



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Nye dieselmotorer for Nansenklasse fregatt

Hva er den beste kandidaten til å erstatte dagens motorer?

av

Marius T Gjerde

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I MASKIN

Innlevert: mai 2018

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten(ene) har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadetten(ene) har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Jeg gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Jeg erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning. Jeg har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Jeg er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 24 – 05- 2018

Marius T Gjerde
Kadett navn

Kadett, signatur

Forord

Ombygginger og skipsmotorer har alltid interessert meg, og jeg ønsket å benytte denne oppgaven til å fordype meg i disse emnene. Det har vært spennende å lære om de ulike motorprodusentene, samt besøk ombord og problemløsning her på Sjøkrigsskolen. Temaet, *anskaffelse av nye motorer*, hadde et mye større omfang enn jeg var klar over da jeg startet på denne oppgaven. Gjennom oppgaven har jeg derfor fått større respekt for ingeniører som arbeider for de store motorprodusentene, samt ingeniørene som arbeider med innkjøp og ettermontering av tungt utstyr. Det har vært givende å kunne bruke deler av pensum til å forklare elementer av min oppgave, samtidig som det har gitt en dypere forståelse av fremdriften på våre fartøyer.

Jeg ønsker å rette en takk til følgende personell, for å ha bistått med veiledning, kildemateriell og bistand ombord.

- HSLEK Gisle Strand, SKSK (veileder)
- Siv. Ing Roy Isaksen,
- Lt. Andreas Gaard,
- Albayrak Oemer, MTU
- Trond Kvarven, Account Manager Marine Pon-Cat
- Øyvind Seim, Design Manger, Pon-Cat
- Per Ståle Gjerde, Vard Langsten
- Bjørn Ottar Bruvik, Bergen Engines AS

Bergen, Sjøkrigsskolen, 24-05-2018

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	6
	Tabeller/Diagrammer	7
	Nomenklatur / Forkortelser / Symboler	10
2	Problemstilling:.....	11
2.1	Problemstilling:	11
2.1.1	Tolkning av problemstillingen:	11
2.1.2	Begrensninger i oppgaven	11
2.1.3	Metode	11
2.1.4	Struktur	12
3	Besvarelsen	13
3.1	Suksessfaktorer for potensielle motorer	13
3.1.2	Kriterier og vektninger for motorer	15
3.2	Effektområde	17
3.3	Effektområde og varmebalanse	18
3.3.1	Caterpillar C280-12	18
3.3.2	Caterpillar 280-16.....	21
3.3.3	MAN 28/33D.....	22
3.3.4	RR C25:33V12P.....	23
3.3.5	Wartsila w26.....	24
3.4	Forbruk under ulike belastninger.....	27
3.4.1	Drøfting drivstofforbruk.....	31
3.5	Plassutnyttelse og montering	32
3.5.1	33	
3.5.2	Tegning av motorene	37
3.5.3	Drøfting om plassutnyttelse	54
3.6	Vekt	55
3.7	Driftssikkerhet og vedlikehold	58
3.7.2	Drøfting driftssikkerhet	64
4	Konklusjon	66
4.1	Caterpillar C280-12	66
4.2	Caterpillar C280-16	66
4.3	MAN 28-33D.....	67
4.4	MTU 1163 M04.....	67
4.5	Wartsila w26.....	68

4.6	Rolls Royce C25:33V12P	69
5	Konklusjon.....	70
	Vedlegg (Se egne dokumen).....	73
6	Bibliografi	74

1 Sammendrag

Dette er en teoretisk oppgave som undersøker alternative dieselmotorer for Nansenklasse fregatter. Oppgaven er ikke skrevet på oppdrag fra noen, og er en uavhengig studie. Begrensningene for oppgaven er at dagens romvolum og gir skal benyttes. Oppgaven tar heller ikke hensyn til kostnadene til de ulike motorene.

Oppgaven er en mulighetsstudie, der ulike motorer vil bli vurdert opp imot ulike kriterier, de ulike kriteriene vil bli vektet for så å bidra til en konklusjon. Gjennom samtaler med veileder, maskinister og personell som arbeider med den tekniske driften av fartøyene har det blitt utarbeidet følgende kriterier som er viktige for fremtidige dieselmotorer: effekt og effektområde, følge moderne IMO Tier 2 krav, vekt, forbruk, plassutnyttelse, og driftssikkerhet. Etter å ha studert dieselmotorene til de nyeste vestlige marinefartøyene, samt sortimentet til de store motorproducentene ble følgende motorer utvalgt til undersøkelsen; Caterpillar C280, MAN 28/33D STC, MTU 1163 M04, Wärtsilä w 26, og Rolls Royce Bergen Engines C25:33V12P. Disse motorene besto kravene om å levere 4-4,5 Mw ved 1000 rpm, og ble videre evaluert.

Etter å ha 3D tegnet maskinrommet ble det identifisert at Caterpillar C280 og MTU 1163 M04 var de eneste motorene i undersøkelsen som fikk plass, MAN 28/33D STC vil kreve endring av dagens galleri pga lengden, Wärtsilä W26 krever en større avstand mellom motorene, og Rolls Royce Bergen Engines C25:33V12P vil ha liten plass mellom motorene, samt at det vil være for liten plass til å trekke ut stempler og sylindreforinger.

MTU motoren er den minste og letteste kandidaten, men også motoren som kjører med høyest middeltrykk og stempelhastighet, noe som sannsynligvis vil føre til raskere slitasje og mer vedlikehold. MTU motoren har muligheten til å gå på et høyere turtall uten at momentet overskrider det giret tåler, dette kan gi fartøyet en høyere fart uten å måtte kjøre gassturbinen, men det kan også forstyrre propellens virkningsgrad slik at fartøyet får lavere hastighet.

Caterpillar C280 motoren er etterfølgeren til 36-serien til Caterpillar, som dagens dieselmotor er basert på. Det blir antatt i oppgaven at C280 motoren vil være lettere å montere pga. likheten til dagens motor. Caterpillar C280 motoren levers som 12 og 16 sylindret motor, begge med en sylinderytelse på 340 kW. Dette gir en effekt på 4080 for den 12 sylindrede varianten, som er lite. Eller 5440 kW for den 16 sylindrede motoren, som er mye. Etter at alle kriteriene var vektet og sammenlignet konkluderes det med at en nedjustert Caterpillar C280-16 motoren er den beste motoren å erstatte dagens dieselmotorer med.

Tabeller/Diagrammer

Figur 1 Tilnærmet dagens løsning, fuelenergi er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Caterpillar Marine Power Systems, 2012)	19
Figur 2 C280-12 motoren, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Caterpillar Marine Power Systems, 2012)	20
Figur 3 C280-16 ved fullt pådrag, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Caterpillar Marine Power Systems, 2012)	21
Figur 4 MAN28/33D ved 85% pådrag, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Man Diesel & Turbo, 2016)	22
Figur 5 RR C25:33V12P ved MCR, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Bergen Engines, 2018)	23
Figur 6 Wärtsilä 26 V12 ved MCR, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (WÄRTSILÄ Engines, 2016)	24
Figur 7 Sammenligning av virkningsgradene og eksosenergi	26
Figur 8 estimert propellkurve	28
Figur 9 C25:33 forbruk (Bergen Engines, 2018)	29
Figur 10 forbruk ved ulike belastninger	30
Figur 11 MAN STC system (Man Diesel & Turbo, 2016).....	31
Figur 12 stb. side av dagens motor fundament	33
Figur 13 forenklet motorfundament.....	34
Figur 14 belastninger på motorfundament.....	35
Figur 15 deformasjon og krefter	36
Figur 16 fundament med lettehull.....	37
Figur 17 Wärtsilä prosjektveiledning	38
Figur 18 måling av korrekte avstander	39
Figur 19 autotrace for dimensjonsangivelse	40
Figur 20 Extrude av figuren.....	40
Figur 21 Wärtsilä 26, forenklet modell.....	41
Figur 22 plass til utnyttelse	42
Figur 23 fra venstre, Rolls Royce C25:33V12P, Wärtsilä W26, MTU 1163 M04, MAN V28/33D, Caterpillar 280-16, Caterpillar 280-12. Skjermutklippet er fra pumpesiden av motorene, alle motorene er montert på samme fundament	43

Figur 24 MAN og MTU motor	44
Figur 25 Caterpillar C280-12 sett bakfra	45
Figur 26, avstander rundt Caterpillar C280-motoren	45
Figur 27 Caterpillar C280-16 motoren sett forfra	46
Figur 28, avstander rundt Caterpillar C280 motoren	46
Figur 29 MAN V28/33D, sett bakfra	47
Figur 30 avstand rundt MAN 28/33D motoren	47
Figur 31 anbefalt avstand mellom motorene	47
Figur 32 avstander for trekking av stempel og sylindreforinger	48
Figur 33, nødvendig avstand for demontering av pumper og turbo	48
Figur 34 MTU 1163 M04	49
Figur 35, avstand rundt MTU 1163 M04 motorene	49
Figur 36 Wärtsilä W26 i 3D	50
Figur 37 avstand rundt Wärtsilä W26 motoren	50
Figur 38 Akselavstand mellom W26 v-motorer	51
Figur 39 Akselavstand V- og Rekkemotor	51
Figur 40 Rolls Royce C25:33V12P	52
Figur 41 avstand rundt Bergen Diesel C25:33V12P motorene	52
Figur 42 nødvendig avstander for trekking av powerpacks på rekkemotoren	53
Figur 43 MCR kurve generell (Ansgar Lund, Gisle Strand, 2013)	60
Figur 44, sammenligning av middeltrykk og stempelfart	61
Figur 45, MTU to-steps turbolader (Fenske, 2012)	62
Figur 46 Rolls Royce sin sylinderenhetsløsning for rekkemotorer (Bergen Engines, 2018)	62
Figur 47 Wärtsilä sin sylinderenhetsløsning (WÄRTSILÄ Engines, 2016)	63
Figur 48 demontering av vibrasjonsdemper på MAN 28/33 motoren (Man Diesel & Turbo, 2016)	64
Formel 1, momentet i forhold til effekt og vinkelhastighet	17
Formel 2, effektiv effekt	18
Formel 3, effekten til eksosen	25
Formel 4, prosentandel av energi til eksos og til aksling	25
Formel 5, formel for et estimat av hvor mye drivstoff et fartøy bruker for å seile en gitt distanse	56
Formel 6	57
Formel 7, admiralitetskoeffisienten. (MAN Diesel & Turbo, 2016)	57
Tabell 1, vektig av kriterier	15
Tabell 2, sammenligning av sylindervolum trykk, turtall, effekt og moment	17
Tabell 3, rangering av effekt	27
Tabell 4, forbruk og annen data MTU 1163 TB03 og 1163 M04 (Fenske, 2012)	30

Tabell 5, rangering drivstofforbruk	32
Tabell 6, estimering av størrelse på C25:33V12P	53
Tabell 7, rangering av plassutnyttelse.....	55
Tabell 8, vektøkning som følger av nymotor.....	56
Tabell 9, sammenheng mellom ulike vekter.....	56
Tabell 10, sammenheng mellom vekt og økt pådrag	57
Tabell 11, rangering av motorene i forhold til vekt.....	58
Tabell 12, sammenligning av TBO	59
Tabell 13, Sammenligning mellom de ulike kriterier som gir økt vedlikehold.....	61
Tabell 14, rangering driftssikkerhet.....	65
Tabell 15, Resultater for C280-12	66
Tabell 16 Resultater for C280-16	66
Tabell 17, Resultater for MAN28-33D motoren	67
Tabell 18 Resultater for MTU 1163M04.....	68
Tabell 19 Resultater for Wärtsilä 26.....	68
Tabell 20 Resultater for Rolls Royce C25:33V12P.....	69
Tabell 21, gjennomsnitt av rangeringene til motorene, med vektning. Der 1 er best og 7 er dårligst.....	71

Nomenklatur

CODAG	Combined Diesel and gas
CPP	Controllable pitch propeller
G	Tyngdepunktssenter
GM	Avstand fra tyngdepunktssenter til metasenterhøyde
GT	Gassturbin
M	Metasenterhøyde
MCR	Maximum Continuous Rating
SFOC	Specific Fuel Oil Consumption
TBO	Time Between Overhaul
PLN	Pump Line Nozzle
STC	Sequentially turbocharger

2 Problemstilling

2.1 Problemstilling

Marinenes større kampfartøy er utstyrt med 2 stk. dieselmotorer for framdrift. Dette er motorer med høy ytelse som med tiden vil bli slitt, og dermed føre til begrensninger for hvordan fregattene kan løse sine oppdrag med tanke på ytelse og driftssikkerhet. Denne oppgaven tar for seg potensielle alternative dieselmotorer til dagens motorer, i den hensikt å kartlegge positive og negative sider med nye motorer i samme størrelsesorden som dagens motorer.

2.1.1 Tolkning av problemstillingen

Oppgaven skal analysere dagens teknologi, og kartlegge mulige løsninger. For så å fremme et forslag om hvilke dieselmotorer som er best egnet for fregattene. Løsningen skal begrunnes gjennom å analysere tekniske krav og funksjoner for fartøysklassen, opp imot ulike løsninger sine kapasiteter og egenskaper. Konklusjoner og valg skal være understøttet med beregninger/analyser. Eventuelle negative konsekvenser av valgt løsning skal tydeliggjøres ift. operasjonelle forhold.

2.1.2 Begrensninger i oppgaven

Eksisterende romvolum nyttes for å grovprosjekttere nye dieselmotorer, begrenset av at dagens gir beholdes. Oppgaven ser heller ikke på kostnader, og vil bare overfladisk se på gjeldende regelverk. For å holde oppgaven ugradert vil ikke eksakte data om dagens anlegg benyttes, derimot så vil tilnærminger og antakelser bli brukt. For å beholds dagens gir vil de aktuelle motorenes dreiemoment ikke kunne overstige dagens løsning.

2.1.3 Metode

Dette er en mulighetsstudie der motorene vil bli evaluert på en skala fra 1-7 på ulike kriterier der 1 er best. Kriteriene vil bli vektet mot hverandre for å tilslutt kunne bidra til en konklusjon om hvilken motor som i henhold til satte kriterier og vekting er best egnet.

Prosessen for å finne informasjon, kriterier og vektlegging gikk i følgende faser:

1. Lage et system for planlegging og timeføring
2. Grov innhenting av hvilke produsenter som var aktuelle
3. Finne informasjon om motorene
4. Lær om dagens løsninger
 - a. Besøk om bord
 - b. Møter med maskinmestre, og nøkkelpersoner i driften av fartøyene, diskutere hva de synes var viktige kriterier, og en fornuftig vektlegging
5. Planlegge og gjennomføre besøk om bord for å innhente nødvendige data for modellering av maskinrom
 - a. Modellere maskinrom
6. Analysere data fra prosjektveiledningene, med hensyn
 - a. Kriterier
 - b. Plassutnyttelser i 3D modelleringen

2.1.4 Struktur

Oppgaven tar for seg hva som er viktig for moderne fremdrifts-dieselmotorer om bord marinefartøy. Dette blir videre brukt til å utarbeide kriterier for hva motorene vil bli vurdert på, og hvordan disse kriteriene vil bli vektet. Selve besvarelsen bygger på disse kriteriene. Kriteriene bli grundig evaluert i respektive delkapittel, der hvert delkapittel vil ha sin egen konklusjon, med rangering av motorene. Informasjonen i delkapitlene er baser på informasjonen gitt i produsentenes prosjekt veiledninger, og informasjon fra målinger om bord. Når alle kriteriene er vurdert og vektet vil dette bidra til å dra en konklusjon.

3 Besvarelsen

3.1 Suksessfaktorer for potensielle motorer

Det er mange produsenter av marine dieselmotorer.

For å isolere aktuelle modeller ble følgende kriterier satt:

- Effekt og effektområde
- Følge moderne IMO Tier 2 krav
- Vekt
- Forbruk
- Plassutnyttelse
- Driftssikkerhet

Etter å ha sett i de store motorprodusentenes sortiment ble følgende motorer valgt ut som aktuelle kandidater:

- Caterpillar C280
- MTU 1163 M04
- MAN V28-33D
- Wärtsilä W26
- Bergen Engine C25:33P

Bergen Engine type C25:33 LP leveres maks med 9 sylindre og 3000 kW i dag, og Bergen Engines har heller ingen planer om å utvikle sin c-motor i den retningen siden det er kostbart og deres B33:45 motor dekker effektområdet det er aktuelt for. Siden dette er en mulighetsstudie inkluderes denne motoren.

Det er flere motorprodusenter som lager motorer i samme størrelsesorden, men på grunn av politiske hensyn ble ikke f.eks Kinesiske og Russiske motorer vurdert. En del mindre produsenter som f.eks Bazan Bravo er videreutviklinger av motortyper til kjente produsenter som Caterpillar, og derfor dekket ved å se på de store produsentene.

3.1.1.1 Kort om motorene

Caterpillar C280 er en videreutvikling av 36-serie-motoren dagens fregattmotor er basert på. Den er videreutviklet med elektronisk styrte pumpedyser, og mer elektroniske styringer. Motoren leveres som L6, L8, V12 og V16, med en sylinderytelse på 340 kW per sylinder, ved 1000 rpm og et middeltrykk på 22 bar. C280 står for sylinderdiameter (Cylinder Bore) 280 cm.

MTU 1163 M04 er en mye brukt motor i nyere marinefartøy. Motorene er lette, og leverer mye effekt i forhold til størrelsen. Motoren leveres i V12, V16 og V20 med en sylinderytelse på 370 kW per sylinder, ved 1325 rpm og et middeltrykk på 28 bar. 1163 er hvilken serienummeret til motoren, og M står for marine.

MAN V28-33D STC er en motor med mye effekt og smarte teknologiske løsninger som sekvensiell turboladning og elektronisk innsprøytning. Motoren opptar et stort volum i maskinrommet og veier 11 tonn per motor mer enn dagens motor. Den leveres som V12, V16, eller V20 med en sylinderytelse på 455 kW eller 500 kW 1000 eller 1032 rpm ved et middeltrykk på 26,7 eller 28 bar. V28-33D STC står for sylinderdiameter på 28 cm slaglengde på 33cm og STC er turboteknologien på motoren.

Wärtsilä w26 er en motor som i størrelse og ytelse ligner på dagens motor. Wärtsilä leverer motorer til en del offshorefartøy og til nye KNM Maud. W26 serien leveres som L6, L8, L9, V12 og V16 motorer og har en sylinderytelse på 340 kW. Ved 1000 rpm og et middeltrykk på 23,9 bar. W26 står for Wärtsilä sylinderdiameter 26 cm.

Bergen Engine C25:33P er robuste motorer brukt til fremdrift og strømproduksjon. Motoren leveres som L6,L8 og L9 motor med en sylinderytelse på 335 kW. Ved 1000 rpm og et middeltrykk på 25 bar, i oppgaven vil det bli brukt en teoretisk C25:33V12P. C er motortypen, 25 er sylinderdiameter i cm, 33 er slaglengden i cm og p står for propulsjon dvs. at det er en fremdriftsmotor.

3.1.2 Kriterier og vektninger for motorer

Kriteriene ble funnet gjennom studering av pensum og diskusjoner med veileder, medkadder, personell om bord, samt siv.ing Roy Isaksen og ing. Per Ståle Gjerde. Kriteriene for motorene blir vektet på ulike grunnlag. Plassutnyttelse er vektet tungt siden det er viktig at motorene fysisk får plass, og det er plass til å drive tilstrekkelig vedlikehold. Vekt er alltid viktig om bord marinefartøyer, siden vekt spart f.eks i en lettere motor kan brukes til å ta med mer våpen eller drivstoff. Effektområdet til motoren er viktig siden en for liten motor vil måtte gå med for høy effekt, og dermed bli mindre driftssikker. Om det blir montert en motor med for mye effekt vil fartøyet dra med seg unødvendig vekt, den vil sannsynligvis ha flere bevegelige deler som vil gi flere ting som kan gå i stykker.

Forbruket er ønskelig å holde lavt siden dette gir økt rekkevidde eller redusert vekt.

Driftssikkerhet kan være forskjellen på død og liv i krig, men dataene fra de ulike produsentene om drift og vedlikehold er vanskelige å sammenligne, derfor vil faktorer som fører til slitasje bli vurdert.

Tabell 1, vektig av kriterier.

Kriterie	Vekting [%]
Effektområde	20
IMO krav	ja/nei
Vekt	24
Forbruk	15
Plassutnytte	26
Driftssikkerh	15
Totalt	100

Effektområde vil være bli bedømt på hvor godt egnet motoren er til å produsere ønsket effekt på rett turtall, her vil det ideale være 4500kW på 1000 rpm, for lite effekt vil være negativt, siden fartøyet ikke vil oppnå ønsket hastighet. For mye effekt betyr at motoren ikke kan kjøres på maks effekt og vi ikke får brukt det fulle potensialet til motoren, noe som også vekter negativt.

Samtlige motorer i undersøkelsen oppfylder ifølge produsentenes prosjektveiledninger IMO Tier II sine krav til utslipp.

3.2 Effektområde

Dagens fregatter har en motoreffekt på 4,5 MW ved et turtall på 1000 rpm, dette gir et moment på omlag 43 kN.

$$T = \frac{P_e}{\omega}$$

Formel 1, momentet i forhold til effekt og vinkelhastighet

For å få økt effekt kunne det vært mulig å øke turtallet, siden fartøyene har vribart propellanlegg (CPP).

Denne problemstillingen ble stilt videre til produsenten av giret. Produsenten mente at så lenge momentet ikke økte, bare turtallet, så ville ikke dette føre til økte spenninger på giret, derimot så mente de at følgende faktorer måtte vurderes:

- I CODAG mode vil GT sitt maksturtall gjøre at motorene maks vil kunne holde et turtall på 1000 rpm
- De hydrauliske clutchene i giret må sjekkes om de tåler større turtall, og vil sannsynligvis trenge en utredning for å finne ut hvor mye mer gjennomstrømning de trenger, og hvor mye mer varme som vil bli generert.
- Kapasiteten til smøresystemet må sannsynligvis oppgraderes, med kjølere og pumper med større kapasitet.
- Det må gjennomføres en studie på vibrasjoner slik at eventuelle frekvenser som skaper vibrasjoner kan bli lokalisert.
- Innstillingene for resten av giret vil bli påvirket, og vil måtte justeres.

I tillegg vil ikke nødvendigvis dagens propell gi fartøyet økt hastighet pga. økt turtall siden dette kommer an på propellens egenskaper.

Tabell 2, sammenligning av sylindervolum trykk, turtall, effekt og moment

			Slag- lengde	Diame- ter	Mep	Turtall	Pe	Pe/syl	Moment
Merke	Type	Ant syl	[mm]	[mm]	[Bar]	[rpm]	[kW]	[kW]	[kN]
Cat	C280-12	12	300	280	20	1000	3693	308	35
Cat	C280-16	16	300	280	20	1000	4924	308	47

MTU	1163 M74	16	280	230	25,8	1200	4800	300	38
MTU	1164 M74	16	280	230	23	1000	3566	223	34
MAN	V28/33D STC	12	330	280	22,8	1000	4631	386	44
RR	C25:33V12P	12	330	250	25	1000	4048	337	39
Wärtsilä	W26	12	320	260	23,85	1000	4050	337	39

De ulike motorene har gitte data for effekt. Sammenhengen mellom effektiv effekt og trykk er gitt med formelen:

$$P_e = i * V_h * p_{me} * n_\alpha$$

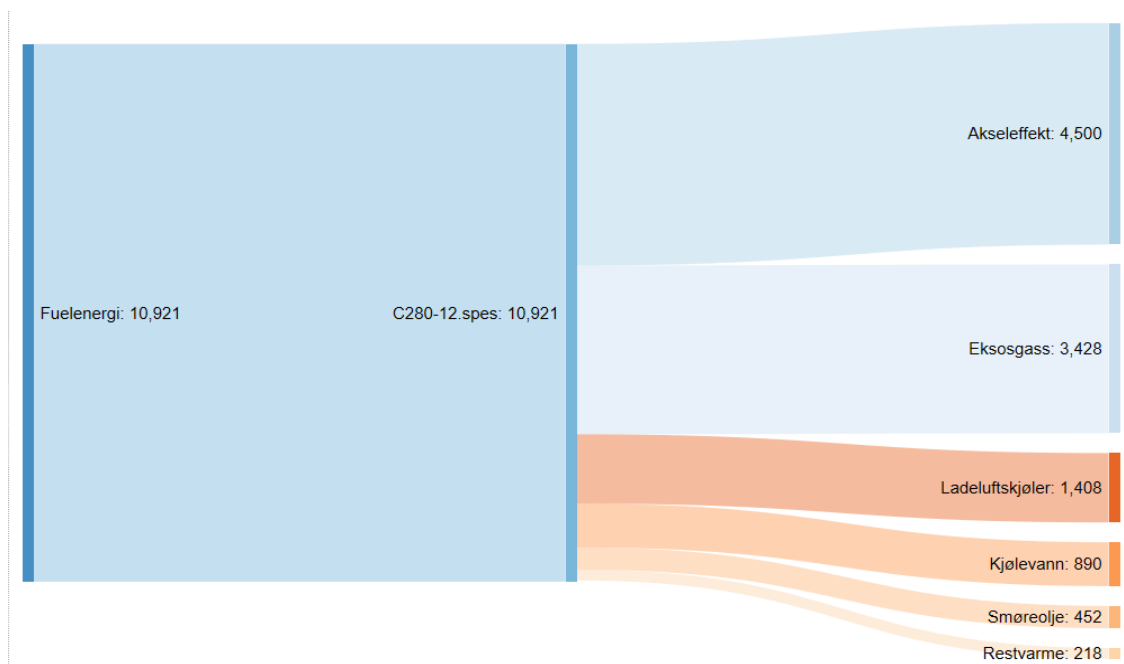
Formel 2, effektiv effekt

Gjennom å benytte denne formelen kan en motor med ønsket effekt teoretisk designes, om f.eks W26-motoren øker Mep til 26,5 bar vil dette gi en effekt på 4500 kW, med et moment på 42,97 kNm. Etter å ha sendt forespørsel til MTU, Caterpillar, og RR om økt middeltrykk virker det som produsentene er skeptiske til noe mer enn en marginal økning av middeltrykkområde. Dette er likevel et problem som kan undersøkes mer, siden Caterpillar C280, Wärtsilä W26, og Rolls Royce Bergen Engines C25:33P, har 12-syl motorer som gir en effekt på litt over 4000kW, og neste motoren av samme type er 16-syl med en effekt på rundt 5400kW og et moment som er for høyt for giret, og samtidig øker deplasementet og opptar plass i maskinrommet. Samtidig har MTU 1163 V 16 ved 1325 rpm en effekt på 5290 kW, og et moment på omtrent 43 kNm

3.3 Effektområde og varmembalanse

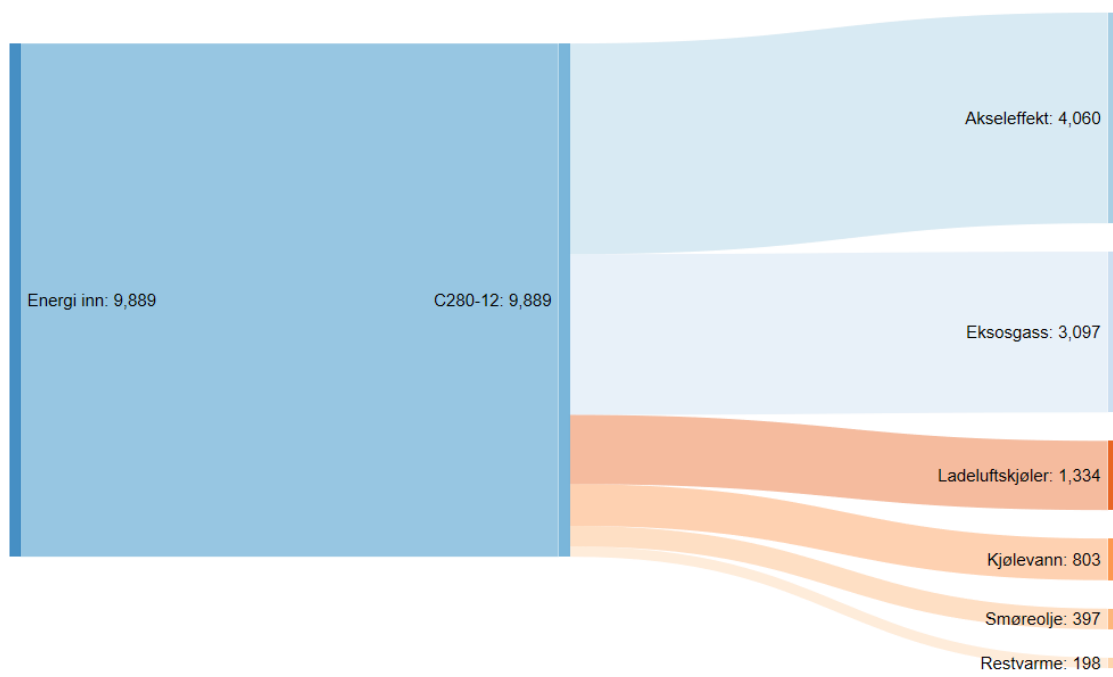
3.3.1 Caterpillar C280-12

For å holde oppgaven ugradert er ikke de faktiske dataene for varmembalansen til dagens anlegg benyttet, derimot så er et grovt overslag over varmen gjort ved å interpolere verdiene mellom den 12 og 16 sylindrede varianten av C280 motoren som er en videreutvikling av 3612 motoren som er en variant av motoren som står der idag



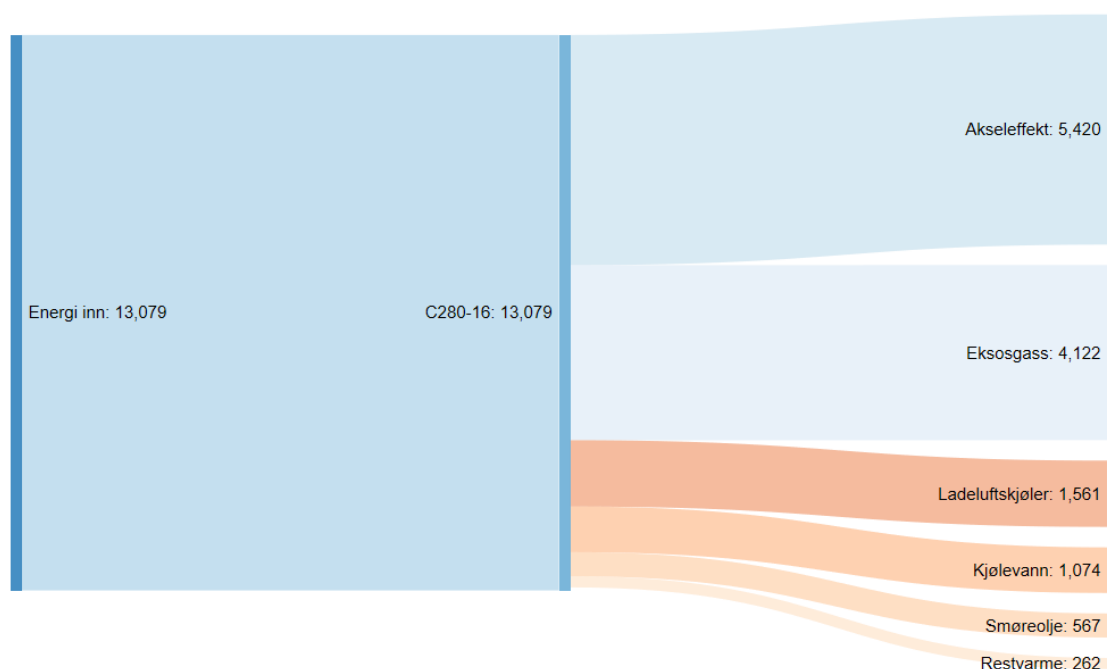
Figur 1 Tilt nærmet dagens løsning, fuelenergi er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Caterpillar Marine Power Systems, 2012)

Det er et estimat på hvordan varmefordelingen er på dagens anlegg ved fullt pådrag. Gjennom å se på energien inn, og fordelingen av energien i motoren kan fordeler og ulemper med potensielle nye anlegg sammenlignes med dagens anlegg.



Figur 2 C280-12 motoren, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Caterpillar Marine Power Systems, 2012)

3.3.2 Caterpillar 280-16



Figur 3 C280-16 ved fullt pådrag, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Caterpillar Marine Power Systems, 2012)

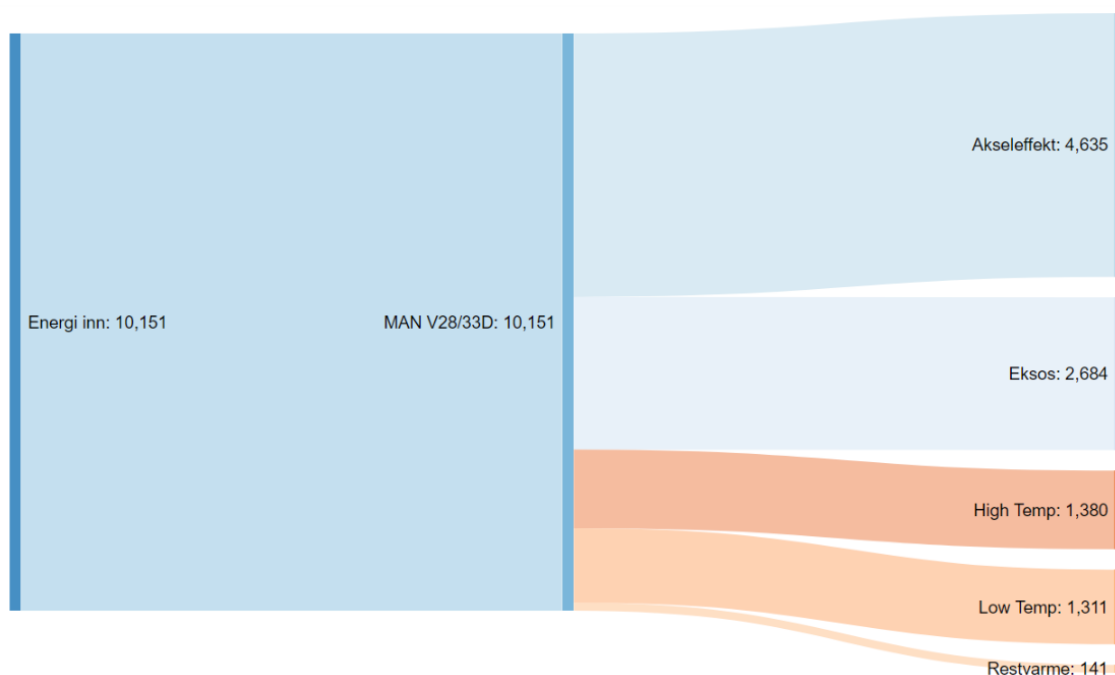
Den 16-sylindrede varianten av Caterpillar sin motor har i en høyere ytelse enn dagens anlegg, og vil derfor produsere en del mer overskuddsenergi. Prosjektveiledningen har ikke data på andre effektkondisjoner.

C280 motoren leveres med følgende kjøling:

- To identiske motordrevet sentrifugalpumper
 - Pumpen på høyresiden av motoren (sett fra svinghjulsiden av motoren) sirkulerer kjølevannet til blokken og sylindredekslene
 - Pumpen på venstresiden av motoren (sett fra svinghjulsiden av motoren) sirkulerer kjølevannet til ladeluftkjøleren og smøreoljekjøleren.
- Ladeluftkjøler
- Oljekjøler

Derfor kan det antas at dagens kjøleanlegg, utenom det som står på motoren, har to kjølere og en sjøvannspumpe, en til å kjøle blokken og sylinderdekslene på minimum 890 kW, og en til å kjøle ladeluftkjøleren og smøreoljekjøleren på minimum 1860 kW. Disse vil være regulert med en styrbar treveisventil med temperaturfølere, styrt av en PID regulator

3.3.3 MAN 28/33D



Figur 4 MAN28/33D ved 85% pådrag, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstoffforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (MAN Diesel & Turbo, 2016)

Ut ifra dataen oppgitt i guiden så «manglet» det 1000 kw, eller omtrent 10%. Verdiene for eksos ble regnet ut manuelt ut ifra verdiene oppgitt i prosjektveiledningen, og ved en antakelse om at lufttemperaturen etter ladeluftkjøleren er 42 grader celcius. MAN V28/33D Levers med følgende kjøling:

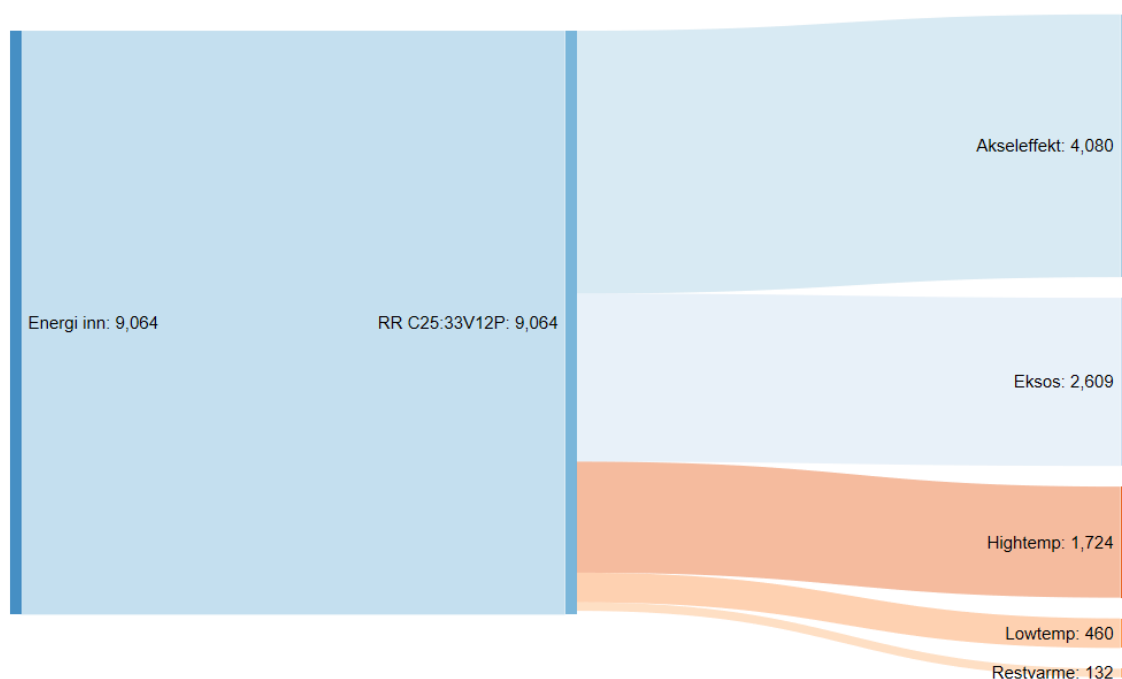
- Pumper
 - HT kjølevannspumpe, montert på «pumpeside» av motoren
 - LT kjølevannspumpe, montert på «pumpeside» av motoren

- Smøreoljepumpe, montert på «pumpeside» av motoren
- Sjøvannspumpe, monter på «pumpeside» av motoren
- To-steps ladeluftkjøler montert på toppen av motoren
- Oljekjøler, montert på svinghjulssiden av motoren

MAN motoren har en HT og en LT sløyfe.

Denne motoren vil trenge en ekstern varmeveksler med kapasitet til å fjerne 2691 kW.

3.3.4 RR C25:33V12P



Figur 5 RR C25:33V12P ved MCR, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (Bergen Engines, 2018)

Dataene for en potensiell C25:33V12P motor er funnet gjennom å ekstrapolere data for en RR C25:33L8P og en C25:33L9P motor.

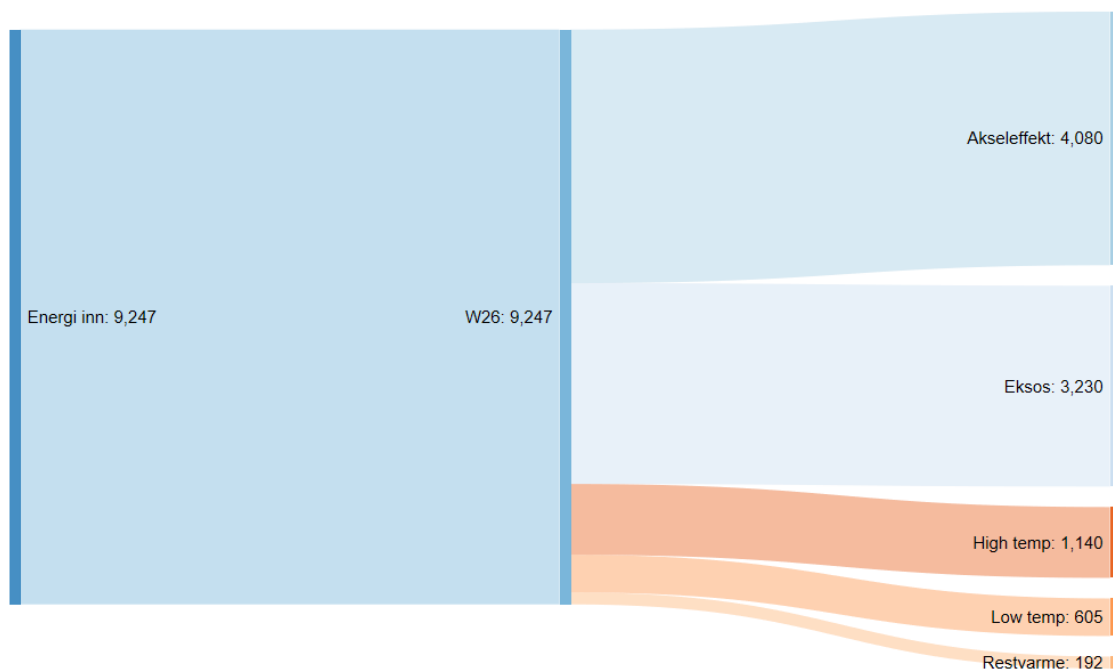
RR C25:33L9P, er utstyrt med

- Pumper
 - Ferskvanns HT-pumpe
 - Lavtemp sjøvannspump

- Ladeluftskjøler
- Smøreoljekjøler

Dette systemet vil kreve en ekstern varmeveksler til å fjerne omtrent 2375 kW.

3.3.5 Wärtsilä w26



Figur 6 Wärtsilä 26 V12 ved MCR, energi inn er gitt i ved spesifikt brennstofforbruk multiplisert med energiinnholdet i drivstoffet og oppgitt i Joules/s=watt, effekten til forbrukerne er gitt i kW (WÄRTSILÄ Engines, 2016)

Wärtsilä 26 motoren er utstyrt med følgende

- Pumper:
 - HT-ferkvanns kjølepumpe
 - LT-ferkvann kjølepumpe
- Kjølere:
 - Smøreolje
 - To trinns ladeluftkjøler

Dette systemet vil kreve en ekstern varmeveksler til å fjerne omtrent 2375 kW samt en ekstern sjøvannspumpe.

MTU hadde ikke noe termisk data i sin prosjektveiledning, og det antas dermed at deres motor har en ytelse og et kjølesystem som ligner på resten av motorene.

Noen av prosjektveiledningene manglet data for eksos, siden ble effekten i eksosen funnet med følgende formel og følgende konstanter:

$$Q_{eksos} - Q_{luft} = m_{eksos} C_{pG} * T_{eksos} - m_{luft} C_{oL} * T_{luft}$$

$$C_{pG} = 1,090 \frac{kJ}{kgK}$$

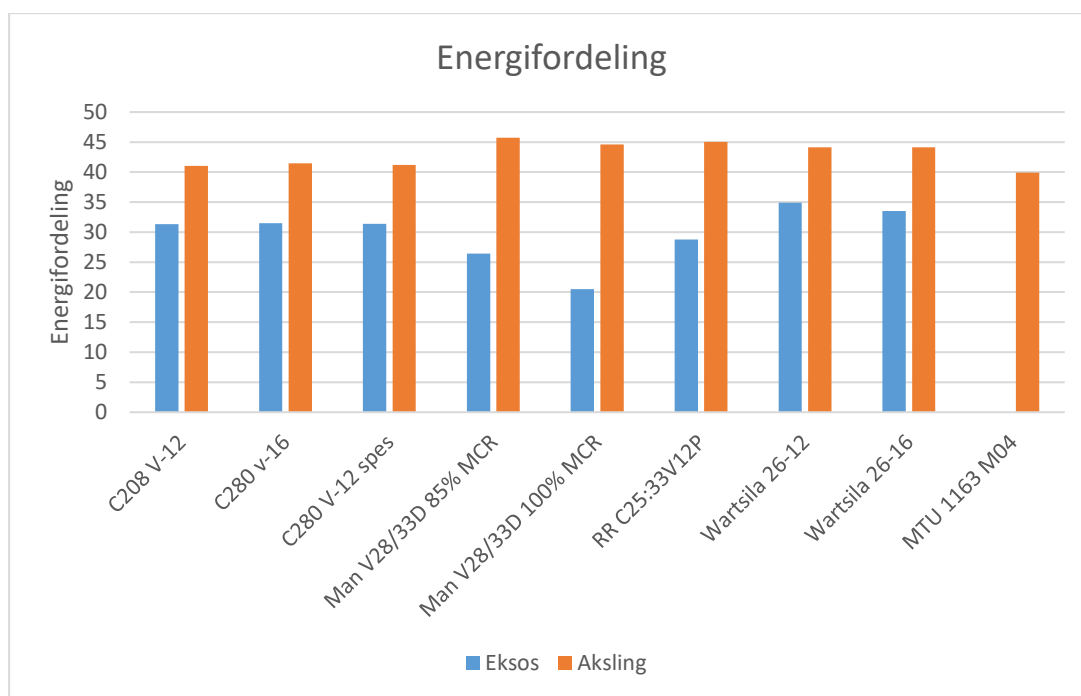
$$C_{oL} = 1,005 \frac{kJ}{kgK}$$

Formel 3, effekten til eksosen

Motorenes termiske virkningsgrad ble sett på ved å se på mengde drivstoff inn og energiinnholdet i drivstoffet, i forhold til effekten på akslingen.

$$\eta_{temisk\ aksel} = \frac{P_{aksel}}{m_{brennstoff} * h_n} \text{ og } \eta_{temisk\ eksos} = \frac{P_{eksos}}{m_{brennstoff} * h_n}$$

Formel 4, prosentandel av energi til eksos og til aksling



Figur 7 Sammenligning av virkningsgradene og eksosenergi

Figur 7 viser at det er ulikheter i virkningsgradene til de ulike motorene når de går med 100% av MCR og 85% for MAN. Variasjonene i energioverføringen til aksling er på omtrent 6% fra høyest til lavest. Samtidig er variasjonen i energioverføring via eksos på 15 % forskjell fra høyest til lavest. Så om fartøyene ønsker å benytte seg av varmen fra eksosen til f.eks drift av hjelpemaskineri eller ferskvannsproduksjon i fremtiden er det en differens i motorene.

Ut ifra estimert data for dagens anlegg kan det antas at et eventuelt motorbytte til en annen fabrikant vil kreve ombygging av kjølesystemet, og om det blir installert en Caterpillar C280-16, vil den måtte kjøres på et lavere moment enn designmoment, og sannsynligvis kreve en del mindre kjøling. Dagens anlegg kan være tilstrekkelig for å transportere bort varmen når en C280-16 motor går med 4500kW.

Ut ifra informasjonen i dette delkapitlet om effektområder og varmebalanse blir motorene evaluert til følgende rangering:

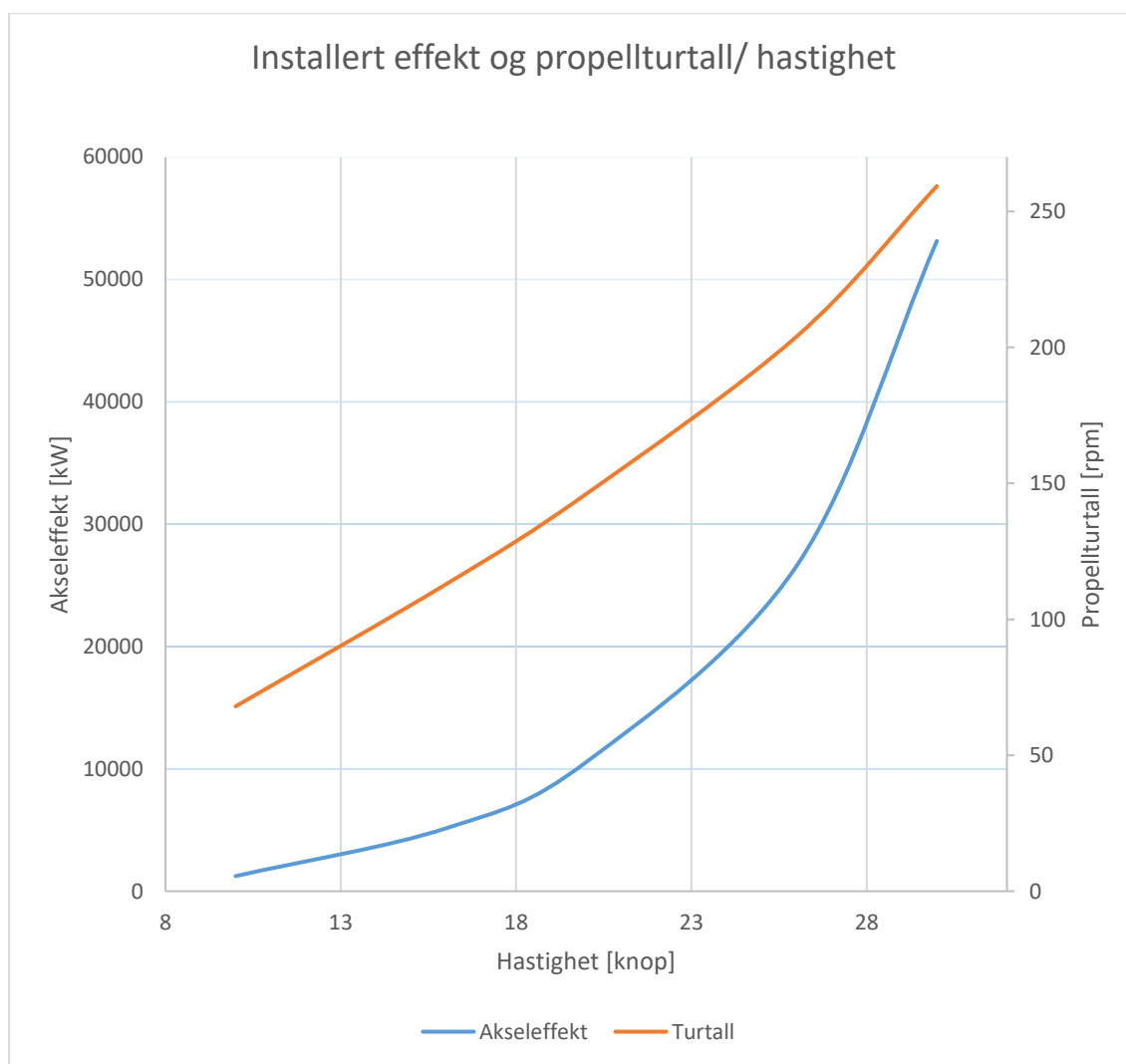
Tabell 3, rangering av effekt

Merke	kriterie	Effektområde
Vekting [%]		20
Cat	C280-12	5
cat	C280-16	2
MAN	V28-33D STC	3
MTU	1163 M04	2
RR	C25:33L12P	4
Wärtsilä	w26-12	5
Wärtsilä	w26-16	2

3.4 Forbruk under ulike belastninger

I forrige delkapittel ble varmen ved maks belastning diskutert, her vil forbruket ved ulike belastninger bli drøftet.

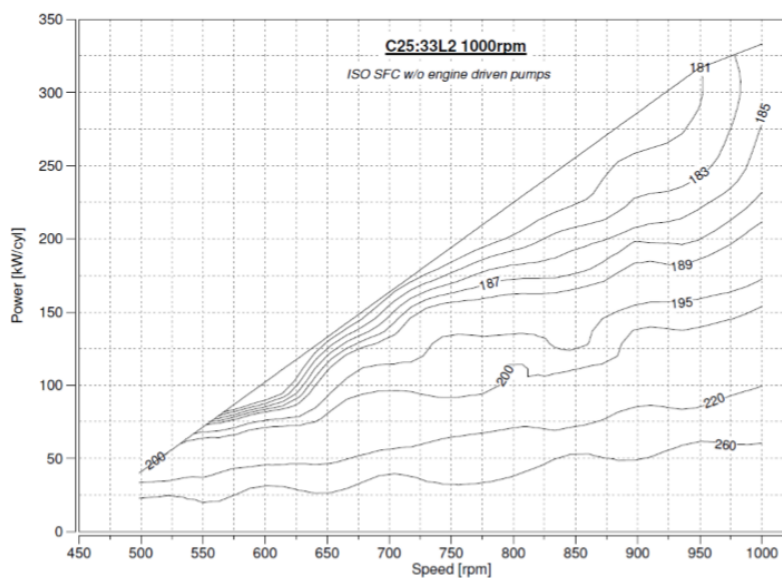
For å kunne diskutere belastninger og dermed forbruket må det ligge en propellkurve til grunne. For å holde oppgaven ugradert er det bare brukt en tenkt propellkurve basert på at maksfarten er om lag 27 knop ved 30,5 mW (Commodore Stephen Saunder RN, 2012), og resten av kurven ligner på en typisk propellkurve.



Figur 8 estimert propellkurve

Informasjonen om drivstofforbruket varierte fra produsent til produsent. Noen oppgir detaljerte kurver med forbruk og energiinnhold i drivstoff. Andre produsenter oppgir bare for enkelte områder.

Specific fuel consumption, 1000rpm 24,7bar bmep, C25:33L2



NB!

The above chart only show fuel consumption for guidance.

Operation of engine must be according to load limit curve, and not the above given curve.

Figur 9 C25:33 forbruk (Bergen Engines, 2018)

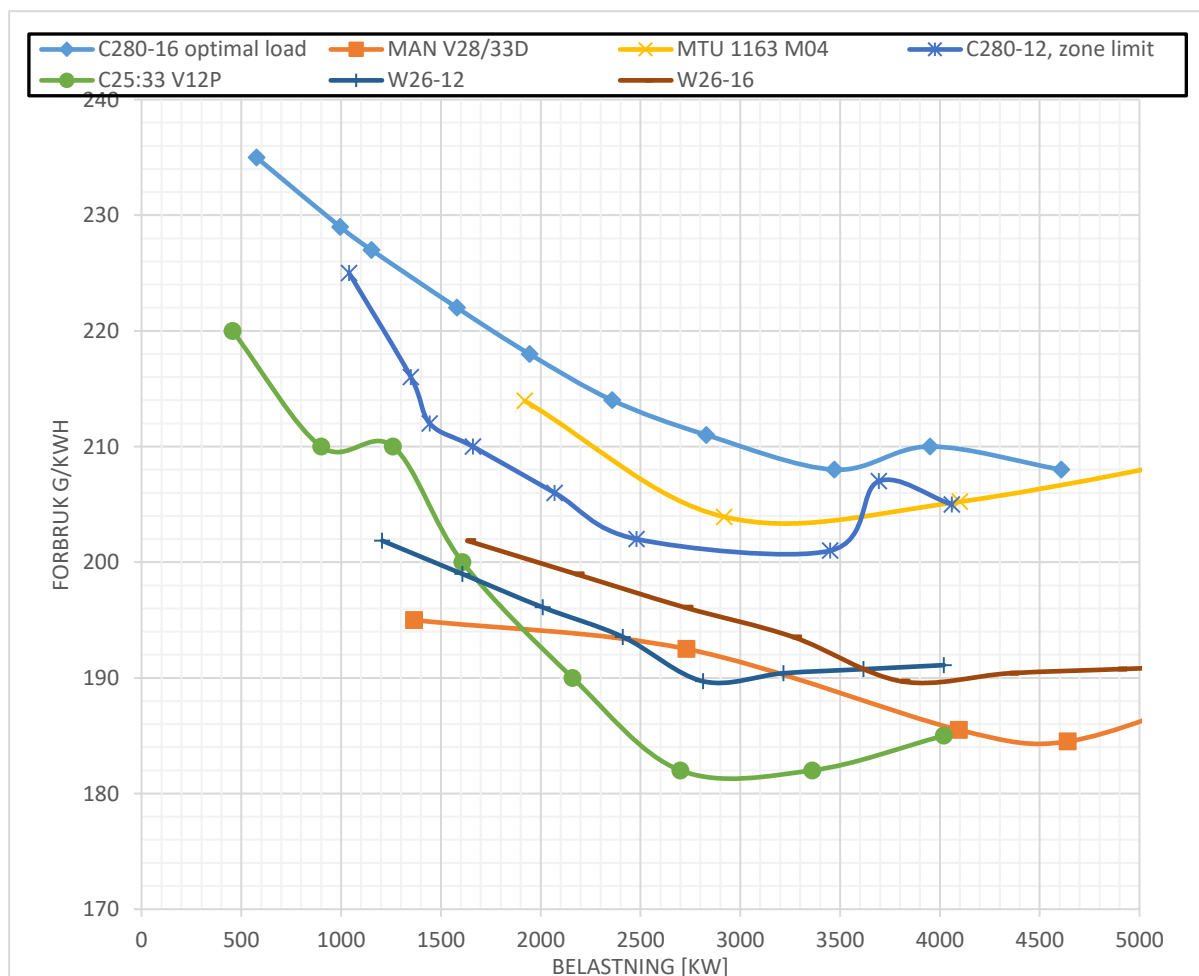
I Bergen diesel sin prosjektveiledning var forbruk og energiinnhold i drivstoffet oppgitt.

Dette gav nøyaktige resultater under sammenligningen.

Tabell 4, forbruk og annen data MTU 1163 TB03 og 1163 M04 (Fenske, 2012)

Feature	Series 1163 TB03	Series 1163 M04
Start of Delivery (year)	1987	2013
Emission compliance	IMO Tier 1	IMO Tier 2
MCR per Cylinder	370 kW	370 kW
Power per Swept volume	32 kW per ltr	32 kW per ltr
Weight-to-power ratio	3.1 kg / kW	3.3 kg / kW
Total weight 20V (dry)	23,000 kg	24,500 kg
Mean Effective Pressure	28.3 bar	28.3 bar
SFOC at nom. load (100% MCR)*	226 g/kWh	211 g/kWh
SFOC at part load 75% MCR*	218 g/kWh	205 g/kWh
SFOC at part load 50% MCR*	215 g/kWh	204 g/kWh
SFOC at part load 25% MCR*	228 g/kWh	207 g/kWh

I en presentasjon MTU sendte om sin 1163 M04 motor var informasjonen over oppgitt, det er ikke oppgitt energiinnhold i drivstoff eller turtall for disse avlesningene. Likevel så gir dataen grunnlag for videre drøfting, og blir derfor inkludert videre i oppgaven.

**Figur 10 forbruk ved ulike belastninger**

Grafen viser forholdet mellom effektivt spesifikt brenselforbruk og effekt. Der det er tatt utgangspunkt i kurven i figur 8, det er bare Caterpillar og Bergen Diesel som har oppgitt data på en slik måte at kurven kunne bli tatt hensyn til. MAN har oppgitt at deres data er hentet ut av en kurve for en CPP, men oppgir ikke denne kurven. MTU og Wärtsilä har kun oppgitt forbruk i prosent i forhold til MCR.

3.4.1 Drøfting drivstofforbruk

Motoren med det laveste forbruket er MAN-motoren. MAN opplyser at motoren er utstyrt med følgende løsninger:

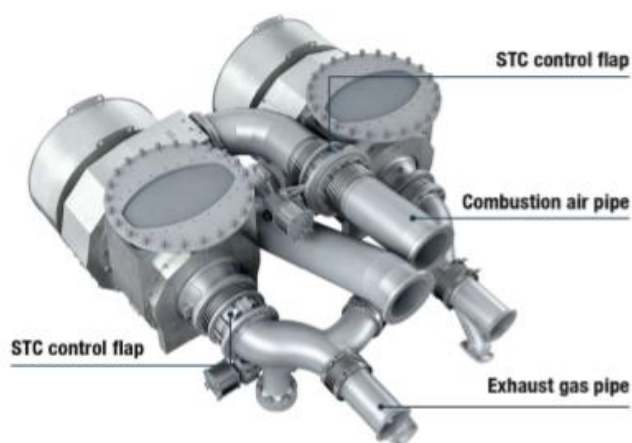


Figure 5: MAN V28/33D STC system

Figur 11 MAN STC system (MAN Diesel & Turbo, 2016)

- Motoren har to identiske turboladere, sequential turbocarging (STC), slik at det brukes en på lav belastning, og begge på høy belastning.
- Datastyrt innsprøytningssystem. Dette gir muligheten til å finjustere timingen og mengden etter lasten på motoren.

Kombinasjonen av disse løsningene gir et veldig fleksibelt og effektivt anlegg. Dataene oppgitt i denne oppgaven er hentet fra MAN sin egen Prosjektveiledning, under det de kaller «mechanical propulsion with controllable pitch propeller» og kan dermed ikke verifiseres opp mot den tenkte propellkurven for fregattene.

Caterpillar C280 og Wärtsilä w26 leveres også med datastyrt innsprøyting, av en lignende type som MAN 28/33D, med individuelle drivstoffpumper på hver sylinder med en elektronisk styrt dyse.

MTU sin motor benytter seg av innsprøyting etter common rail systemet, der det benyttes en høytrykkpumpe ut på en felles samlestock, og elektronisk styrte dyser regulerer timingen og leveringen av drivstoff.

Bergen Engines C25:33 motoren hadde et lavt forbruk på enkelte områder, men har høyere spesifikt brennstofforbruk på lavere last. Dette er karakteristikk som er typisk for motorer med klassiske drivstoffpumper på hver sylinder.

Ut ifra informasjonen i dette delkapitlet om forbruk blir motorene evaluert til følgende rangering:

Tabell 5, rangering drivstofforbruk

Merke	kriterie	Forbruk
Vekting [%]		15
Cat	C280-12	4
cat	C280-16	5
MAN	V28-33D STC	1
MTU	1163 M04	5
RR	C25:33L12P	3
Wärtsilä	w26-12	2
Wärtsilä	w26-16	3

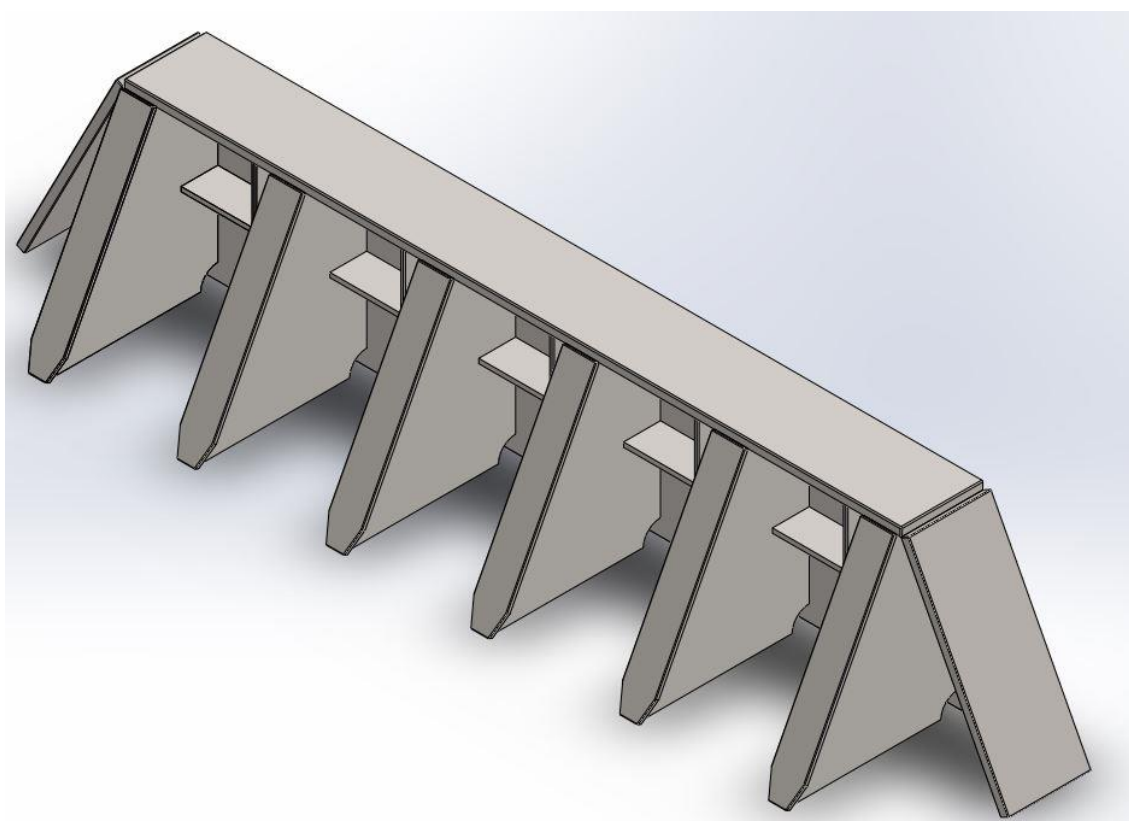
3.5 Plassutnyttelse og montering

For å visualisere plassutnyttelsen til motorene i maskinrommet ble CAD-programmet Solidworks benyttet. For å kunne tegne motorrommet ble det gjennomført avstandsmålinger om bord. Målingene ble gjennomført med enkle måleverktøy som skyvelære og tomme-
stock, og skissert og notert på papir før de ble tegnet i solidworks. Dette gir et greit estimat på hvordan motorene vil passe i maskinrommet. Målenøyaktigheten kan settes til +-40mm.

3.5.1 Tegning av motorfundament

I dette delkapitlet vil dagens motorfundament bli vurdert.

For å kunne gi en følelse av hvordan maskinrommet er i dag er det først tegnet et enkelt motorfundament, vist i figur 12

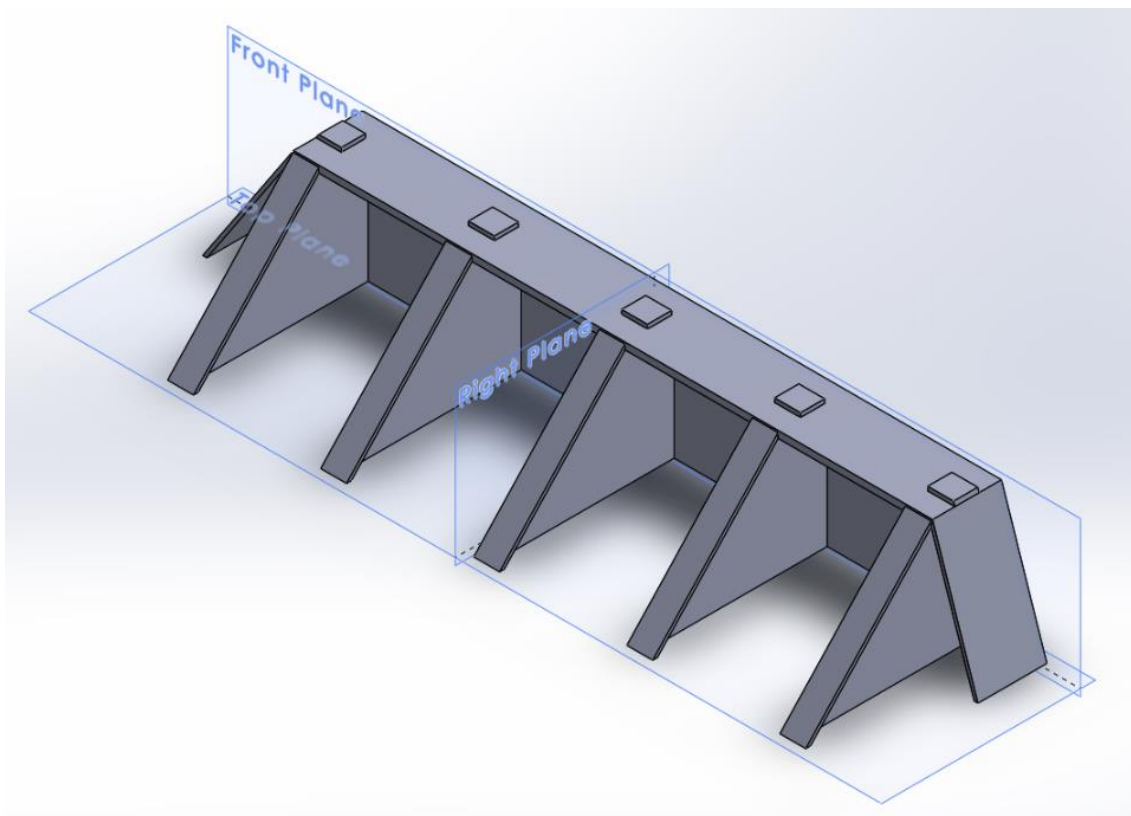


Figur 12 stb. side av dagens motor fundament

Denne tegningen er laget av plater som er satt sammen. Dette fungerer fint for å se på avstander og plassering. For å simulere krefter måtte det gjøres noen forenklinger, for mange deler satt samme skapte to problemer,

- Skjøtene mellom delene måtte være helt tette, så sveisefuger etc. førte til problemer.
- Skulle simuleringen fordeles på mange deler samtidig krevde dette mer prosessorkraft enn tilgjengelig under forsøket.

Derfor ble et nytt fundament tegnet som en del.

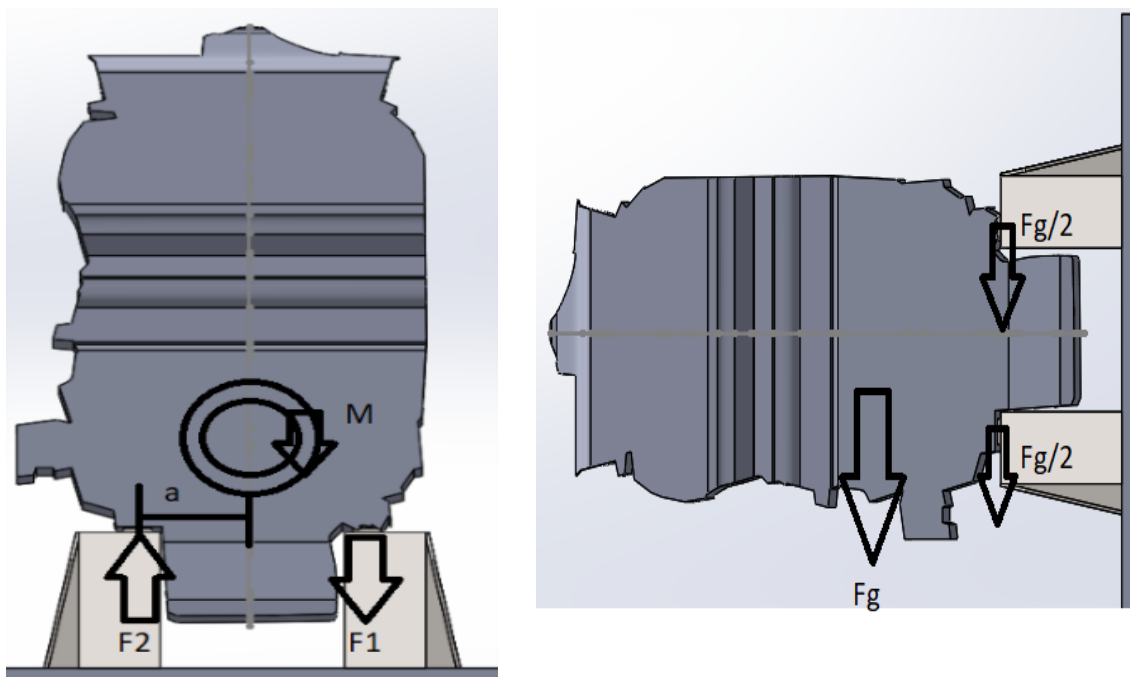


Figur 13 forenklet motorfundament

I tillegg til å tegne fundamentet som en del ble det tegnet inn klosser for å kunne simulere belastningspunkt på fundamentet.

Kreftene som ble simulert var:

- Vekten til motoren
- Momentet generert av motoren ved maks pådrag
- Kreftene i sideretning ved 90 graders slagside



Figur 14 belastninger på motorfundament

For å kunne beregne belastningene ble kreftene i F1 og F2 på grunn av dreiemoment funnet på følgende måte

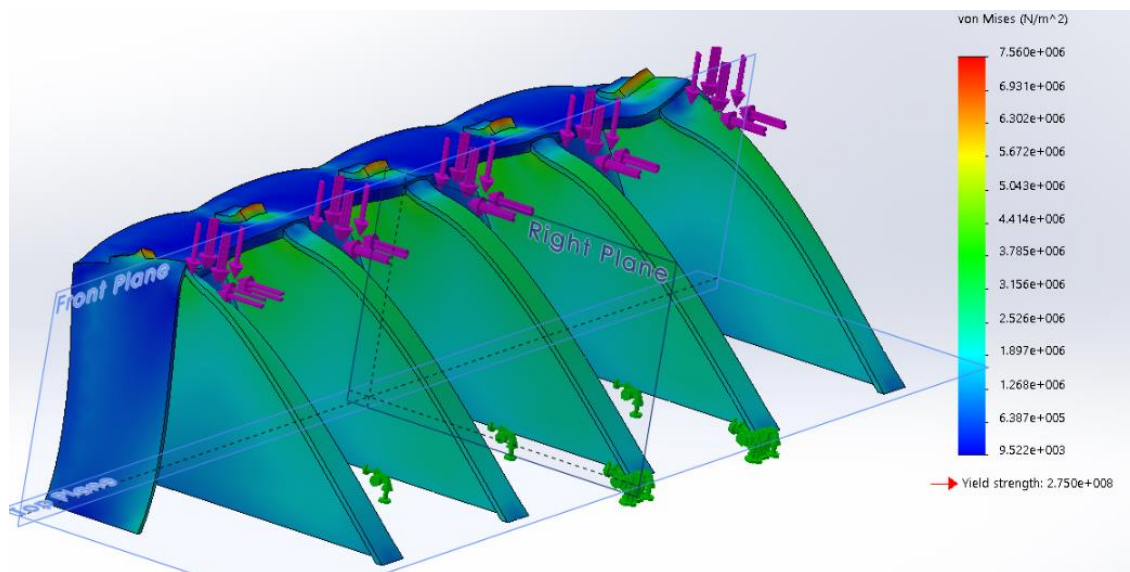
$$\Sigma M_0 = 0$$

$$\Sigma M_0 = F_1 * a - F_2 * a$$

$$F_1 = F_2 \text{ pga symmetri}$$

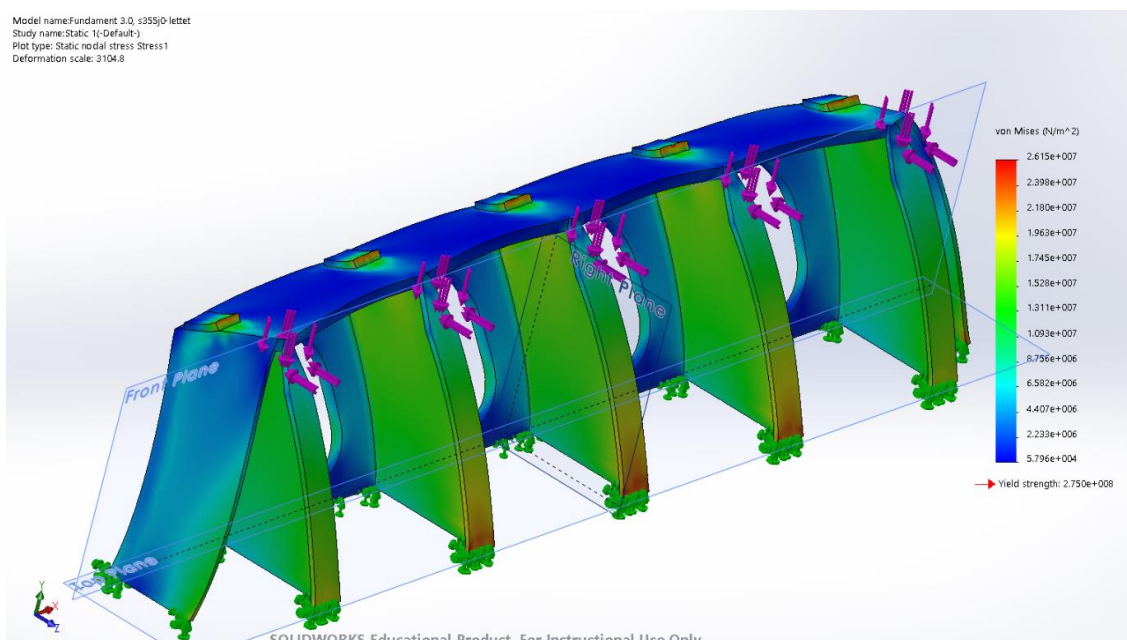
$$F_1 = \frac{\Sigma M}{2 * a}$$

Vekten til motoren ble lagt til, både i retning nedover og sideveis, for å simulere belastningssituasjonene fundamentet blir utsatt for. De to ulike sidene av fundamentet opplever ulikt stress. Den siden av fundamentet som opplevde mest stress er den siden som blir vist videre.



Figur 15 deformasjon og krefter

Figuren viser deformasjonen og hvor kreftene samles på figuren. Avstandene i deformasjonen er ganget med en faktor på 215030. Stresset på simuleringen blir beskrevet med fargekodene til høyre for figuren, der blått er minst stress og rødt er mest stress. Slik figuren er simulert nå er det høyeste stresset 7,56 MPa mens stålets flytegrenses er på 275MPa. Stålkvaliteten er ST52-3U, eller S355J0 (samme stål, forskjellig navn). Etter anbefalinger fra ingeniør Per Ståle Gjerde ved Vard Langsten ble det tatt såkalte lettehull i fundamentet, i den hensikt å fjerne vekt, men opprettholde styrke.



Figur 16 fundament med lettehull

De valgte ståltykkelsene, avstivningene og belastningstilfellene demonstrerer at modelleringen kan brukes for å sammenligne motorene i studien.

Det lettede fundamentet er i denne modellen 810 kg lettere enn et standard fundament, i et skip med 4 slike fundament vil det da være mulig å spare 3240 kg. Arealet på lettehullene var på omtrent 0,9 kvadratmeter med en platetykkelse på 40 mm, som gir en lettelse på 340 kg mens resterende besparelse på 470 kg er fra å redusere vinkelen på plater som går ned i dørken. Et fundament med lettehull vil gi lettere tilkomst for f.eks rør og ledninger.

3.5.2 Tegning av motorene

For å få et forhold til hvordan motorene vil se om bord måtte de først illustreres i 3D.

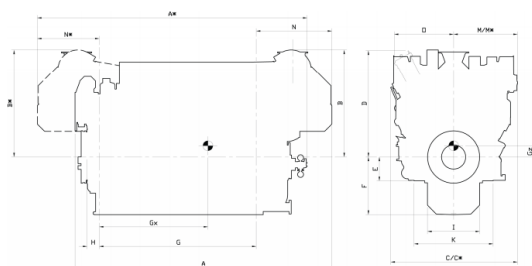


Fig 1-2 V-engines (DAAE034757b)

Engine	A*	A	B*	B	C*	C	D	E	F _{wet}	F _{dry}	G
W 12V26	5442	5314	2034	2034	2552	2602	2060	460	1110	800	3035
W 16V26	6223	6025	2151	2190	2489	2763	2060	460	1110	800	3875

Engine	H	I	K	M*	M	N*	N	O	Weight	
									dry sump	wet sump
W 12V26	235	1010	1530	1364	1238	1433	1698	1148	28.7	29.0
W 16V26	235	1010	1530	1248	1248	1363	1626	1160	36.1	37.9

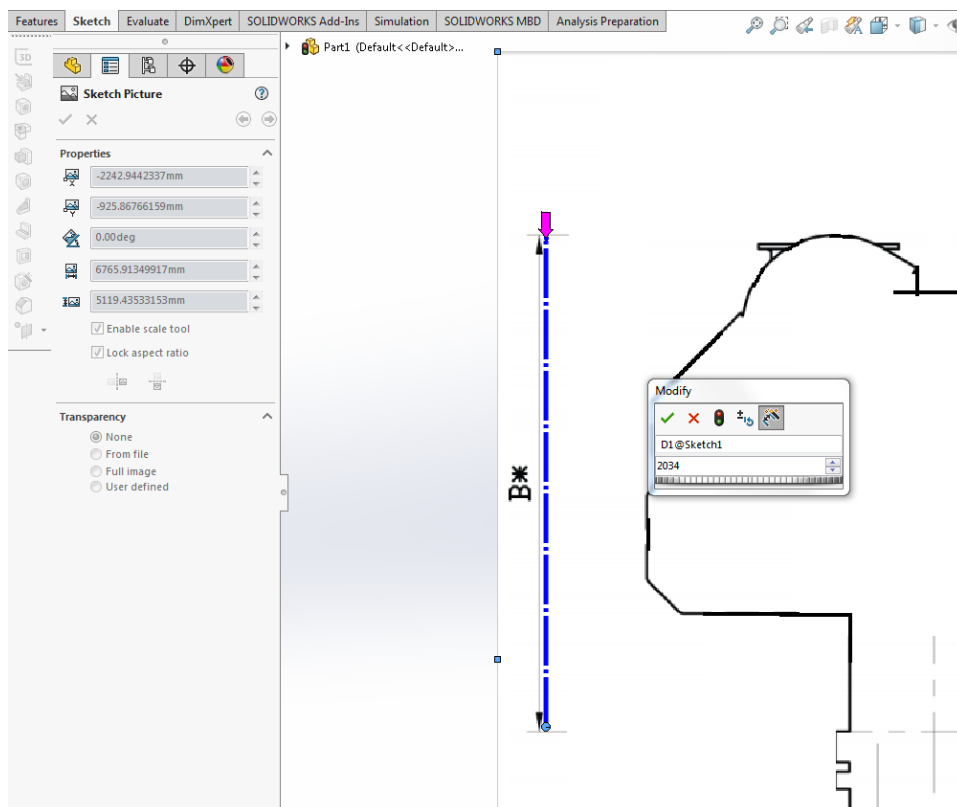
Engine	Wet sump				Dry sump			
	Gx*	Gz*	Gx	Gz	Gx*	Gz*	Gx	Gz
W 12V26	1224	413	1811	413	1224	470	1811	470
W 16V26	1852	548	2258	548	1852	568	2258	568

* Turbocharger at flywheel end.

All dimensions in mm. Weight in metric tons with liquids (wet sump) but without flywheel.

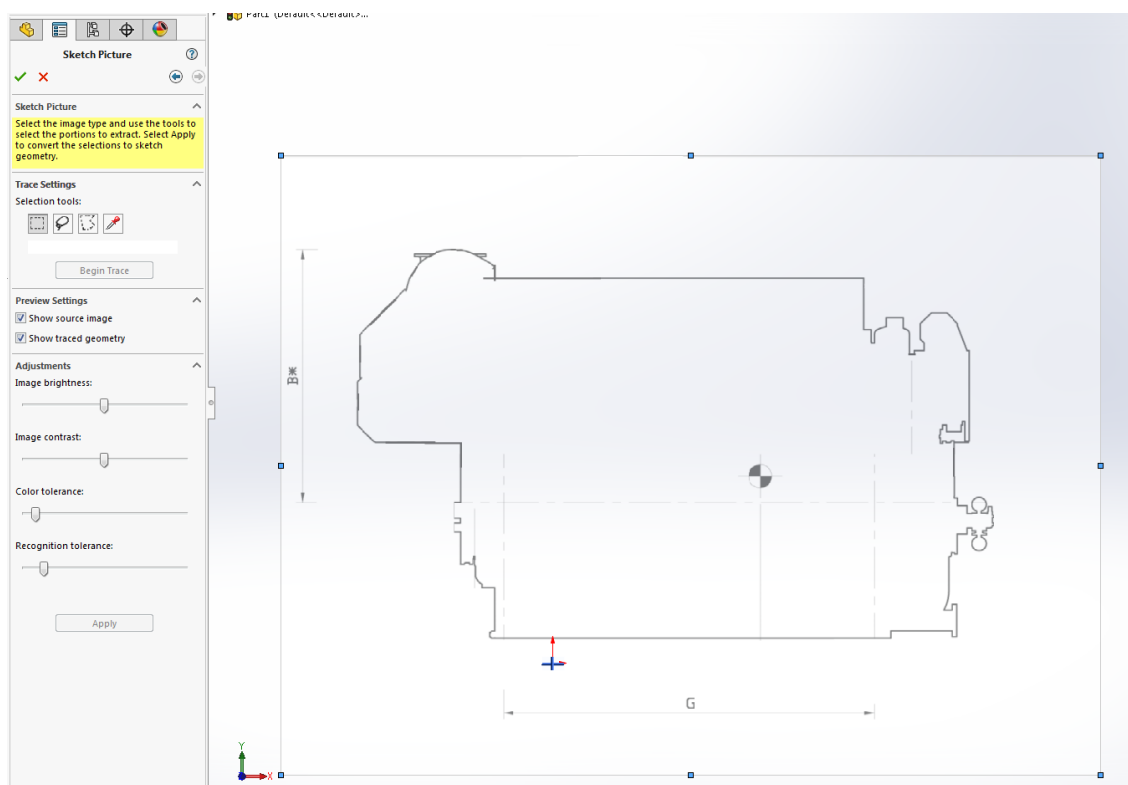
Figur 17 Wärtsilä prosjektveiledning

Først ble en skisse fra produsenten hentet, med påfølgende mål for høyde, bredde og lengde. For å få mindre forstyrrelser i Solidworks ble tegningen først endret i Paint, for å fjerne overflødige piler og streker. Tegningen ble så ført inn som bakgrunn i Solidworks.



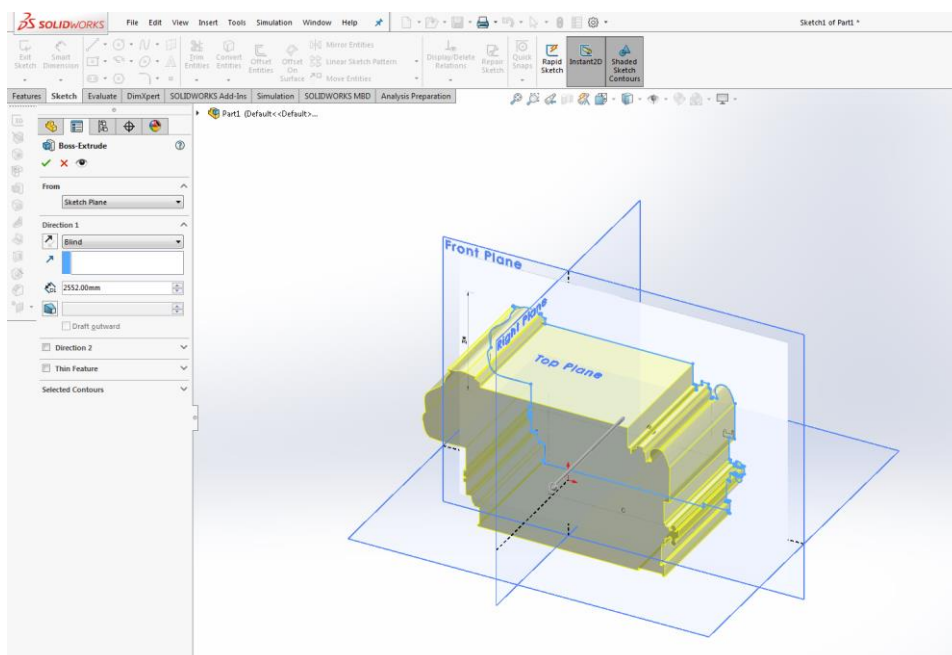
Figur 18 måling av korrekte avstander

For å verifisere rett lengde-bredde-forhold ble noen av målene beholdt, og programmets eget måleverktøy ble brukt til å få korrekte dimensjoner.



Figur 19 autotrace for dimensjonsangivelse

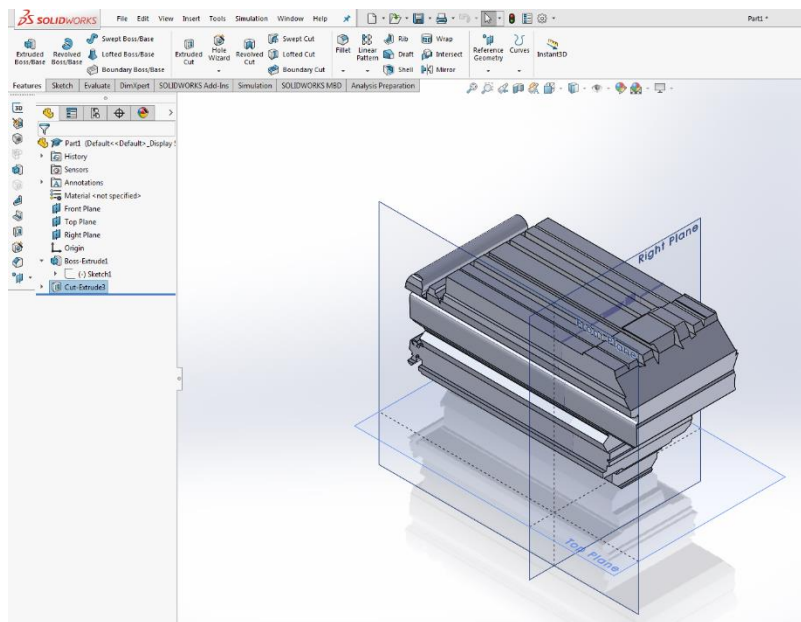
Når lengdene stemte, ble programmets autotrace funksjon brukt. Denne følger linjene på bildet og gir en skisse av figuren. Blant annet skarphet og lysstyrke kan justeres for å få en best mulig følgning av linjene.



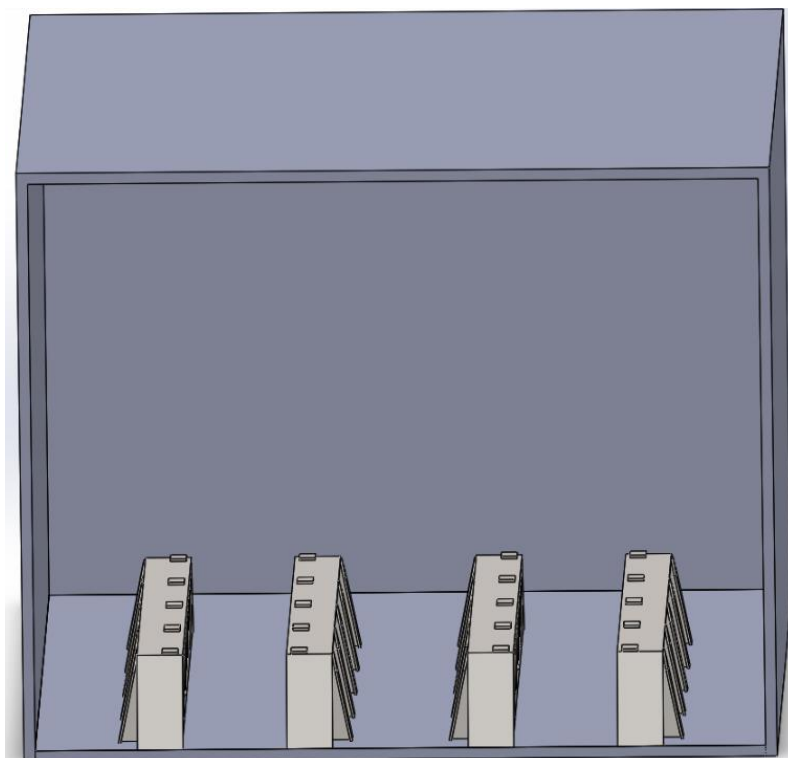
Figur 20 Extrude av figuren

Når skissen er laget, kan denne «extruderes» for å gi en tredimensjonal figur. Ved å gjøre denne operasjonen, samt en lignende funksjon bare med «Cut»-funksjonen istedenfor extrudere, vil det genereres en enkel tredimensjonal figur av motoren.

Noen produsenter hadde bilder fra tre plan, men de fleste hadde bare for to.

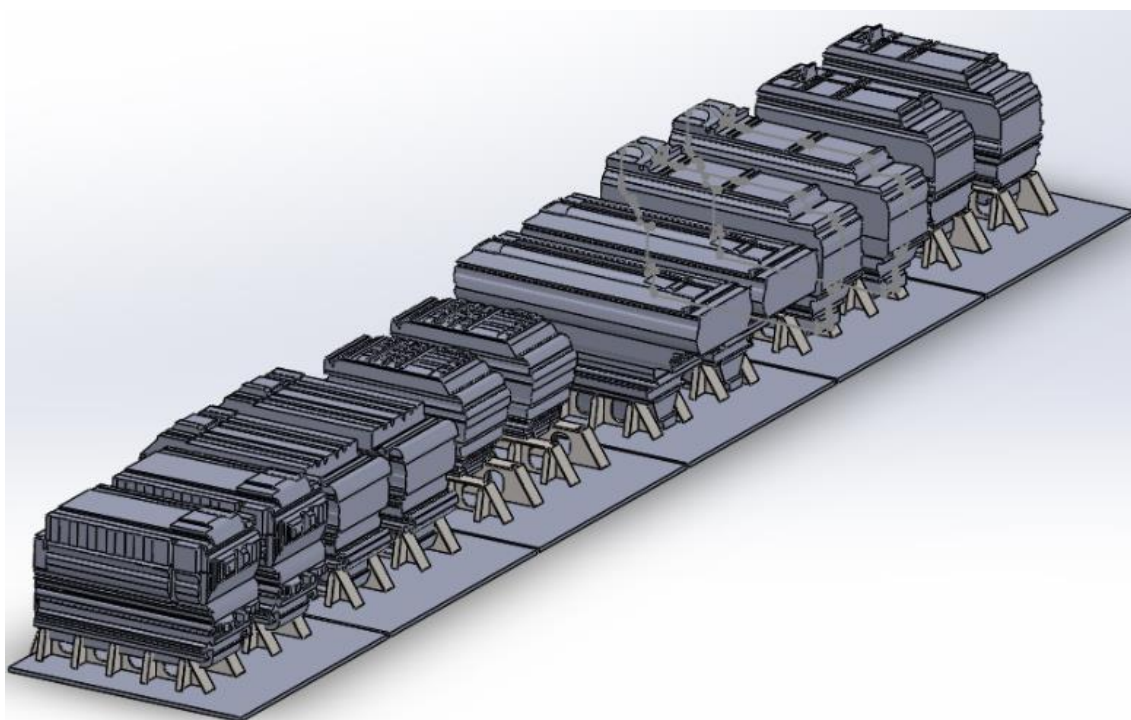


Figur 21 Wårtsilå 26, forenklet modell



Figur 22 plass til utnyttelse

Boksen representerer området som er ledig i maskinrommet, der begrensingene er faste installasjoner slik som f.eks tanktopp, propellakslinger og delvis galleriet. Galleriet anses som mulig å endre, men er likevel brukt her som overordnede rammer for å begrense ledig størrelse i maskinrommet. Om motorene passer i boksen skal de størrelsesmessig få plass i maskinen. Ved en eventuell levetidsforlengelse vil det være flere ting om ønskes montert i motorrommet, så denne forenklete tegningen vil måtte revideres for å få plass til f.eks brannpumper, evaporatorer, dampkjel etc.



**Figur 23 fra venstre, Rolls Royce C25:33V12P, Wärtsilä W26, MTU 1163 M04, MAN V28/33D, Caterpillar 280-16, Caterpillar 280-12. Skjermutklippet er fra pumpe-
pesiden av motorene, alle motorene er montert på samme fundament**

Samtlige motorer fikk plass, med ulik grad av avstand til vedlikehold rundt og klaringer til bevegelser mellom motorene.

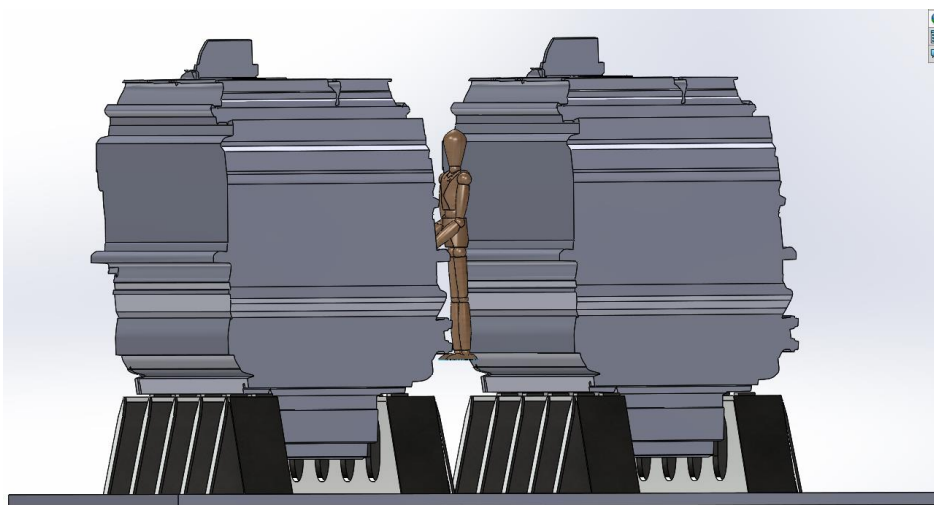


Figur 24 MAN og MTU motor

Figuren over viser forskjellen på plass mellom motorene på en MAN og MTU-motor. Menneskemodellen mellom motorene er for sammenligning og er omtrent 187 cm høy og har normale proporsjoner.

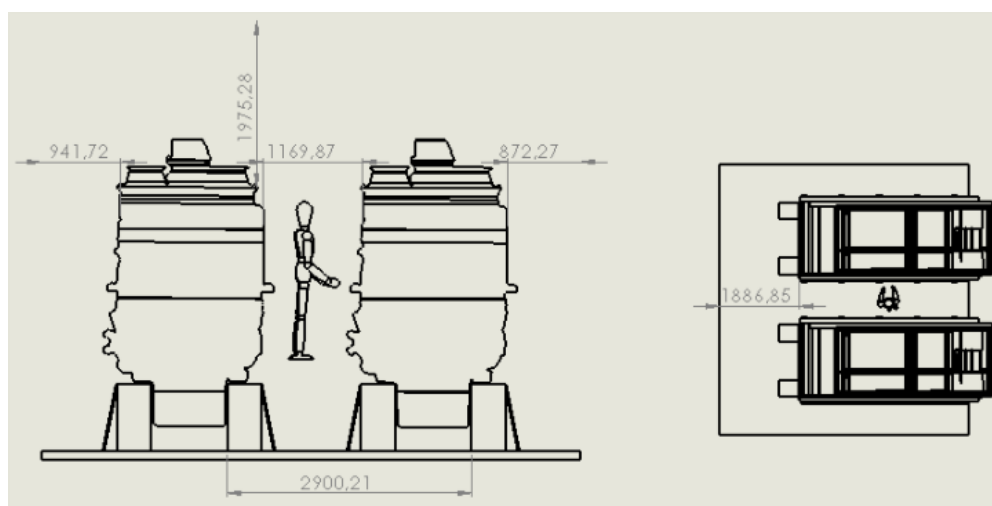
Sett ovenfra bli størrelsesforskjellen enda tydeligere. Foran MTU-motorene er det plass til flere komponenter, mens på MAN-motoren vil det så vidt være plass til motoren, og liten plass til fremkomst mellom motor og galleri.

3.5.2.1 C280 plass



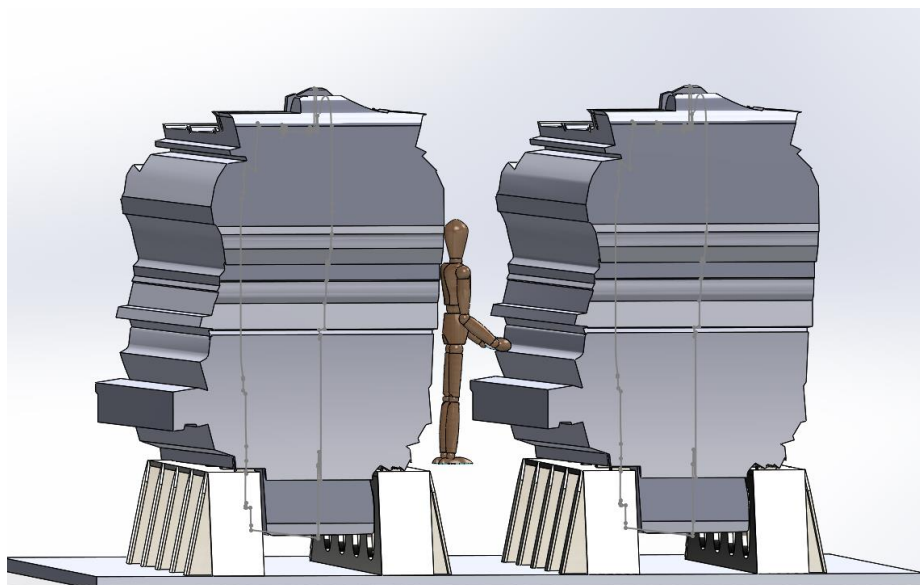
Figur 25 Caterpillar C280-12 sett bakfra

Dette er motoren som ligner mest på dagens motorer. Den passer mtp. fundamentene som står der i dag, og vil sannsynligvis være den motoren som vil være enklest å montere.

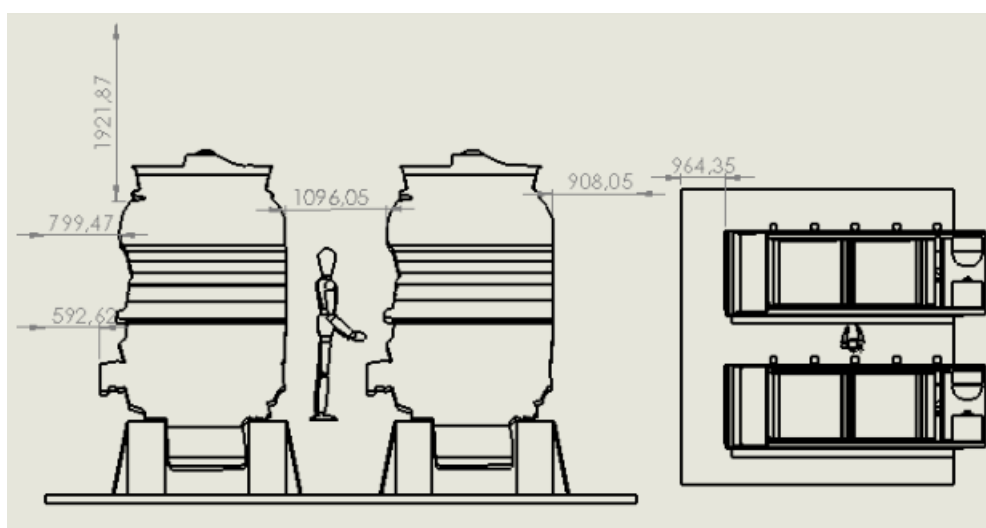


Figur 26, avstander rundt Caterpillar C280-motoren

Ut ifra mine tegninger og Caterpillar sine angitte distanser for vedlikehold skal det være plass til å drive vedlikehold rundt motorene.



Figur 27 Caterpillar C280-16 motoren sett forfra



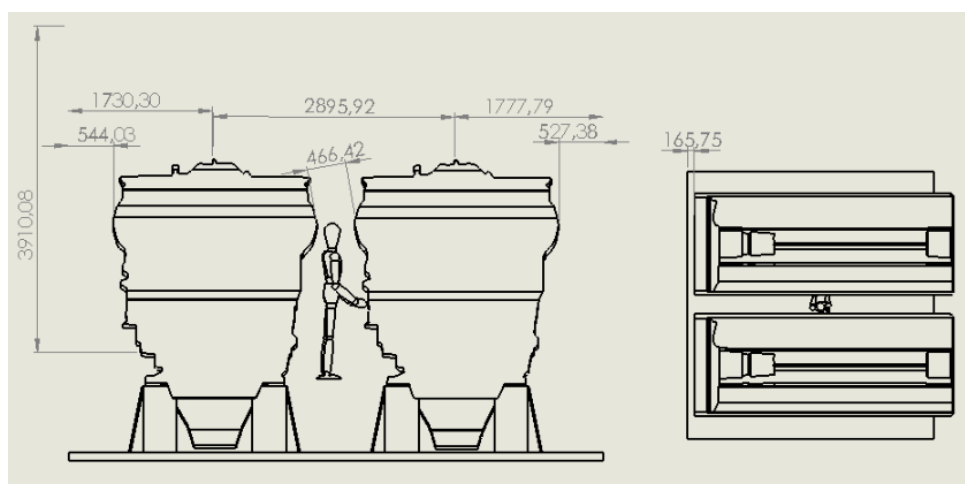
Figur 28, avstander rundt Caterpillar C280 motoren

C280-16 har omtrent samme høyde og bredde som 12-sylinder varianter, forskjellen er at den er omtrent en meter lengre. Det vil fremdeles være plass til å demontere pumper etc, men løpekatten for å trekke stempel og sylindredeksel må ombygges for å nå de 4 nye stemplene. Avstandene oppgitt for å drive vedlikehold på 12 og 16 sylindre er oppgitt til å være lik.

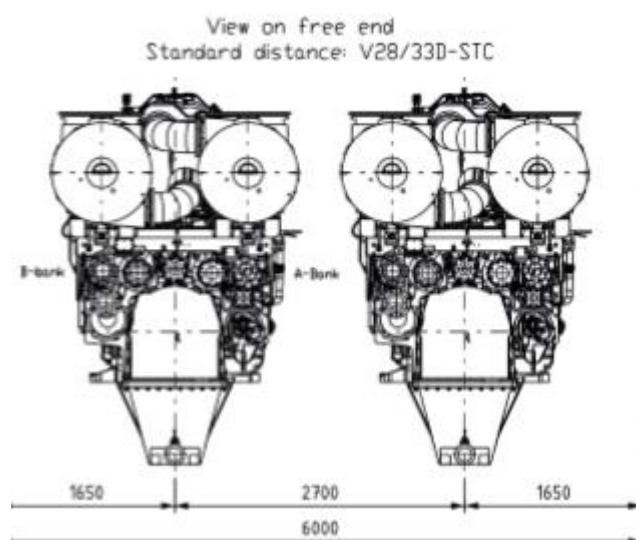
3.5.2.2 Man V28/33D



Figur 29 MAN V28/33D, sett bakfra

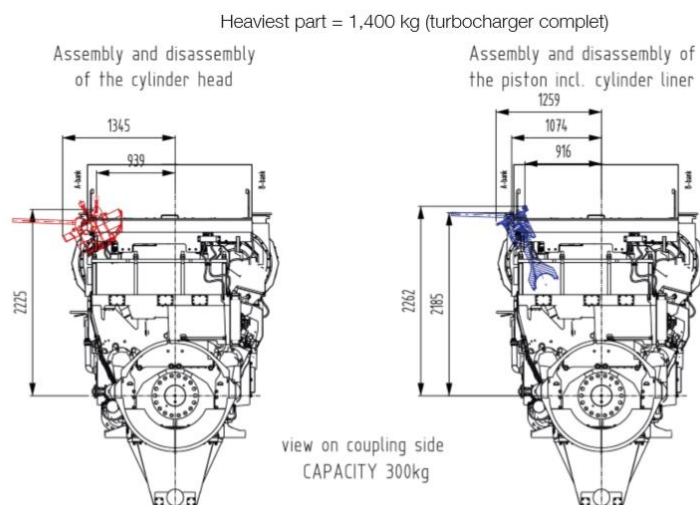


Figur 30 avstand rundt MAN 28/33D motorene



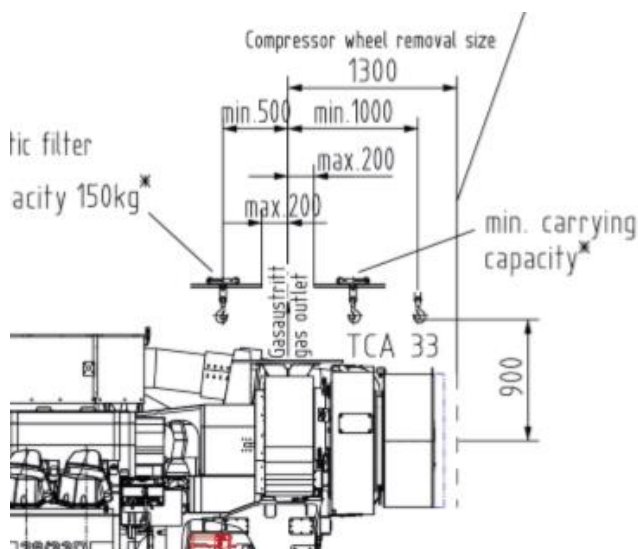
Figur 31 anbefalt avstand mellom motorene

Motorene er montert med en bredde som tilfredsstillter produsenten sine krav,



Figur 32 avstander for trekking av stempel og sylindreforinger

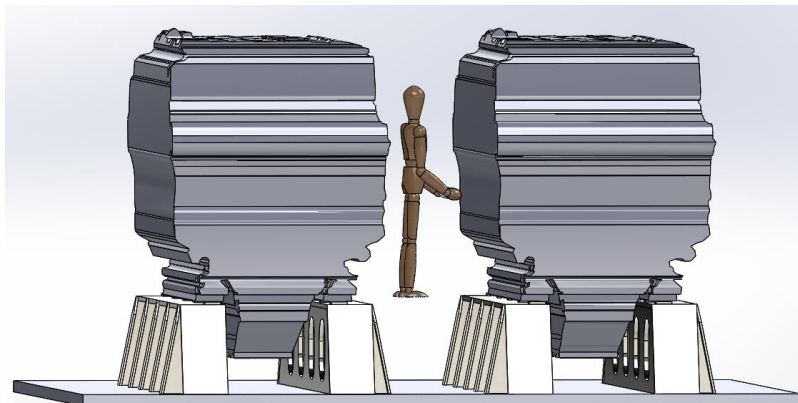
Det vil være plass til å trekke stempel, samt fjerning av sylindredeksel, selv om klaringen er liten.



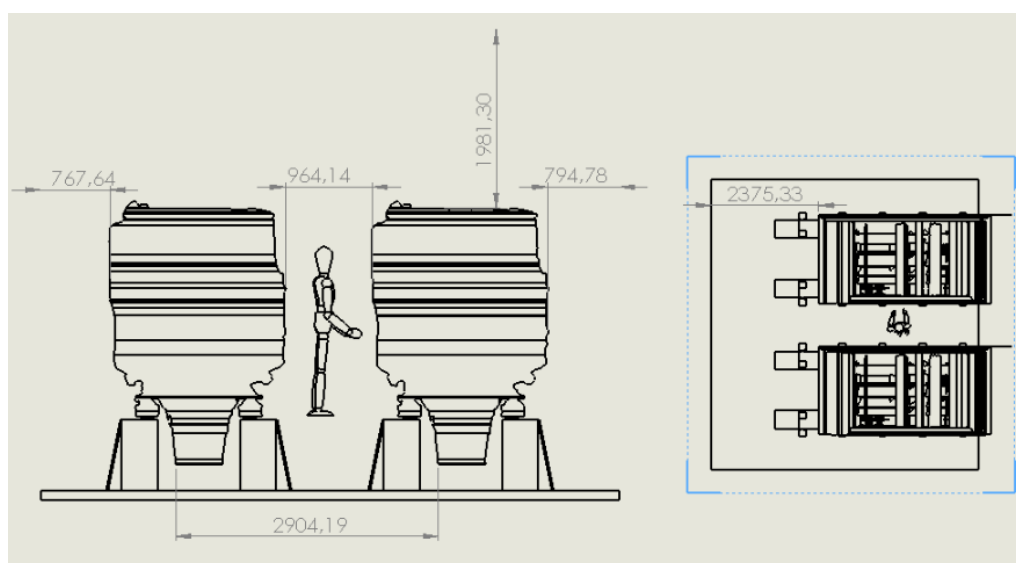
Figur 33, nødvendig avstand for demontering av pumper og turbo

Derimot så vil demontering av pumper og turboen bli problematisk Dette er tall for motorer med turboen monter over pumpesiden av motoren og ikke svinghjulssiden, tegninger for motorer med turbo over svinghjul var ikke å oppdrive. Det vil uansett bli svært trangt å bevege seg rundt motorene, spesielt på pumpesiden, og dagens galleri må sannsynligvis ombygges mtp. tilkomst.

3.5.2.3 MTU 1163 M04



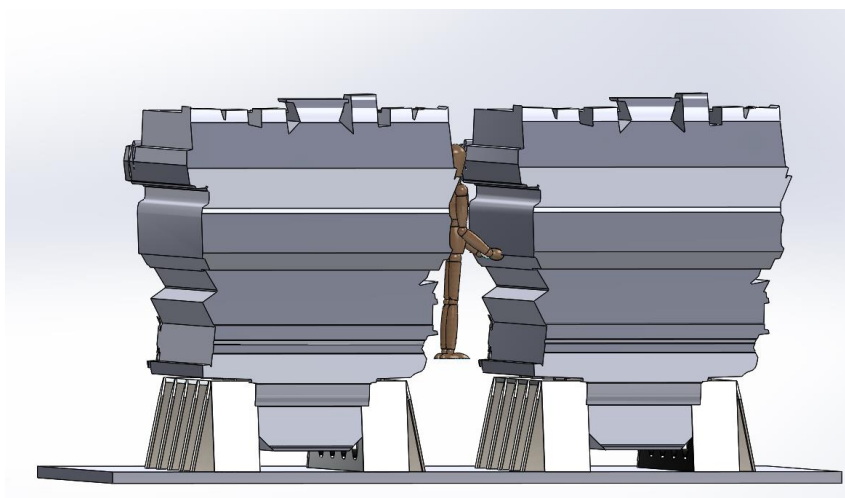
Figur 34 MTU 1163 M04



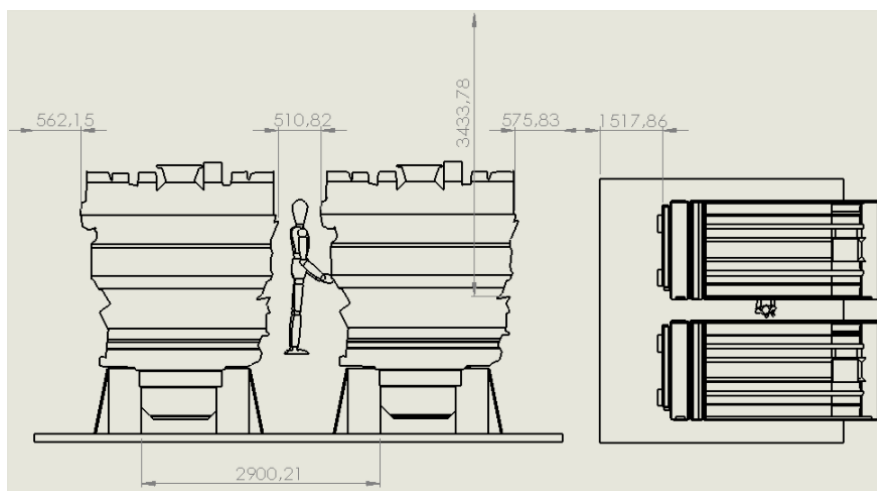
Figur 35, avstand rundt MTU 1163 M04 motorene

Prosjektveiledning til MTU inneholdt ikke informasjon om montering og avstander for å drive tilstrekkelig vedlikehold, men de er de minste motorene i studien. Det kan derfor antas at det vil være god nok plass til å drive vedlikehold rundt motoren. Siden motorene opptar en så liten del av volumet i maskinrommet gir dette muligheten til å innkapsle motorene, slik at eventuelle eksoslekkasjer og lignende ikke vil sive ut i resten av maskinrommet. Dette var noe Kl. Kvamme Maskinmester på Helge Ingstad sa var svært ønskelig.

3.5.2.4 Wärtsilä 26



Figur 36 Wärtsilä W26 i 3D



Figur 37 avstand rundt Wärtsilä W26 motoren

Wärtsilä oppgir anbefalt avstand mellom akslinger på sine V-motorer til minimum 3150, Det blir for lite, siden avstanden om bord er 2900 mm.

18.1.2 V-engines

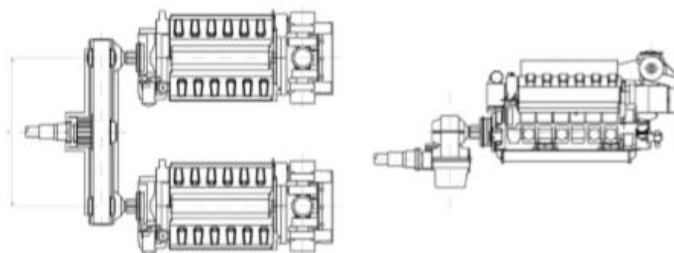


Fig 18-2 Crankshaft centre distances, V-engines (DAAE034187b)

Engine type	A [mm]
W 12V28	3150
W 18V28	3150

Figur 38 Akselavstand mellom W26 v-motorer

Derimot så er avstand mellom en V-motor og en rekkemotor oppgitt til å være 2700mm, som er en mer passende avstand. For å få en total effekt på 9000 kw kunne det vært montert en 9 sylindret rekkemotor og en v-16 motor.

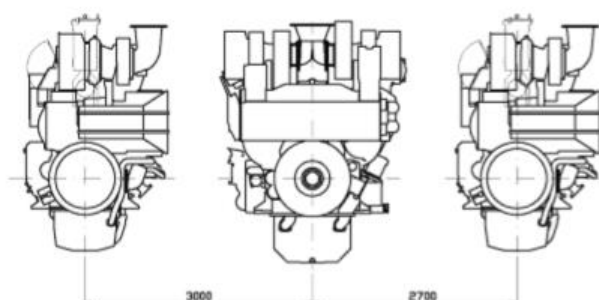
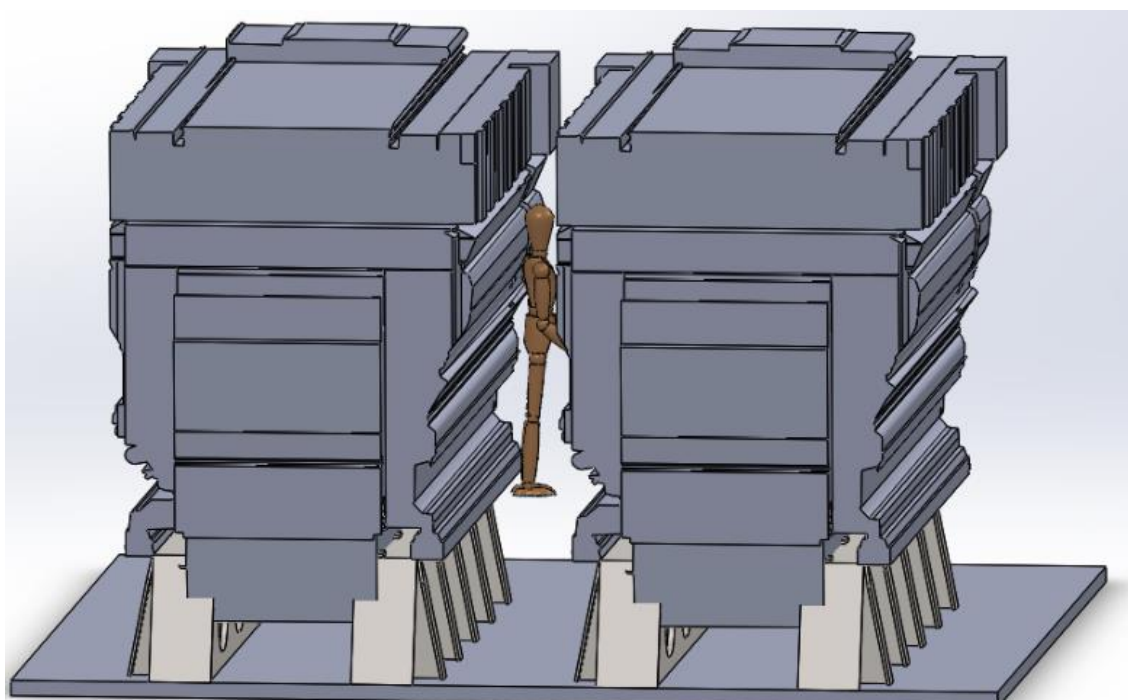


Fig 18-3 Main engine arrangement with two in-line engine and one V-engine (DAAE033711)

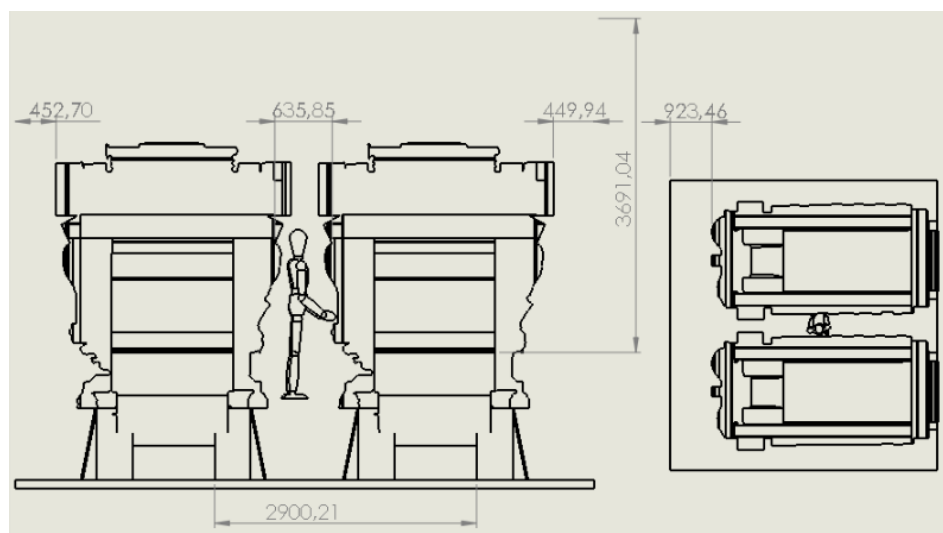
Figur 39 Akselavstand V- og Rekkemotor

Det er også høyde nok til å trekke powerpacks (stempel med foring og stempelstang montert) inn og ut av motoren.

3.5.2.5 Rolls Royce C25:33V12P



Figur 40 Rolls Royce C25:33V12P



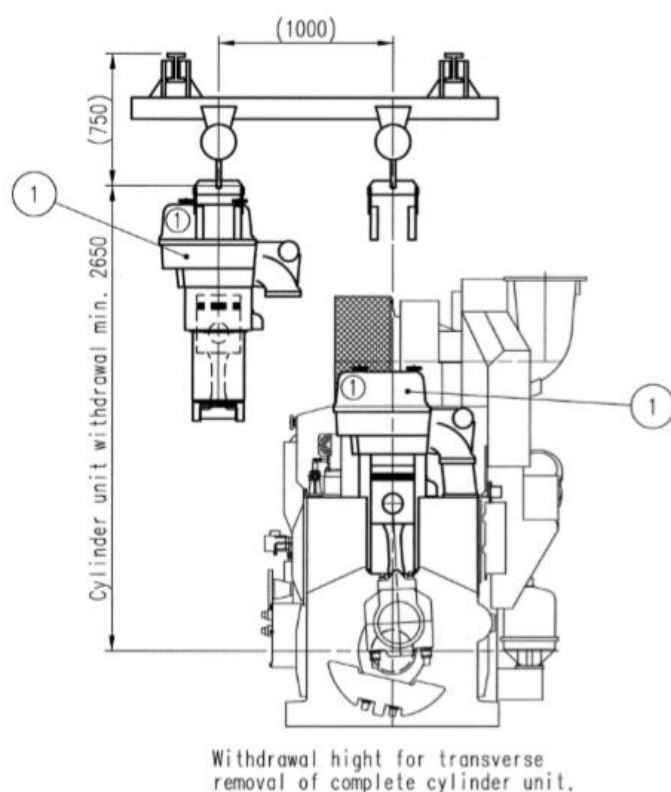
Figur 41 avstand rundt Bergen Diesel C25:33V12P motorene

Motorene skissert på figuren er B33:40V12P motorer fra samme produsent, skalert etter forholdene mellom C25:33L9P og B33:40L9P motor. Dette ble gjort etter konsultasjon med Bjørn Ottar Bruvik hos RR, som skrev følgende i epost: «Å skalere en C25:33L6

mot en C33:33V12 kan nok sammenlignes med B32:40L6 vs B32:40V12 både i størrelse og vekt».

Tabell 6, estimering av størrelse på C25:33V12P

	Lengde	Bredde	Høyde	Tørr Vekt	Operativ vekt	Avstand mellom motorer
C25:33L9P	5355	1869	3230	26300	26600	2200
B33:40L9P	7175	2795	3778	50600	63430	2800
Forholdstall	0,74	0,66	0,85	0,51	0,41	0,78
B33:40V12 P	6050	4421	4421	56000	78904	3100
C25:33V12 P	4515,4	2956,3	3779,7	29106,7	33089,2	2435,7



Figur 42 nødvendig avstander for trekking av powerpacks på rekkemotoren

Selv om det er tilstrekkelig høyde for å trekke powerpacks så er det ikke tilstrekkelig bredde til å svinge den ut. Samtidig som det vil være svært liten avstand rundt motoren generelt.

3.5.3 Drøfting om plassutnyttelse

Alle motorene passet i maskinrommet, bortsett fra konfigurasjonen med 2 stk. V-motorer fra Wärtsilä, som krevde en større senter avstand enn dagens maskinrom tillater.

Caterpillar C280-12 er motoren som ligner mest på den eksisterende motoren. Den 16 sylindrede varianten er på de fleste områder lik, bortsett fra at den er omtrent en meter lengre, så vedlikeholdet burde være ganske likt.

MAN V28/33 er den største motoren i denne sammenligningen, spesielt i lengden tar den opp stor plass, og vil derfor kreve endringer på dagens galleri for at personell skal kunne passere på pumpesiden av motoren, men det er nok plass til å drive vedlikehold som bytting av stempel filter, samt bytting av pumper.

MTU motoren er den minste motoren i høyde og lengde i denne sammenligningen. MTU har ikke sendt noen informasjon om nødvendige avstander for montering og vedlikehold, men siden motoren er kort og lav vil det sannsynligvis være god tilkomst for filterbytter, stempeltrekking og lignende.

Wärtsilä W26

Avstanden mellom to v-motorer er for liten til å kunne monteres om bord, men det vil være plass til en løsning der det blir brukt en rekkemotor og en v-motor. Dette vil føre til en skjev slitasje på giret, samt gi en skjev vektfordeling, men er praktisk mulig. Wärtsilä benytter seg av powerpacks (sylindreforinger med ferdigmontert stempel), og de vil være mulig å bytte ved dagens romvolum.

Rolls Royce C25:33V12P

Ved å se på forhåndtallet mellom produsentens eksisterende motorer ble det funnet et estimat på dimensjoner for en C25:33V12P motor. Dette ble brukt sammen med C25:33L sin data for avstander for vedlikehold. Dette gir ikke nøyaktig data, men gir et estimat nøyaktig nok til å drøfting.

Ut ifra informasjonen i dette delkapitlet om plassutnyttelse blir motorene evaluert til følgende rangering:

Tabell 7, rangering av plassutnyttelse

Merke	kriterie	Plassutnyttelse
Vekting [%]		26
Cat	C280-12	1
cat	C280-16	3
MAN	V28-33D STC	6
MTU	1163 M04	2
RR	C25:33L12P	5
Wärtsilä	w26-12	7
Wärtsilä	w26-16	7

3.6 Vekt

Ombord marinefartøyer vil alltid vekt være et tema, besparing av vekt gir økt kapasitet til mer drivstoff og våpen.

En stor endring av vekt vil føre til endringer i skjærspenningene i skroget, så om en for tung motor blir montert et sted der det allerede er en oppsamling av skjærkrefter vil dette kunne påvirke fartøyets evne til å overleve eksplosjoner, påkjøringer etc. For å holde oppgaven ugradert blir ikke skjærspenningskondisjonene undersøkt videre.

Stabiliteten til fartøyet vil også bli påvirket av vekten til motoren, en lettere motor vil sannsynligvis heve fartøyets tyngdepunkts senter og dermed gi fartøyet en lavere GM. En tyngre motor vil senke fartøyets tyngdepunkts senter, og dermed øke fartøyets GM. Ved endringer i vekt vil det bli nødvendig å laste fartøyet annerledes på grunn av trim og stabilitet, dette kan igjen påvirke skjærspenningene gjennom fartøyet.

Tabell 8, vektøkning som følger av nymotor

Merke	Type	Tørrvekt [kg]	Operativ vekt[kg]	Vektøkning [tonn]	Displacement [Tonn]
Cat	3612	25980	27688	0,0	5100
Cat	C280-12	25980	27688	0,0	5100
cat	C280-16	28500	33153	10,9	5111
MAN	V28-33D STC	36300	38100	20,8	5121
MTU	1163 M04	16490	18198	-19,0	5081
RR	C25:33L12P	29107	33089,2	10,8	5111
Wärtsilä	w26-12	28700	29000	2,6	5103
Wärtsilä	w26-16	36100	37900	20,4	5120

Publikasjoner sier at Nansen klasse fregatt har en rekkevidde på 4500 nm ved en hastighet på 16 knop (Commodore Stephen Saunder RN, 2012). Figur 8 sier at ved 16 knop vil behovet for akseffekt være på omtrent 5200 kW. Fordelt på 2 motorer så vil dette være 2600 kW, prosjektveiledningen til Caterpillar 3612 motoren, som ligner dagens motor, sier at ved denne ytelsen og et turtall på ca 800 rpm vil motoren bruke 210 g/kWh. Gjennom å bruke denne dataen kan det anslås at ved denne hastigheten vil fartøyet bruke ca 307 tonn med drivstoff.

Formel 5, formel for et estimat av hvor mye drivstoff et fartøy bruker for å seile en gitt distanse.

$$m = b_e * p_e * \frac{d}{v} \text{ [tonn]}$$

Her er m massen med drivstoff, Pe akseffekten, be effektivt spesifikt brennstofforbruk, d avstanden fartøyet seiler og v hastigheten.

Denne dataen kan vi videre benytte for å estimere hvor langt fartøyet ville kunne gå med de ulike motorene, basert på deres forbruk ved 2600kw/motor.

Tabell 9, sammenheng mellom ulike vekter.

	Forbruk	Ny rekkevidde	Økt rekkevidde	Lettelse	Reel Lettelse	Motorvekt
	[g/kWh]	[nm]	[%]	[ton]	[ton]	[kg]
3612,dagens motor	210	4500	0	0	0	27688
C280-12, zone limit	202	4676,3	3,8	11,58	11,575	27688

C280-16	210	4498,2	0,0	-0,13	-11,055	33153
MAN V28/33D	194	4869,2	7,6	23,28	2,451	38100
MTU 1163 M04	206	4585,5	1,9	5,73	24,705	18198
RR C 25:33 V12P	186	5078,6	11,4	34,98	24,1726	33089,2
W26-12	190	4971,7	9,5	29,13	26,501	29000
W26-16	193	4894,4	8,1	24,74	4,3135	37900

Ved oppgradere til en mer moderne motor vil rekkevidden til fartøyene øke med 0-11 prosent. Om dagens rekkevidde på 4500nm videreføres vil noen motorer føre til økt vekt, andre vil føre til at fartøyet blir lettere.

Der den reelle lettelsen blir beskrevet slik:

Formel 6

$$m_{lettelse} = m_{spart} - (m_{ny\ motor} - m_{3612}) * 2$$

Den økte vekten til motorene vil føre til økt behov for effekt, og dermed et større forbruk. Sammenhengen mellom økt deplasement og effekt kan beskrives med admiralitetskoeffisienten:

Formel 7, admiralitetskoeffisienten. (MAN Diesel & Turbo, 2016)

$$C = \frac{D^2 * V^3}{P_e}$$

Der D er deplasementet i tonn, V er farten i knop, og P er akseeffekten i kW

Tabell 10, sammenheng mellom vekt og økt pådrag

Merke	Type	Tørr-vekt [kg]	Operativ vekt[kg]	Vektøkning [tonn]	Deplasement [Tonn]	Fart [kn]	Shaft power [kW]	Coef-ficient	Økt pådrag
Cat	3612	25980	27688	0,0	5100	16	5200	233,38	Promille
Cat	C280-12	25980	27688	0,0	5100	16	5200		0,0
cat	C280-16	28500	33153	10,9	5111	16	5207		1,4
MAN	V28-33D STC	36300	38100	20,8	5121	16	5214		2,7
MTU	1163 M04	16490	18198	-19,0	5081	16	5187		-2,5

RR	C25:33L12P	29107	33089,2	10,8	5111	16	5207	1,4
Wärtsilä	w26-12	28700	29000	2,6	5103	16	5202	0,3
Wärtsilä	w26-16	36100	37900	20,4	5120	16	5214	2,7

Ved å bruke admiralitetsformelen kan det estimeres at som følger av nytt deplaselement må akseleffekten endres med 3 til minus 3 promille. Denne formelen er en teoretisk tilnærming på hvordan effektbehovet endrer seg med endret deplaselement, og variasjoner i praksis kan forekomme.

Ut ifra informasjonen i dette delkapitlet om vekt blir motorene evaluert til følgende rangering:

Tabell 11, rangering av motorene i forhold til vekt

Merke	kriterie	Vekt
Vekting [%]		24
Cat	C280-12	2
cat	C280-16	4
MAN	V28-33D STC	6
MTU	1163 M04	1
RR	C25:33L12P	4
Wärtsilä	w26-12	3
Wärtsilä	w26-16	6

3.7 Driftssikkerhet og vedlikehold

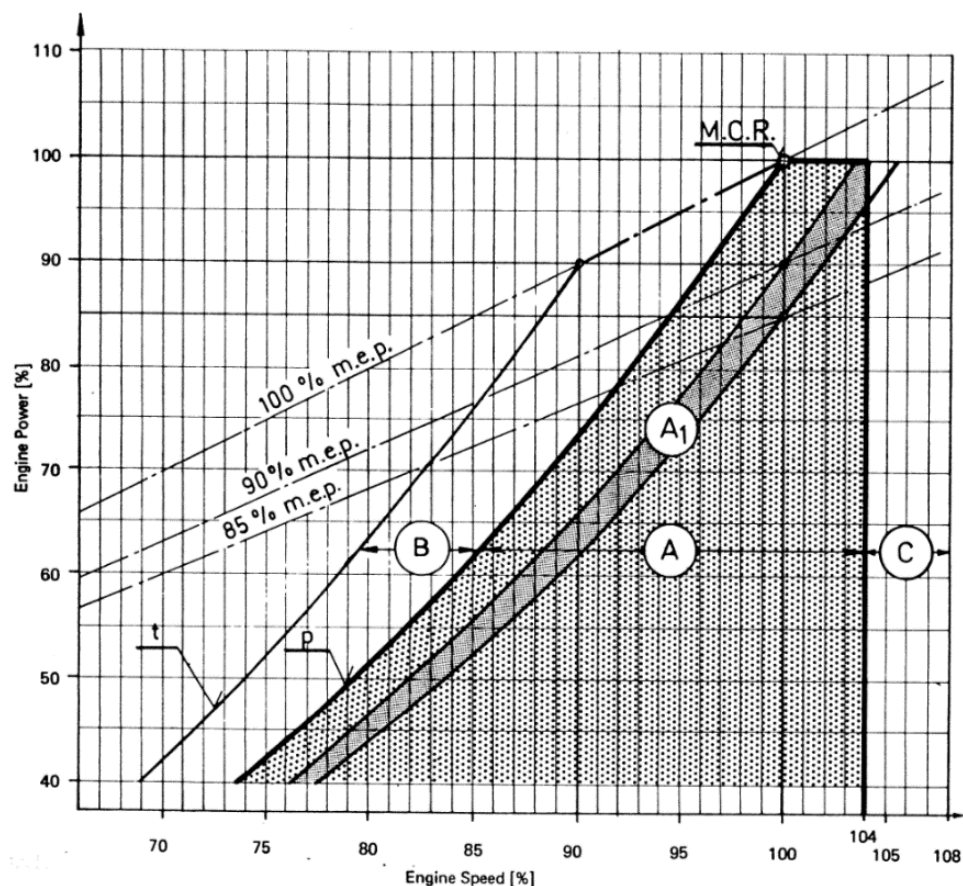
For å få et bedre innblikk i driftssikkerheten til de ulike motorene studeres vedlikeholdsrutinene til de ulike motorene. Selv om det kan være ulikheter mellom de ulike produsentene vil vedlikeholdet være essensielt for å sikre driftssikkerhet.

De ulike produsentene har i varierende grad oppgitt informasjon som TBO (time between overhaul), og nødvendig tid for utføring av div. vedlikeholdsrutiner.

Tabell 12, sammenligning av TBO

		Stem- pel- ringer	Sylin- der- foring	Stem- pel	Turbo	Ventiler	Inn- sprøyt- nings- ventil	Diesel- pumpe	Dieselfil- ter	Smøreol- jefilter
Merke	Type	[ti- mer]	[ti- mer]	[ti- mer]	[ti- mer]	[timer]	[timer]	[timer]	[ti- mer/mnd]	[ti- mer/mnd]
Cat	3612	20- 24000	16- 24000	20- 24000	36- 44000	10- 12000	10- 12000	10- 12000	500/3	1000/6
Cat	C280-12	20- 24000	16- 24000	20- 24000	36- 44001	10- 12000	10- 12000	10- 12000	500/3	1000/6
cat	C280-16	20- 24000	16- 24000	20- 24000	36- 44002	10- 12000	10- 12000	10- 12000	500/3	1000/6
MAN	V28-33D STC									
MTU	1163 M04									
RR	C25:33L12P	20000	60000	60000	ABB	20000(O)	5000	20000	/6	/6
Wärtsilä	w26-12	24000	24000	-	8000	24000	4000	24000		
Wärtsilä	w26-16	24000	24000	-	8000	24000	4000	24000		

Disse tallene er bare rettleidende, vedlikeholdet om bord vil variere mtp. hvilke operasjoner fregattene skal utføre.



Figur 43 MCR kurve generell (Ansgar Lund, Gisle Strand, 2013)

Bildet over viser en tenkt propellkurve for et fartøy med fast propell med følgende områder merket:

A: Anbefalt områder for kontinuerlig drift

A₁: Anbefalt område for prøveturer

B: Område for tidsbegrenset drift (overlast)

C: Øvre turtallsområde, kun for testing

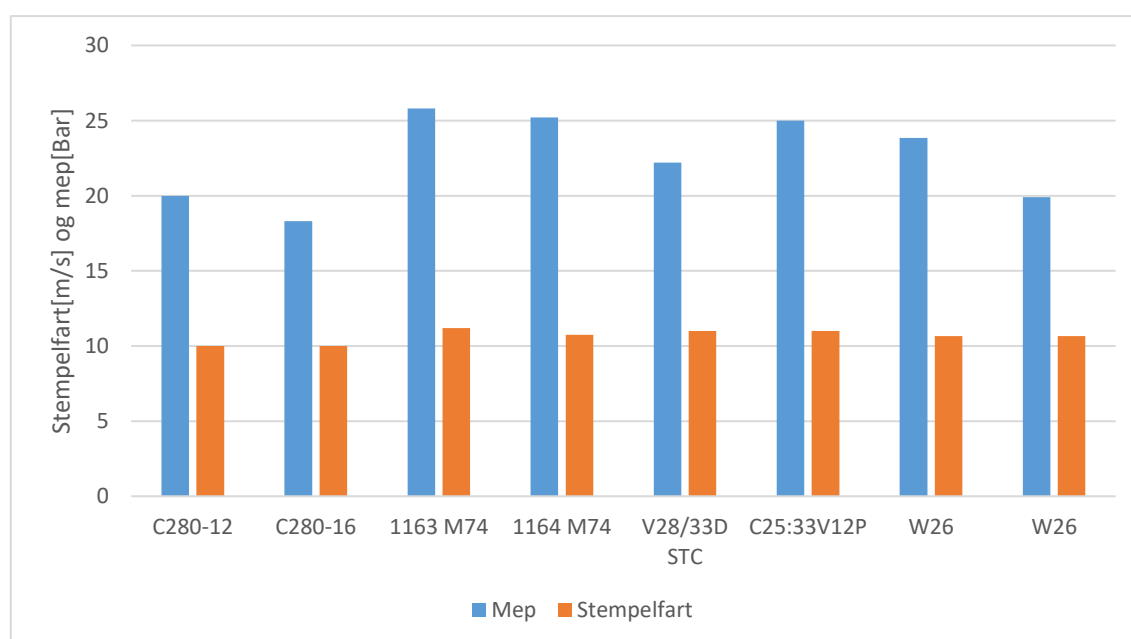
Tallene oppgitt for TBO i prosjektveiledningene kan antas å være for når motoren blir kjørt i A området. Om motorene ofte blir kjørt med overlast slik som i område B og C, vil tid mellom vedlikehold reduseres kraftig.

En motor med en sylindereffekt på 340 kW vil i en 16 sylinder konfigurasjon ligge på 75 % av MCR når en 12 sylindervariant av motoren vil ligge på 100%. Dette vil føre til langt

høyere slitasje på motoren med 12 sylindre. Så i et vedlikeholdsperspektiv vil det lønne seg å velge en motor med høy ytelse, for så å kjøre den på en lavere effekt (Almås, 2003).

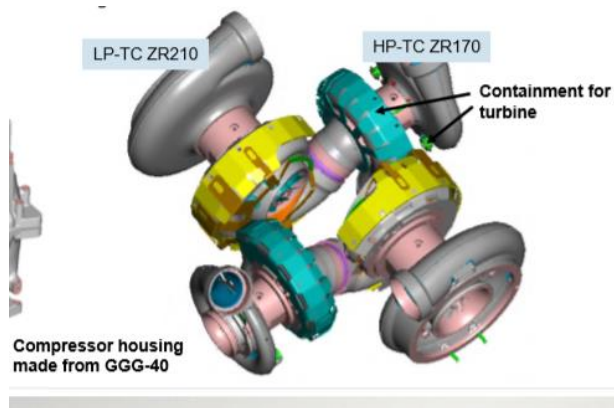
Tabell 13, Sammenligning mellom de ulike kriterier som gir økt vedlikehold

Merke	Type	Ant syl	Mep	Turtall	Stempel-	Pe/syl	Pe
			[Bar]	[rpm]	fart	[kW]	[kW]
Cat	C280-12	12	20	1000	10,0	308	3693
Cat	C280-16	16	18,3	1000	10,0	282	4505
MTU	1163 M04	16	25,8	1200	11,2	300	4800
MTU	1163 M04	16	25,2	1150	10,7	281	4493
MAN	V28/33D STC	12	22,2	1000	11,0	376	4509
RR	C25:33V12P	12	25	1000	11,0	337	4048
Wartsila	W26	12	23,85	1000	10,7	337	4050
Wartsila	W26	16	19,9	1000	10,7	282	4506



Figur 44, sammenligning av middeltrykk og stempelfart

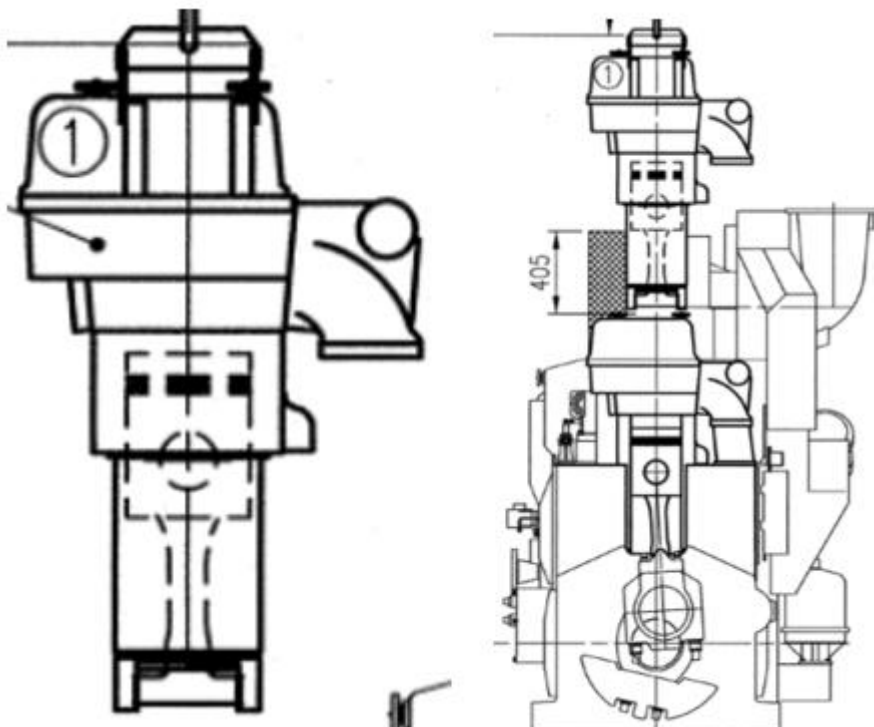
Tabellen over demonstrer viser stempelfarten og middeltrykket til de ulike motorene, 16-sylindersmotorene og MTU 1163 M04 har nedjustert trykket slik at de skal holde omtrent 4,5 mW, og 12-sylindrede motorer kjører på MCR. Høyt middeltrykk og/eller stempelfart vil føre til en større slitasje, kortere tid mellom overhalingene og lavere driftssikkerhet. Kompleksiteten til de ulike motorene varierer, en maskin med flere bevegelige deler vil være mer utsatt for havari enn en med få deler.



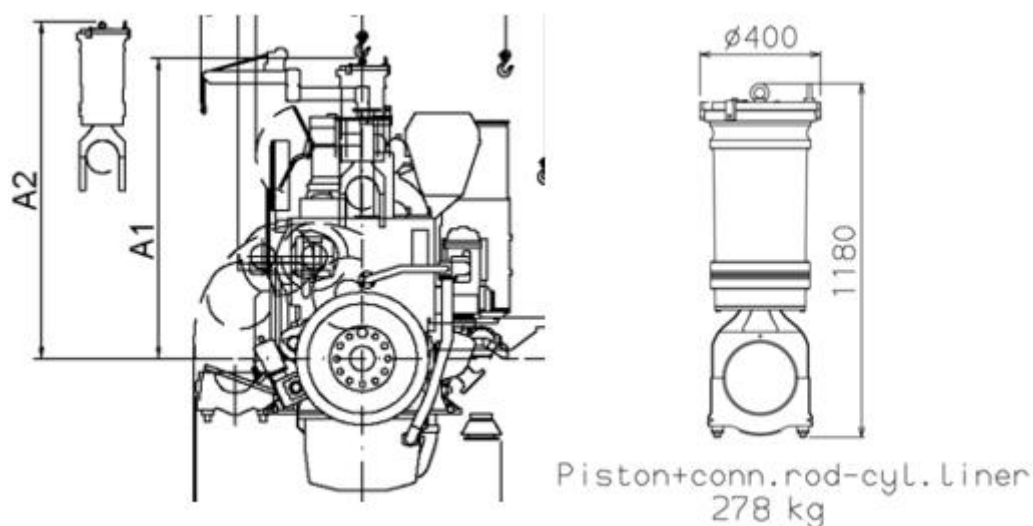
Figur 45, MTU to-steps turbolader (Fenske, 2012)

MTU 1163 M04 er utstyrt med to tottrinns turboladere på sin 16-sylindrede motor, dette gir et høyt antall bevegelige deler kontra en konvensjonell et-trinns turbolader.

3.7.1.1 Smarte løsninger



Figur 46 Rolls Royce sin sylindrenhetsløsning for rekkemotorer (Bergen Engines, 2018)

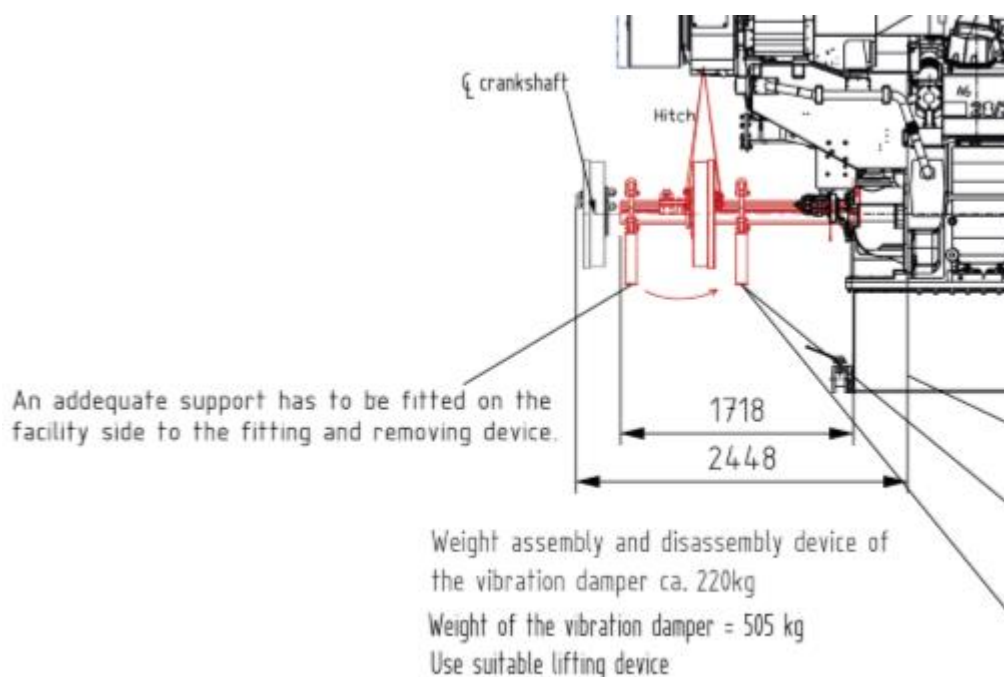


Figur 47 Wärtsilä sin sylindereenhetsløsning (WÄRTSILÄ Engines, 2016)

Wärtsilä og Rolls Royce har hver sin variant av sammensatte komponenter for å lette arbeidet med stempelbytte. Der Wärtsilä sin variant består av stempel og sylindreforing, og Rolls Royce sin variant er stempel, sylindreforing og sylindrehode. Det er flere grunner til å foretrekke denne løsningen fremfor den konvensjonelle løsningen med en og en del.

- Lagringen av delene vil ta mindre plass i maskinrommet.
- Mindre nedetid i en operasjon om et stempel skulle indikere unormale verdier om måtte byttes.

Selv om MAN sine motorer veier en del, er de designet slik at deler er tilsynelatende enkle å vedlikeholde, takket være spesialverktøy.



Figur 48 demontering av vibrasjonsdemper på MAN 28/33 motoren (MAN Diesel & Turbo, 2016)

3.7.2 Drøfting driftssikkerhet

Samtlige produsenter påberoper seg god driftssikkerhet selv om MTU og MAN skriver lite om sine vedlikeholdsrutiner. MTU er den motoren i denne studien som opererer med høyest middeltrykk og raskeste stempelfart, og vil bli raskest slitt og kreve mest vedlikehold. MTU mener at deres common-rail-løsning skal føre til mindre vedlikehold siden den inneholder færre deler enn en konvensjonell pumpeløsning. De resterende motorene i denne studien har mer tradisjonelle PLN eller LPN. PLN systemet vil kreve vedlikehold, men er en kjent løsning som er mye brukt. MAN motoren vil måtte bli kjørt med en nedtunet effekt. Dette kan virke positivt i forhold til vedlikeholdet av motoren, siden belastningen vil bli mindre enn designbelastningen og f.eks stempelringer og sylindreforing vil kunne vare lengre.

Tabell 14, rangering driftssikkerhet

Merke	kriterie	Driftssikkerhet
Vekting [%]		15
Cat	C280-12	5
cat	C280-16	2
MAN	V28-33D STC	2
MTU	1163 M04	7
RR	C25:33L12P	4
Wärtsilä	w26-12	5
Wärtsilä	w26-16	2

4 Konklusjon

I konklusjonen vil hver enkelt motor bli evaluert, før en anbefaling vil komme til slutt.

4.1 Caterpillar C280-12

Motoren er kompakt og vil være den motoren som vil være enklest å montere, samtidig vil den kreve minst opplæring for operatørene, siden den ligner mest på dagens motor, og dagens planer for opplæring etc. kan fortsatt brukes. Den har lavere forbruk enn dagen motor, men fremdeles høyere enn mange andre kandidater i denne sammenligningen. Motoren har en effekt på 4060 kW som er helt i det nedre sjiktet av hva som er nok.

Den største forskjellen fra 3612 til C280-12 motoren er Caterpillar sitt eget innsprøytningssystem. Dette er en form for elektronisk innsprøytning der hver sylinder fremdeles har en egen pumpedyse, men dysen er datastyrt for kunne tilpasse innsprøytningen.

Tabell 15, Resultater for C280-12

Merke	kriterie	Effekt-område	IMO krav	Vekt	Forbruk	Plassutnyttelse	Driftssikkerhet	Gjennomsnitt
	Vekting [%]	20	ja/nei	24	15	26	15	100
Cat	C280-12	5	ja	2	4	1	5	4,29

4.2 Caterpillar C280-16

Motoren er en del tyngre enn den 12-sylindrede varianten. Så den totale vektøkningen til fartøyet vil være på omtrent 11 tonn. Dette kan spares inn ved å optimalisere motorfundamentet. Motoren leverer for høyt moment på maks pådrag, og vil måtte bli nedjustert en del for å kunne brukes sammen med dagens gir. Den har samme innsprøytningssystem som C280-12 motoren.

Tabell 16 Resultater for C280-16

Merke	kriterie	Effekt-område	IMO krav	Vekt	Forbruk	Plassutnyttelse	Driftssikkerhet	Gjennomsnitt
-------	----------	---------------	----------	------	---------	-----------------	-----------------	--------------

Vekting [%]	20	ja/nei	24	15	26	15	100	
Cat	C280-16	2	ja	4	5	3	2	4,19

4.3 MAN 28-33D

Dette er den største og tyngste motoren i sammenligningen. Motoren har et elektronisk styrt PLN-innsprøytningsystem. Som eneste motor i denne sammenligningen har den en to-delt turbolader. Det er to identiske turboladere, men ved lav last kjøres bare den ene, og ved høyere belastninger kjøres begge turboene. Dette fører til at motoren har god virkingsgrad på hele registeret. Dataen brukt i sammenligningen er ikke basert på data om fartøyenes propellkurve, og kan derfor ikke antas å være helt korrekt, likevel ser vi en klar tendens til at MAN-motoren er den mest effektive.

Motoren er designet for en MCR på 500kW/syl, og den minste sylinderekonfigurasjonen er 12 syl, så max-effekt for motoren blir 75% belastning. Dette vil være bra for levetiden og slitasjen på motoren, men det vil si at det betales for en stor motor som ikke benyttes 100%. Samtidig vil motoren ta opp en stor del av maskinrommet, og gjøre det daglige arbeidet mellom foran og bak motorene veldig mye mer krevende.

Motoren er også den tyngste motoren i sammenligningen, men pga det lave forbruket vil fartøyet trenge mindre drivstoff for å opprettholde rekkevidden, og den ekstra vekten vil kunne bli spart der.

Tabell 17, Resultater for MAN28-33D motoren

Merke	kriterie	Effekt-område	IMO krav	Vekt	Forbruk	Plassutnyttelse	Driftssikkerhet	Gjennomsnitt
Vekting [%]	20	ja/nei	24	15	26	15	100	
MAN	V28-33D STC	3	ja	6	1	6	2	4,25

4.4 MTU 1163 M04

MTU har vært svært tilbakeholden med informasjon, men det generelle inntrykket er at dette er en motor med høy ytelse i forhold til vekt og størrelse. Om fregattene skal gå med

en høyere fart er dette den eneste kandidaten som kan levere et høyere turtall men med samme dreiemoment, ved å endre propellens stigning og øke turtallet vil fartøyet potensielt gå raskere, men med en lavere virkningsgrad pga operering utenfor designområdet. Motoren benytter seg av en totrinns turboløsning, for å få et høyere ladetrykk. I denne undersøkelsen er dette motoren med høyest stempelfart, ladetrykk, og middeltrykk, noe som tradisjonelt fører til mer slitasje. Her har 16-sylindrede varianten litt for mye effekt, og burde derfor holdes igjen, noe som igjen kan føre til bedre driftssikkerhet.

Informasjonen om drivstofforbruk var mangelfull, men de oppga tall som var høyere enn hos de andre motorene i sammenligningen.

Tabell 18 Resultater for MTU 1163M04

Merke	kriterie	Effekt-område	IMO krav	Vekt	Forbruk	Plassutnyttelse	Driftssikkerhet	Gjennomsnitt
Vekting [%]		20	ja/nei	24	15	26	15	100
MTU	1163 M04	2	ja	1	5	2	7	4,36

4.5 Wärtsilä w26

Wärtsilä leverer motorer som ligner på motorene som står der i dag, både mtp. størrelse effekt og vekt, med samme problematikken rundt antall sylindre som C280 motoren, der 12 syl blir for lite og 16 for mye. Wärtsilä-motoren har et lavt forbruk, og har smarte løsninger, slik som ferdigmontert sylindreforing med stempel og veivstake, for å kunne bytte deler raskere.

V-motorene må ha en avstand på min 3150mm kontra 2900 mm som er avstanden idag, noe som vil bli for lite om bord. Ett alternativ kan være å ha en 16-sylindrede og en 9-sylindrede, motor. Dette vil gi en skeiv fordeling av kraft inn på giret, og vil være krevende å få til å fungere sammen med en GT.

Tabell 19 Resultater for Wärtsilä 26

Merke	kriterie	Effekt-område	IMO krav	Vekt	Forbruk	Plassutnyttelse	Driftssikkerhet	Gjennomsnitt
Vekting [%]		20	ja/nei	24	15	26	15	100
Wärtsilä	w26-12	5	ja	3	2	7	5	5,19

4.6 Rolls Royce C25:33V12P

Rolls Royce har skrevet at de ikke planlegger å utvikle en slik motor, siden dette vil være kostbart både i utviklingskostnader, og i drift for eventuelle forbrukere. Deres marked er normalt ikke hurtiggående marinefartøyer, men heller ferger, offshore og kystfrakt, bransjer som setter helt andre krav. Deres motor vil derfor være spesialisert for andre formål enn f.eks MTU som forsøker å tilpasse seg marinefartøy. Om det skulle vært aktuelt å få spesialbygget en serie C25:33V12P motorer vil det måtte bli i et tett samarbeid mellom FMA og Rolls Royce, noe som ville gi oss anledningen til å påvirke designet til motoren. I henhold til tegningene ville det ikke vært plass til å trekke stempel og sylinderforinger ut av motoren, og generelt ville den opptatt et stort volum i maskinrommet.

Tabell 20 Resultater for Rolls Royce C25:33V12P

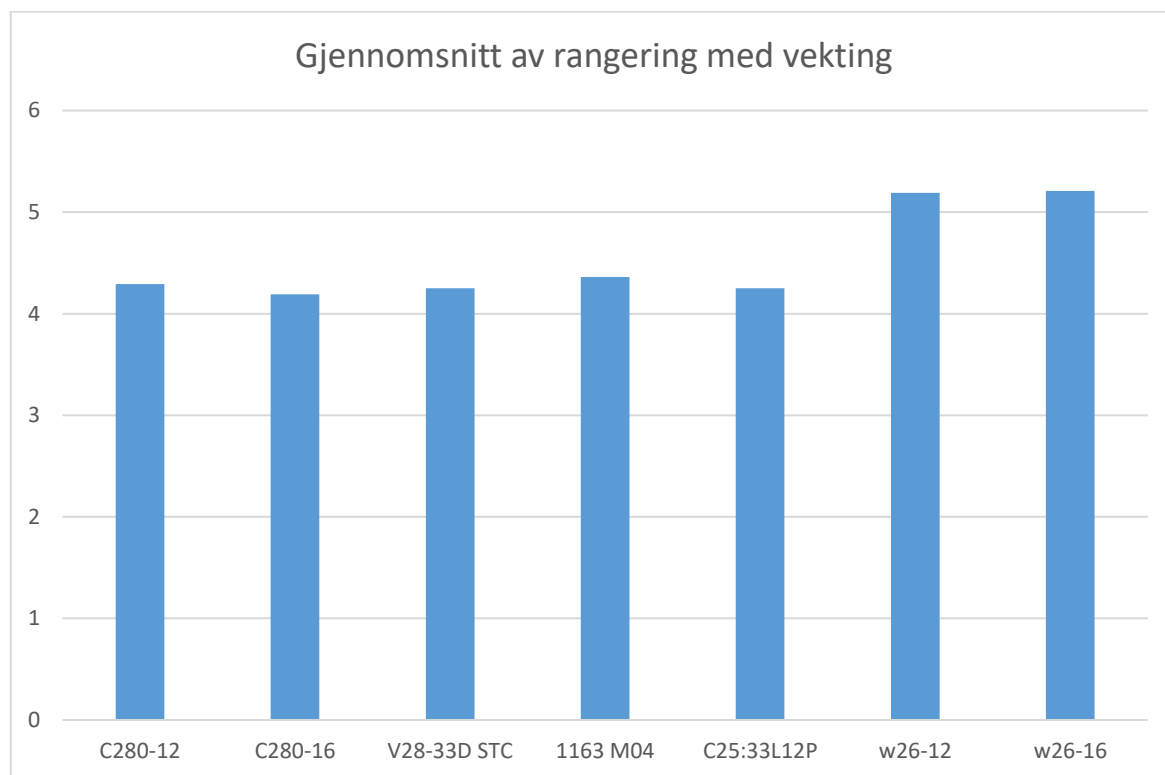
Merke	kriterie	Effekt- område	IMO krav	Vekt	Forbruk	Plassut- nyttelse	Driftssik- kerhet	Gjen- nomsnitt
	Vekting [%]	20	ja/nei	24	15	26	15	100
RR	C25:33L12 P	4	ja	4	3	4	4	4,25

5 Konklusjon

I denne tabellen er motorene rangert der 1 er best og 7 dårligst. De ulike faktorene har fått en ulik vektning i prosenter, for så å finne et gjennomsnitt av dette.

Merke	kriterie	Effekt- område	IMO Tier 2	Vekt	Forbruk	Plassut- nyttelse	Driftssik- kerhet	Gjen- nomsnitt
Vekting [%]		20	ja/nei	24	15	26	15	100
Cat	C280-12	5	ja	2	4	1	5	4,29
Cat	C280-16	2	ja	4	5	3	2	4,19
MAN	V28-33D STC	3	ja	6	1	6	2	4,25
MTU	1163 M04	2	ja	1	5	2	7	4,36
RR	C25:33L12 P	4	ja	4	3	4	4	4,25
Wärtsil ä	w26-12	5	ja	3	2	7	5	5,19
Wärtsil ä	w26-16	2	ja	6	3	7	2	5,21

Tabell 21, gjennomsnitt av rangeringene til motorene, med vekting. Der 1 er best og 7 er dårligst



Etter å ha kartlagt mulige løsninger og deres kapasiteter, har disse blitt evaluert opp mot funksjonelle krav for fartøyet. Gjennom denne prosessen har negative konsekvenser av ulike løsninger blitt tydeliggjort. Dagens motorer har en høyere effekt per sylindere enn hva som er vanlig på markedet, derfor vil ikke motorer i samme størrelsesorden gi nok effekt. Derfor blir 16 sylindrede og større 12 sylindrede motorer aktuelle, disse motorene er ikke uten problemer, de tar større plass, veier mer, og vil oppnå sin beste virkningsgrad på et annet sted enn dagens løsning.

Etter å ha analysert fartøysklassens tekniske krav og funksjoner opp imot de ulike motorens kapasiteter og egenskaper konkluderes det med at Caterpillar C280 16-sylindere er den beste erstatningen til dagens motor. Til tross for dårlige rangeringer på vekt og drivstofforbruk har motoren en effekt som kan justeres til å passe med dagens anlegg. Motoren passer i maskinrommet med tanke på vedlikehold og montering. Motoren er utvalgt

på grunnlag av kriterier med ulik vektning, der Caterpillar C280 16-sylinder motoren gjennom rangeringer fikk den beste totalsummen. For å kunne kjøre motoren på dagens gir må den kjøres på en lavere ytelse enn dagens MCR, dette vil føre til en lavere slitasje og høyere driftssikkerhet, men en høyere vekt enn 12-sylinder varianten. En del av denne vekten kan hentes inn ved å optimalisere designet av motorfundamentet.

Vedlegg (Se eget dokument)

Vedlegg A: Tekniske håndbøker

- A.1 Bergen Engines C25_33 Propulsion Project guide
- A.2 Bergen Engines B33:45 Project guide
- A.3 Caterpillar 3612 project guide
- A.4 Caterpillar C280 project guide
- A.5 MAN basic principles
- A.6 MAN V28-33D STC IMO Tier III EPA Tier 2 – Marine
- A.7 MTU 1163M04 Standard Presentation_2017_final
- A.8 MTU_Marine_SalesProgram pd
- A.9 Wärtsilä product guide w26
- A.10 MTU Tegninger

Vedlegg B: Solidworks

- B.1 Motorer
- B.2 Arbeidstegninger maskinrom
- B.3 Maskinrom
- B.4 Motorfundament
- B.5 Ferdige monteringer
- B.6 bilder til presentasjonen

Vedlegg C: Fremdriftsplan og timeliste

Vedlegg D: Beregninger

Vedlegg E: Epostkorrespondanse

6 Bibliografi

Almås, T., 2003. *Kompendium forbrenningsmotorer*. Trondheim: NTNU institutt for marinteknikk.

Ansgar Lund, Gisle Strand, 2013. *Kompendium Skipsmaskineri Drift og vedlikehold*. Bergen: s.n.

Bergen Engines, 2018. *PROJECT GUIDE FOR MARINE PROPULSION APPLICATIONS ERGEN ENGINE TYPE C25:33P FUEL OIL OPERATION*. Bergen: Bergen Engines.

Caterpillar Incorporated Large Engine Eivision, 2002. *3612 and 3616 Engine family Marine project guide*. Lafayette Indiana: Caterpillar.

Caterpillar Marine Power Systems, 2012. *C280 Marine Project guide EPA Marine Tier 2/IMO Tier II Compliant*. 3450 Executive Way Miramar: s.n.

Commodore Stephen Saunder RN, 2012. *Jane`s Fighting Ship*. UK: MPG Books Group.

Fenske, C., 2012. *MTU Series 1163 M04*. Friedrochshafen: MTU Friedrichshafen GmbH.

MAN Diesel & Turbo, 2016. *Basic principles of Ship propulsion*. Copenhagen: MAN Diesel & Turbo.

MAN Diesel & Turbo, 2016. *MAN V28/33D STC Project Guide – Marine*. Augsburg: MAN Diesel & Turbo SE.

WÄRTSILÄ Engines, 2016. *WÄRTSILÄ 26 PRODUCT GUIDE*. Vaasa: WÄRTSILÄ Engines.