillgängligt från flera leverantörer. System med bränsleceller har testats och är i drift ombord på mindre fartyg, ex. forskningsfartyget Aranda. År 2021 planeras den första vägfärjan med bränsleceller tas i drift i Norge. Vätgas i förbränningsmotor ombord fartyg har testats och är i drift, ex. Hydroville (50% diesel, 50% vätgas).	12	Batterier och elmotorer finns tillgängligt från flera leverantörer. Många fartyg i drift med batterier.	9	Flettner rotorerna finns installerat ombord på flera fartyg. Flera andra koncept är under utveckling.
Regelverk & Säkerhet	12	Brandfarlig vätska. Regelverk för diesel är tillämpligt.	11	Flytande bränsle, låg flampunkt, mycket brandfarlig vätska. IGF-koden är utvecklad för LNG primärt men gäller även metanol och inkluderar ANNEX med <i>special requirements for ships using ethyl or methyl alcohols as fuel</i> . Klassregler finns.	10	Flytande bränsle, låg flampunkt, mycket brandfarlig vätska. IGF-koden är utvecklad för LNG primärt men gäller även metanol och inkluderar ANNEX med <i>special requirements for ships using ethyl or methyl alcohols as fuel</i> .	12	Gas med låg flampunkt, brandfarlig gas. IGF-koden samt standarder för bunkring av LNG finns och kan tillämpas. Omfattande säkerhetskrav och	2	Giftig och frätande samt brandfarlig vid höga koncentrationer inomhus. Regelverk för hantering av ammoniak som bränsle saknas. Ytterligare studier kring säkerhet för ammoniak som bränsle behövs.	7	Explosiv och brandfarlig gas. Omfattas av IGF-koden. Klassregler saknas. Hydroville klassat genom "risk based design". Regler och standarder är under utveckling.	12	Batterier erfodrar en riskanalys enligt IMO Guidelines MSC.1/Circ.1455	9	Klassregler finns
Total summa	47		40		41		45		18		28		46		30	
Medelvärde	11,8		10,0		10,3		11,3		4,5		7,0		11,5		10,0	

Denna filik används för alla större båtar och alla fartyg. De kan förenklat sägas ha följande karakteristika: de har inombordsmotor, de har AIS-transponder och därför ett MMSI-nummer, de representerar en substantiell investering och byggs till order - d.v.s. de är ingen hyllvara.

Myndighet	Fartygs- eller båtnamn	Identifiering		Användning vid val "annan"	MMSI-nummer	Skriv den data som enklast finns tillgänglig					Depla- cement	Installerad effekt propulsion	Normal effekt fart	Uppvärmningssystem vid kaj	Årlig gångtid	Årlig seglad sträcka	Bränsle idag	Välj en av dessa			Operativ räckvidd	Normalt bunkringsintervall	År båt/fartyg planerad att omsättas före 2030 eller 2040?	Fylls endast i om planerad omsättning efter 2030/2040		Av myndigheten idag uppfattad kostnad för motsvarande båt/fartyg.							
		placering	Typ/			Längd över allt	Längd vattenlinje	Bredd vattenlinje	Djup- gående	Installerad effekt								Normal effekt	Uppvärmningssystem	Årlig				Årlig seglad	Bränsle- tank volym		Årlig bränsleförbrukning	Operativ räckvidd	Normalt bunkringsintervall	År båt/fartyg planerad att omsättas före 2030 eller 2040?	Tänkt omsättningstidpunkt	Tänkt tidpunkt för HTM motsv.	SEK
			Användning			Meter				kW								knop	kW	Typ				Timmar	Sjömil		Liter	Liter	Ton	kWh	Timmar	Sjömil	Dagar
Sjöfartsverket	ANDERS BURE	Norrköping	Mätfartyg		265500680	20,79	19,26	4,63	1,1	44,33	580	9	3,5	Oljepanna	1557		Eldningsolja 1	4520				107	1067	7	Ja			25 000 000,00					
Sjöfartsverket	ARKÖ	Västervik	Arbetsbåt		265513140	19,00	18,2	4,6	1	42,35	960	33	3,5	Oljepanna	1000		Eldningsolja 1	5520	60000			13,5	270	3	Ja			25 000 000,00					
Sjöfartsverket	BALTICA	Norrköping	Arbetsbåt		265509180	54,90	51,6	12	3,9	1260	2670	13	52	Oljepanna	4000	21108	Eldningsolja 1	144000	725000			400	4800	14	Ja								
Sjöfartsverket	Buster RS	Åhus	Arbetsbåt			4,5	4	1,5	0,25	250			0	Inget/kallt fartyg			Bensin																
Sjöfartsverket	Candela	Södertälje	Arbetsbåt		265623120	19,70	17,1	5,1	0,8	30	960	33	3,5	Oljepanna	900	7000	Eldningsolja 1	3800	75000			10	250	2	ja			25 000 000,00					
Sjöfartsverket	Capella	Trollhättan	Arbetsbåt		265552060	11,60	11	3,6	1,4	6	265	8	2	Oljepanna	400		Eldningsolja 1	350	5600			30		60	Ja			10 000 000,00					
Sjöfartsverket	Fyrbjörn	Norrköping	Arbetsbåt		265565690	35,19	33,8	11	3	360	880	11	12	Oljepanna	1200	5900	Eldningsolja 1	45000	128467			180	1800	30	nej								
Sjöfartsverket	Fyrbyggaren	Norrköping	Arbetsbåt		265289000	41,75	37,6	10	3,65	745	1100	11	12,5	Oljepanna	1000	7000	Eldningsolja 1	72000	140000			540	5700	120	nej								
Sjöfartsverket	Färjan	Trollhättan	Arbetsbåt		265565700	22,92	20,5	7	1	40	0	0	0	Inget/kallt fartyg	0		Eldningsolja 1	75	75			0	0	365	Ja			50 000 000,00					
Sjöfartsverket	Gina	Värnersborg	Arbetsbåt		265507020	18,10	15	5,2	1,17	24,35	570	18	3,5	Oljepanna	450		Eldningsolja 1	2500	70000			12		2	Ja			50 000 000,00					
Sjöfartsverket	Gustaf af Klint	Norrköping	Mätfartyg		265721780	17,60	17,3	8,4	1,48	53,8	551	10	3,5	Oljepanna	941		Eldningsolja 1	2300				22	219	7	nej								
Sjöfartsverket	JACOB HÄGG	Norrköping	Mätfartyg		265291000	37,19	33,6	5,8	1,6	210	736	10		Oljepanna	3292		Eldningsolja 1	25200				174	1736	14	nej								
Sjöfartsverket	JOHAN MÅNSSON	Arkö	Annan	utbildning- /sjöräddningsbåt	265500670	20,67	19,26	4,63	1,1	44,33	580	9	3,5	Oljepanna	165		Eldningsolja 1	4520	7600			65		90	nej								
Sjöfartsverket	Karlberg	aluminium	Arbetsbåt		265547540	6	5,5	2	0,3	0,7	59	28			100	300	Bensin								ja			1 000 000,00					
Sjöfartsverket	KLIPPEN	Umeå	Arbetsbåt		265607880	19,70	17,1	5,1	0,8	30	960	33	3,5	Oljepanna	500		Eldningsolja 1	3800	55000			15	300	2,5	ja			25 000 000,00					
Sjöfartsverket	Mare aluminium	Kungsbacka	Arbetsbåt		265195000	7,45											Eldningsolja 1	3800															
Sjöfartsverket	MotorBåt 10	Trollhätte	Arbetsbåt			6,7											Bensin																
Sjöfartsverket	Motorbåt Typ 20	Kanal	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Muskö	Trollhätte	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs	Kanal	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Fyrbjörn	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Gävle	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Spikarna,	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Sundsvall	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Umeå	Arbetsbåt		265695080	5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Ö-vik	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 510 TJB 646	Arkö	Annan	transportbåt		5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin	85	900														
Sjöfartsverket	Nynäs 510	Karlshamn	Arbetsbåt			5,25	4,5	1,9	0,3	0,7							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 625	Scandica	Däcksbåt			6,35	5,5	2,05	0,35	0,95							Bensin																
Sjöfartsverket	Nynäs 625 TJB 161	Scandica	Annan	transportbåt		6,35	5,5	2,05	0,35	0,95							Bensin	40	50														
Sjöfartsverket	PETTER GEDDA	Sjömätning/K	Mätfartyg		265648810	8,5	7,4	2,5	0,4		220	17	1	Oljepanna	310		Eldningsolja 1	4520				7	122	3	nej								
Sjöfartsverket	PILOT 030 SE	Sandhamn	Lotsbåt		265514750	18,50	15,7	5,15	2,77	88,9	405	9	2,5	Oljepanna	14	50	Eldningsolja 1	19600	2866			100	1000	365									
Sjöfartsverket	PILOT 031 SE	Söderhamn/I	Lotsbåt		265506010	23,93					618		3	Oljepanna	382	3810	Eldningsolja 1	36400	8872			96	960	1									
Sjöfartsverket	PILOT 111 SE	ggesund	Lotsbåt		265507660	13,60	11,38	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	562	10700	Eldningsolja 1	1100	48958			10	190	8									
Sjöfartsverket	PILOT 112 SE	Landsort	Lotsbåt		265507650	13,67	11,38	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	481		Eldningsolja 1	1100	36935			10	190	10									
Sjöfartsverket	PILOT 113 SE	Oxelösund	Lotsbåt		265511440	13,60	11,38	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	137		Eldningsolja 1	1100	9198														
Sjöfartsverket	PILOT 113 SE	Varberg	Lotsbåt		265514400	13,60	11,38	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	137		Eldningsolja 1	1100	9198														
Sjöfartsverket	PILOT 114 SE	Trelleborg	Lotsbåt		265514800	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	155		Eldningsolja 1	1100	8399														
Sjöfartsverket	PILOT 115 SE	Göteborg	Lotsbåt		265514840	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	23		Eldningsolja 1	1100	1089														
Sjöfartsverket	PILOT 116 SE	Sandhamn	Lotsbåt		265519620	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	809	15000	Eldningsolja 1	1100	58202			10	200	5									
Sjöfartsverket	PILOT 117 SE	Åhus	Lotsbåt		265519630	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	692		Eldningsolja 1	1100	30243														
Sjöfartsverket	PILOT 118 SE	Hanöbukten	Lotsbåt		265519640	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	483		Eldningsolja 1	1100	26920														
Sjöfartsverket	PILOT 119 SE	Marstrand	Lotsbåt		265519650	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	140		Eldningsolja 1	1100	12939														
Sjöfartsverket	PILOT 120 SE	Kapellskär	Lotsbåt		265519660	14,00	12	3,9	1,23	15,3	515	21	2	Oljepanna	64	1300	Eldningsolja 1	1100	11860			10	200	15									
Sjöfartsverket	PILOT 145 SE	Svartklubben	Lotsbåt		265514760	14,60	13,2	4	2,1	39,18	241	8	2	Oljepanna	97	800	Eldningsolja 1	5980	7050			80	700	150									
Sjöfartsverket	PILOT 151 SE	Sandhamn	Lotsbåt		265505410	12,90	10	3,05	0,74	10,78	480	25	2	Direktverkande			Eldningsolja 1	730	46876			6	150	3									
Sjöfartsverket	PILOT 211 SE	Helsingborg	Lotsbåt		265610940	16,29	15,7	4,4	1,01	28,55	1104	23	2,5	Oljepanna	638	15000	Eldningsolja 1	3300	109946			834											
Sjöfartsverket	PILOT 212 SE	Oxelösund	Lotsbåt		265610960	16,29	15,7	4,4	1,01	28,55	1104	26	2,5	Oljepanna	1419		Eldningsolja 1	3300	261198			17	290	2									
Sjöfartsverket	PILOT 213 SE	Malmö	Lotsbåt		265610950	16,29	15,7	4,4	1,01	28,55	1104	23	2,5	Oljepanna	143		Eldningsolja 1	3300	18101			10	200										

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

KATEGORI	A1	A2	B	C	D
	<p>Större båt - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, vikt känslig, utrymmesbegränsad</p> <p>Patrullbåt KBV312S, Patrullbåt KBV302S, Svåvare KBV590-59S, Lotsbåt - snabba 20-29kn</p>	<p>Små båt - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, vikt känslig, utrymmesbegränsad</p> <p>Högfartsbåt, arbetsbåt, ribbåtar, strandbekämpare</p>	<p>Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej vikt känslig och/eller utrymmesbegränsad</p> <p>Stora isbrytare, Stora kombinationsfartyg, Mindre Kombinationsfartyg, Arbetsfartyg</p>	<p>Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej vikt känslig och/eller utrymmesbegränsad</p> <p>Miljöskyddsfartyg, Arbetsfartyg/Sjömättningsfartyg, Mindre arbetsfartyg, Lotsbåt- långsammare 8-10kn</p>	<p>Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej vikt känslig och/eller utrymmesbegränsad</p>
	<p>PILOT 714 SE PILOT 717 SE PILOT 732 SE PILOT 737 SE PILOT 738 SE PILOT 111 SE PILOT 112 SE PILOT 113 SE PILOT 114 SE PILOT 115 SE PILOT 116 SE PILOT 117 SE PILOT 118 SE PILOT 119 SE PILOT 120 SE PILOT 741 SE PILOT 743 SE PILOT 748 SE PILOT 749 SE PILOT 211 SE PILOT 213 SE PILOT 214 SE PILOT 215 SE PILOT 216 SE PILOT 217 SE PILOT 218 SE PILOT 219 SE PILOT 742 SE PILOT 151 SE PILOT 729 SE PILOT 746 SE PILOT 747 SE PILOT 212 SE PILOT 744 SE PILOT 745 SE PILOT 740 SE PILOT 790 SE PILOT 791 SE PILOT 792 SE PILOT 793 SE PILOT 794 SE PILOT 031 SE</p>	<p>FB 345F inb FB 345F inb Strb 90E Strb 90E Strb 90E Strb 90E Strb 90E FB 345F inb Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Alusafe 31s Alusafe 31s Rupert 26 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 SeaCat 750 Hydrolift Hydrolift FB 395F FB 395F FB 345F utb FB 345F utb Ring 10,5 MRCD 1250 MRCD 1250 MRCD 1250 MRCD 1250 Rupert 32 Norsafe Mk1 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Norsafe Mk2 Alusafe 001 MP 1000 MP 1000 MP 1000 Buster RS Nynäs Nynäs 510 Nynäs 510 TJB 646 Nynäs 625 TJB 161 Mare aluminium MotorBåt 10 Karlberg aluminium Motorbåt Typ 20 / Muskö Polhem PILOT 480 SE RESCUE 911 RESCUE 913 RESCUE 934 RESCUE 935 RESCUE 936 Rupert Gummi TJB 964 VILHELM HANSEN VIRGO Yxlö, styrpulpet (Alum.) Yxlö styrpullpet ÄLVB/ÖRN Transkär Yxlö med hytt Måseskär Pollux Nynäs 625 Promek, Prowork 870 Weedo 17 (MOB-båt)</p>	<p>Oden 3* Atlekklass KBV001S Ale (isbrytare) KBV031S KBV181 KBV201S Scandica Baltica Arkö 833 Candela Klippen Sektor Gina</p>	<p>KBV010 KBV050, 051 KBV047S Jacob Hägg Fyrbjörn Fyrbyggaren Polstjärnan IV Seatruck Anders Bure Johan Månsson Gustaf af Klint Peter Gedda PILOT 145 SE PILOT 354 SE PILOT 358 SE PILOT 462 SE PILOT 529 SE PILOT 556 SE PILOT 571 SE PILOT 772 SE PILOT 773 SE PILOT 774 SE PILOT 775 SE PILOT 776 SE PILOT 030 SE PILOT 750 SE PILOT 752 SE PILOT 753 SE PILOT 754 SE PILOT 755 SE PILOT 756 SE PILOT 771 SE PILOT 777 SE PILOT 778 SE PILOT 779 SE PILOT 751 SE PILOT 757 SE PILOT 759 SE PILOT 760 SE PILOT 761 SE</p>	

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

BRÄNSLE- ALTERNATIV	Bränslets mognadsgrad	FARTYGSKATEGORIER				
		A1	A2	B	C	D
Biodiesel	11,8					
Metanol	10	Räckvidd, utrymme	Utrymme	Räckvidd		
Etanol	10,25	Räckvidd, utrymme	Utrymme			
Biogas, komprimerad	11,25	Utrymme	Utrymme	Utrymme	Räckvidd, utrymme	Räckvidd, utrymme
Biogas, flytande	11,25	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme	Utrymme, bränsle- stabilitet	Utrymme
Ammoniak	4,5	Utrymme	Utrymme	Räckvidd	Räckvidd	Utrymme
Vätgas, komprimerad	7	Räckvidd, utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme	Utrymme	Utrymme
Vätgas, flytande	7	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Utrymme	Räckvidd, bränsle- stabilitet	Räckvidd
El, batteri	11,5	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Räckvidd	Utrymme, vikt	
Elhybrid med dieselinstitution		Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt		

A1: Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)

A2: Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)

B: Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. , KBV001S, mindre kombinationsfartyg).

C: Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar).

D: Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. deplacerande lotsbåtar kortdistans, transportbåtar kortdistans).

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

Biodiesel

Fartygskategori

A1	A2	B	C	D
Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig eller utrymmesbegränsad (exv , KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	OK	OK	OK	OK	OK
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK, klarar alla operationer	OK, klarar alla operationer	OK, klarar alla operationer	OK, klarar alla operationer	OK, klarar alla operationer
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	OK, kan rymma bränslevolyten för aktuella operationer	OK, kan rymma bränslevolyten för aktuella operationer	OK, kan rymma bränslevolyten för aktuella operationer	OK, kan rymma bränslevolyten för aktuella operationer	OK, kan rymma bränslevolyten för aktuella operationer
Vikt	OK, kan bära bränslevikten för aktuella operationer	OK, kan bära bränslevikten för aktuella operationer	OK, kan bära bränslevikten för aktuella operationer	OK, kan bära bränslevikten för aktuella operationer	OK, kan bära bränslevikten för aktuella operationer
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

METANOL

Fartygskategorier

A1	A2	B	C	D
Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Kortare (40%) räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Begränsat med utrymme för större tankar och bränslesystem	För litet utrymme för större tankar och bränslesystem	OK	OK	OK
Vikt	OK, volymen gränssättande & inte vikten	Möjligen ok	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

ETANOL

		Fartygskategorier				
		A1	A2	B	C	D
		A1 Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	A2 Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	B Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	C Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	D Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Kortare räckvidd med samma tankvolym (men högre energiinnehåll än metanol)	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Begränsat med utrymme för större tankar och bränslesystem	Begränsat utrymme för större tankar och bränslesystem	OK	OK	OK
Vikt	OK, volymen gränssättande & inte vikten	OK, volymen gränssättande & inte vikten	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

**BIOGAS
KOMPR.**

Fartygskategorier

A1	A2	B	C	D
Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, vikt känslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, vikt känslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej vikt känslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej vikt känslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej vikt känslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Kortare räckvidd med samma tankvolym.	Kortare räckvidd med samma tankvolym.	Kortare räckvidd med samma tankvolym.	Kortare räckvidd med samma tankvolym.	Kortare räckvidd med samma tankvolym.
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme med avseende på energilagringsbehovet	Förmodligen för platskrävande med avseende på energilagringsbehovet.	Möjligen, beror på båtens användningsområde.
Vikt	För tungt	För tungt	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

BIOGAS FLYT.

	Fartygskategorier				
	A1	A2	B	C	D
	Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Kortare räckvidd vid samma tankvolym.	Kortare räckvidd vid samma tankvolym.	Kortare räckvidd vid samma tankvolym.	OK	OK
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Mer komplicerade tankar, installation mer platskrävande	Mer komplicerade tankar, installation mer platskrävande	Begränsat utrymme för större tankar och bränslesystem	Begränsat utrymme för större tankar och bränslesystem	Begränsat utrymme för större tankar och bränslesystem
Vikt	För tungt tanksystem	För tungt tanksystem	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	Kan vara utmanande om längre perioder av stillaliggande	Kan vara utmanande om längre perioder av stillaliggande	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

AMMONIAK

		Fartygskategorier				
		A1	A2	B	C	D
		A1 Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	A2 Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	B Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	C Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	D Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	OK	OK	Troligen för utrymmeskrävande
Vikt	OK	OK	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

**VÄTGAS
KOMPR.**

Fartygskategorier

A1	A2	B	C	D
Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Pga låg energitäthet bara möjligt på enheter med litet energilagringsbehov	Pga låg energitäthet bara möjligt på enheter med litet energilagringsbehov	Pga låg energitäthet bara möjligt på enheter med litet energilagringsbehov	Troligen för kort räckvidd.	OK
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Utrymmeskrävande
Vikt	För tungt	För tungt	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

VÄTGAS FLYT.

	Fartygskategorier				
	A1	A2	B	C	D
	Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym	Kortare räckvidd med samma tankvolym
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme med avseende på energilagringsbehovet	OK	OK
Vikt	För tungt tanksystem	För tungt tanksystem	OK	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	Kan vara utmanande om längre perioder av stillaliggande	Kan vara utmanande om längre perioder av stillaliggande	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

Eldrift (batteri)

	Fartygskategorier				
	A1	A2	B	C	D
	Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)
Räckvidd	Möjlig	Möjlig	Kräver tätare laddning än vad som är möjligt under aktiv drift	Möjlig	OK
Fart	Möjlig	Möjlig	Möjlig	Möjlig	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Kräver stort utrymme.	Kräver stort utrymme.	OK
Vikt	För tungt	För tungt	Hög vikt	Hög vikt	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK

BILAGA 4 Fartygskategorier och underlag för bedömningar i matris

**Elhybrid
(el + biodiesel)**

Fartygskategorier

A1	A2	B	C	D
Större båtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. patrullbåtar, snabba lotsbåtar)	Småbåtar - Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad (exv. Buster, RIB typ Magnum)	Operation med låg och hög effekt, medelstort till stort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. KBV001S)	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (exv. en del sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar)	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad (Depl lotsbåt kortdistans, transportbåt kortdistans)

Räckvidd	OK	OK	OK	OK	OK
Fart	OK	OK	OK	OK	OK
Effektbehov	OK	OK	OK	OK	OK
Utrymme för energilagring och ev teknisk kringinstallation	Kräver för stort utrymme.	Kräver för stort utrymme.	Kan kräva stort utrymme beroende på fördelning	OK	OK
Vikt	För tungt	För tungt	Möjligen hög vikt	OK	OK
Bränslets lagringsstabilitet	OK	OK	OK	OK	OK