



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
Fakultetet for realfag og teknologi

Ombygging av GES 40 til elektrisk fremdrift

Retrofitting GES 40 to electric propulsion

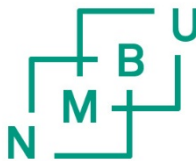
Sebastian Wang-Hansen

Maskin, prosess og produktutvikling
Fakultetet for realfag og teknologi

Ombygging av GES 40 til elektrisk fremdrift

Av

Sebastian Wang-Hansen



Mastergradsarbeide i Maskin, prosess og produktutvikling

Norges miljø- og biovitenskaplige universitet

Fakultet for realfag og teknologi

Våren 2019

FORORD

Denne masteroppgaven er gjennomført som en avsluttende del av masterprogrammet i Maskin, prosess og produktutvikling ved fakultetet for realfag og teknologi ved NMBU. Masteroppgaven ble planlagt og påbegynt høsten 2018, mens hovedtyngden av arbeidet ble utført våren 2019. Gradsoppgaven har et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven ble presentert av dr. ing Egil Mollestad, CEO ZEM Energy AS, på sensommeren 2018. Den ble lagt frem som et samarbeidprosjekt mellom Norsafe AS, produsent av livbåter og redningsutstyr, og ZEM Energy som er spesialist på elektrifisering for maritime anvendelser.

Jeg syntes det virket som et spennende prosjekt hvor jeg kunne benytte mye av den ingeniørfaglig kunnskapen, som jeg har opparbeidet gjennom studiet, i praksis. Det ga også mulighet for sette meg inn i nye fagfelt som blant annet elektronikk og hydrodynamikk.

Prosjektet var basert på et konkret behov fra bedriftene og hadde et stort omfang. Dette gjorde at jeg følte et betydelig ansvar siden resultatet av en slik studie kunne være utslagsgivende for bedriftenes videre arbeid med prosjektet. Det var derfor helt nødvendig og til stor hjelp at Jakob Storjord Andersson, utviklings ingeniør i Norsafe, og Egil Mollestad fra ZEM stilte seg til disposisjon for veiledning og hjelp til informasjonsinnhenting.

Mye av informasjonen som har vært nødvendig for å kunne gjennomføre dette prosjektet har vært bedrifts og produktspesifikk, og var derfor ikke offentlig tilgjengelig. Uten den hjelp og tillit som er blitt vist meg av Norsafe og ZEM, ville jeg ikke ha hatt muligheten til å kunne gjennomføre dette mastergradsarbeidet på en betryggende og god måte.

Stor takk til Jakob Storjord Andersson, Egil Mollestad og ikke minst Førsteamanuensis Jan Kåre Bøe som har vært min hovedveileder fra NMBU.

Ås, 15.05.2019

Sebastian Wang-Hansen

SAMMENDRAG

Fritt fall-livbåter har i den siste tiden blitt et populært livredningsfartøy på skip og offshore-anlegg. Fritt fall konseptet går ut på at båten gjennomfører et kontrollert stup. Stupet gir kinetisk energi som benyttes til å drive livbåten vekk fra fareområdet. En utfordring med nåværende løsninger er nedsoting av dieselmotoren. Sotingen fører til dårligere effekt og i verste fall at motoren ikke starter. For å redusere sikkerhetsrisikoen dette medfører, må det utføres jevnlig testing og vedlikehold.

Problemene som er nevnt kan løses ved å benytte elektrisk fremdrift. En elektrisk motor kan yte opp mot maks effekt selv etter mange år med lite bruk, og den elektriske drivlinjen kan testes over internett. Dette fører til økt sikkerhet og betydelig reduksjon av vedlikehold.

Elektrifisering av fritt fall-livbåter er et nytt konsept. I 2018 ble den første prototypen fremstilt som et resultat av et samarbeidsprosjekt mellom ZEM Energy og Norsafe. Prototypen er en ombygging av en av Norsafes livbåt-modeller, GES 45, til elektrisk fremdrift (E-GES 45). Prosjektet har vist seg å være vellykket, og det var derfor et ønske om å undersøke mulighet for ombygging av andre typer livbåter. Mastergradsarbeidet ble startet på bakgrunn av dette og omhandler et mulighetsstudie for ombygging av GES 40 (en mindre livbåt-modell) til elektrisk fremdrift.

Hovedmålet i dette prosjektet var å undersøke om ZEMs elektriske drivlinje og Norsafe sine tekniske løsninger, som ble benyttet i E-GES 45, kunne implementeres i ombygging av GES 40. Underveis i prosjektet skulle det også vurderes om prosedyren i mulighetsfasen av ombyggingsprosjektet kan standardiseres, for å lette arbeidet med fremtidige prosjekter.

Metodikken benyttet i prosjektet er en kombinasjon av integrert produkt utvikling (IPD), Stuart Pughs "Total design", kreativitetsverktøyet SCAMPER og grunnleggende ingeniørfaglige metoder. For å sørge for god kvalitetsstyring ble det tatt utgangspunkt i NS-EN ISO 9001 standardens krav til kvalitetssikring samt bransjestandarder på området.

Gradsarbeidet ble utført i henhold til prosjektplan og etter definerte prosessstrinn. Det ble først utført teori- og teknologiutredning, som sammen med kundens ønsker og relevante produktkrav dannet grunnlaget for produktspesifiseringen. På bakgrunn av denne ble det utført rekkeviddeberegninger, valg av komponenter, konseptgenerering for plassering og innfestning av komponenter samt design av ventilasjon-, sprinkler-, kjøling- og styringssystem. Konseptet ble deretter analysert opp mot produktspesifisering og hovedmål ved å utføre styrke- beregninger og vurdere løsningene med tanke på robusthet, miljø og økonomi. I sluttfasen av prosjektet ble prosessen evaluert og det ble satt opp en standardisert prosedyre for hvordan mulighetsfasen i fremtidige ombyggingsprosjekter kan utføres.

Konseptløsningen som ble utarbeidet viser valgte komponenter, hvordan de kan plasseres, løsninger til innfestninger samt utforming av ventilasjon-, sprinkler-, kjøling- og styringssystem. Konseptet er basert i stor grad på løsninger benyttet i E-GES 45.

Fra beregnings- og analysefasen av prosjektet ble det funnet følgende resultater:

- Tyngdepunktberegningene viser at ombyggingen vil medføre en økning av den totale vekten på 235 kg og en forskyvning av tyngdepunktet på $\pm 0,18\%$ i forhold til båtens totale lengde (LOA).
- Styrkeberegningene viser at innfestningsløsningene vil kunne dimensjoneres til å tilfredsstillende dimensjoneringskriteriene.
- Kostnadene ved en ombygging vil være ca 3 millioner NOK, og det estimeres en årlig besparelse på ca 3 millioner NOK i vedlikeholdsutgifter. På bakgrunn av dette vil investering være lønnsom etter et års bruk.
- Ut fra overslagsberegninger av miljøbelastningen vil ombyggingen sannsynligvis ikke kunne gi et positivt miljøregnskap i løpet av livbåtens levetid.

Mulighetsstudien gir en oversikt over hvordan en ombygging av GES 40 til elektrisk fremdrift kan utføres. Studien viser at ombyggingen er mulig å gjennomføre på en hensiktsmessig måte, og at livbåten vil kunne oppfylle relevante krav, standarder og definerte produktmål. Studien viser også hvordan prosedyren for mulighetsfasen i et ombyggingsprosjekt kan standardiseres og potensielt effektiviseres.

Det videre arbeidet med prosjektet er delt i to retninger:

- Videre arbeid med mulighetsstudien:
 - Utføre eksakte rekkeviddeberegninger.
 - Grundig kostnads- og miljøanalyse.
- Videre arbeid med ombyggingsprosjektet:
 - Detaljering av de tekniske løsningene.
 - Bygging av prototyp.
 - Verifisering og testing av livbåt og systemer.

ABSTRACT

Free-fall-lifeboats have in recent times become a popular lifesaving vessel on ships and offshore facilities. The free-fall-concept is based on that the boat carries out a controlled dive. The dive provides kinetic energy that is used to drive the lifeboat away from the danger area. One challenge with the current solutions is accumulation of soot in the diesel engine. The soot will lead to reduced power-output, and in the worst case the engine fails to start. To reduce the safety risk this entails, regular testing and maintenance must be performed.

The problems mentioned can be solved by using electric propulsion. An electric-motor can reach maximum power even after many years of limited usage, and the electric drive line can be tested over the internet. This leads to increased safety and a considerable reduction in maintenance.

Electrification of free fall lifeboats is a new concept. In 2018, the first prototype was produced as a result of a collaborative project between ZEM Energy and Norsafe. The prototype is a retrofit design of one of Norsafe's lifeboat models, GES 45, to electric operation (E-GES 45). The project has proved to be successful, which led to the incentive to investigate the possibility of rebuilding other types of lifeboats. This master's thesis was started on this basis and consists of a feasibility study for retrofitting GES 40 (a smaller lifeboat model) to electric propulsion system.

The main objective of this project was to investigate whether ZEM's electric drive train and Norsafe's technical solutions, which were used in E-GES 45, could be implemented in the retrofitting of GES 40. During the project, it should also be considered whether the procedure in the feasibility phase of the retrofitting project can be standardized, to facilitate work on future projects.

The methodology used in the project is a combination of integrated product development (IPD), Stuart Pugh's "Total design", the creativity tool SCAMPER and basic engineering methods. To ensure good quality management, the ISO 9001 standard's requirements for quality assurance and industry standards were taken as a reference point.

This master's thesis was carried out according to the project plan and defined process steps. Theory and technology investigation was first carried out, which together with customer needs and relevant product requirements, formed the basis for the product specification. Based on the specification it was then carried out range calculations, selection of components, concept generation for placement and attachment of components and design of ventilation, sprinkler and cooling systems. The concept was then analysed against the product specification and the main objective, by performing strength calculations and evaluating the solutions in relation to robustness, environment and economy. In the final phase of the project, the process was evaluated and a standardized procedure was set up for how the feasibility phase in future rebuilding projects can be carried out.

The generated concept design shows selected components, how they can be placed and attached and ventilation, sprinkler, cooling and control system. The concept is largely based on solutions used in E-GES 45.

From the calculation and analysis phase of the project, the following results were found:

- Calculations of the center of gravity show that the retrofitting of GES 40 will result in an increase of the total weight of 235 kg and a displacement of the center of gravity of $\pm 0.18\%$ relative to length overall(LOA).
- The strength calculations show that the component attachments can be dimensioned to satisfy the dimensioning criteria.
- The cost of the retrofitting will be approximately 3 million NOK, and an estimated annual saving of approximately 3 million NOK in maintenance expenses. Based on this, the investment will be profitable after a year's use.
- Based on estimates of the environmental impact, the retrofitting will probably not be able to provide a positive environmental impact during the lifeboat's lifespan.

The feasibility study provides an overview of how a retrofitting of GES 40 with an electrical propulsion system can be carried out. The study shows that the conversion is possible to carry out in an appropriate manner, and it is assumed that the lifeboat can be built to fulfil relevant requirements, standards and defined product targets. The study also shows how the procedure for the feasibility phase of a retrofitting project can be standardized and potentially improved.

Further work on the project is divided into two directions:

- Further work on the feasibility study:
 - Perform exact range calculations.
 - Thorough cost and environmental analysis.
- Further work on the conversion project:
 - Detailed technical solutions.
 - Prototype construction.
 - Verification and testing of lifeboat and systems.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Elektriske systemer i marin sektor i et historisk perspektiv.....	2
1.3	Miljøperspektiv.....	3
1.4	Samarbeidsbedrifter.....	3
1.4.1	Bedriften Norsafe AS.....	3
1.4.2	ZEM Energy AS.....	5
1.5	Markedsbehov og potensiale.....	6
1.6	Bakgrunn for valg av oppgave.....	6
1.7	Oppdragsbeskrivelse.....	7
1.8	Problemstillinger og flaskehalsar.....	7
1.8.1	Hovedproblemstillinger.....	7
1.8.2	Tekniske og funksjonelle flaskehalsar.....	7
2	PROSJEKTPLAN.....	8
2.1	Målsetninger.....	8
2.1.1	Hovedmål.....	8
2.1.2	Delmål.....	8
2.1.3	Tids og arbeidsplan med milepeler.....	8
2.2	Begrensinger.....	9
3	METODEBRUK.....	10
3.1	Terminologi.....	10
3.1.1	Begreper og forkortelser.....	10
3.1.2	Symbolbruk.....	12
3.1.3	Formler.....	13
3.1.4	Koordinatsystem.....	14
3.2	Utviklingsmetodikk.....	15
3.3	Kvalitetssikring.....	18
3.4	Beregnings- og dimensjoneringsmetodikk.....	18
3.5	Programvare.....	19
3.6	Litteraturstudie.....	19
3.7	Prosesstrinn.....	19

4	TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING	21
4.1	Batteriteknologi.....	21
4.1.1	Batteri	21
4.1.2	Litium batterier	21
4.1.3	Fremtidige batterier	22
4.2	Elektriske motorer.....	24
4.2.1	Permanent magnet synkron motor.....	25
4.2.2	Synkron reluktans motor	25
4.2.3	Hybride løsninger	25
4.3	ZEMs elektriske drivlinje.....	26
4.4	GES 40.....	28
4.5	Casestudie E-GES 45	30
4.5.1	Elektrisk drivlinje	31
4.5.2	Systemarkitektur	32
4.5.3	Plassering	34
4.5.4	Innfestning	34
4.5.5	Batterirom.....	35
4.5.6	Øvrige systemer	36
5	PRODUKTSPEISIFISERING.....	38
5.1	Produktmål.....	38
5.2	Relevante krav og standarder	38
6	KONSEPTUELL TILPASNING E-GES 40	40
6.1	Effektbehov og rekkevidde	40
6.2	Valg av komponenter	42
6.2.1	Elektrisk fremdriftsmotor	42
6.2.2	Direkte drift kontra gir.....	43
6.2.3	Alternativ motor.....	43
6.2.4	Thrustlager	43
6.3	Tyngdepunkt og plassering	44
6.3.1	Komponenter	45
6.3.2	Tyngdepunktberegning	46
6.3.3	Plassering	48
6.4	Elektrisk drivlinje og styringssystem	49

6.4.1	Drivlinje.....	49
6.4.2	Styring.....	49
6.5	Innfestning.....	49
6.5.1	Batterier.....	49
6.5.2	Motor.....	53
6.5.3	Kobling.....	54
6.5.4	Skap.....	54
6.6	Ventilasjon-, Sprinkler- og kjølingssystem.....	55
6.6.1	Gassevakuering.....	55
6.6.2	Luft til passasjerer.....	55
6.6.3	Kjøling.....	55
6.6.4	Sprinkleranlegg.....	56
7	STYRKEBEREGNING.....	57
7.1	Materialvalg.....	58
7.2	Batteri-innfestningen.....	58
7.2.1	Scenario 1.....	59
7.2.2	Scenario 2.....	62
7.2.3	Scenario 3.....	66
7.2.4	Scenario 4.....	70
7.2.5	Beslag- og bjelkefester.....	71
7.2.6	Sveis.....	73
7.3	Modifisert støttevegg.....	74
7.3.1	Beregningsgrunnlag.....	74
7.3.2	Forenklet modell.....	75
7.3.3	Belasting.....	76
7.3.4	FEM-analyse.....	76
7.3.5	Drøfting av simuleringsresultater.....	80
7.4	Konklusjon og vurdering av resultater.....	80
8	ROBUSTHET OG KVALITETSKONTROLL.....	81
8.1	Robusthet.....	81
8.1.1	Korrosjon.....	81
8.1.2	Utmatting.....	81
8.2	Kvalitetskontroll.....	82

9	PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN.....	83
10	KOSTNADSANALYSE OG MILJØREGNSKAP.....	86
10.1	Kostnadsanalyse.....	86
10.2	Miljøregnskap.....	89
11	STANDARISERING AV PROSEDYRE.....	92
12	PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	95
13	KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID.....	97
13.1	Resultater.....	97
13.2	Videre arbeid.....	97
14	FIGURER.....	98
15	TABELLER.....	100
16	KILDEHENVISNING.....	101
16.1	Skriftlige kilder.....	101
16.2	Personlig kommunikasjon.....	102
16.3	Nettkilder.....	103
17	Vedlegg.....	105

1 INNLEDNING

I dette kapittelet blir det redegjort for bakgrunnen til prosjektet samt en beskrivelse av oppdraget med problemstillinger og teknologiske flaskehalsar.

1.1 Bakgrunn

Havrommet har bidratt til velstandsutviklingen i Norge i generasjoner og ført til at norsk industri i dag er verdensledende innenfor en rekke av de maritime sektorene. Dette skyldes vår nærhet til havet kombinert med langsiktig tenkning, modige beslutninger og teknologisk kunnskap og kompetanse. Havrommet er svært viktig for å kunne møte de store globale utfordringene relatert til mat, energi og klima. [1]

For å opprettholde vår ledende rolle i deler av den maritime sektoren, er arbeidernes sikkerhet en nødvendig faktor. En sikker måte å komme seg vekk fra en kritisk situasjon som kan oppstå på skip eller offshoreanlegg er ved hjelp av en livbåt. For raskest mulig evakuering fra store høyder er fritt fall-livbåter det beste alternativet. [2]

Fritt fall-livbåter har i den siste tiden blitt et populært livredningsfartøy på skip og offshoreanlegg. Fritt fall-konseptet går ut på at båten gjennomfører et kontrollert stup. Stupet gir kinetisk energi som brukes til å drive livbåten vekk fra fareområdet. Fordelen med dette er at evakueringen kan skje raskt og at båten beveger seg bort fra området selv om motoren ikke fungerer. Bruk av fritt fall-livbåter har vært en stor sikkerhetsforbedring fra de konvensjonelle livbåtene i situasjoner der rask evakuering er avgjørende. Det er likevel rom for forbedringer.

Det sies at en effektiv måte å ødelegge en dieselmotor på, er å sette den i en livbåt. Hovedgrunnene til dette, er at den som regel kun blir brukt i korte intervall under månedlig testing. Dette fører til kondens i dieseltanken, tette dieselfiltre og generell nedsoting som kan føre til koksing av komponenter. Figur 1 og Figur 2 viser eksempler på koksing av komponenter i dieselmotorer.



Figur 1: Koksing av eksosreguleringsventil [3].



Figur 2: Koksing på stempel [4].

Tette dieselfiltre og generell nedsoting gjør at motoren på livbåten etter hvert ikke vil være i stand til å oppnå den effekten som kreves for rask evakuering. Nødvendig motoreffekt er

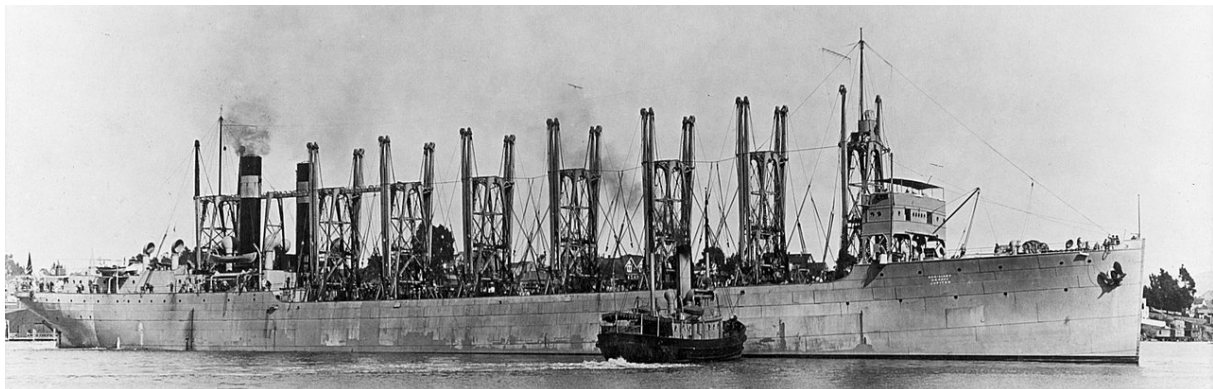
avgjørende for kunne evakuere raskt i ekstreme værforhold [5]. Motoren krever også mye vedlikehold og månedlig gjennomkjøring. [6]

Problemene som er nevnt kan løses ved å benytte elektrisk fremdrift. En elektrisk motor kan yte opp mot maks effekt selv etter mange år med lite bruk, og hele den elektriske drivlinjen kan testes over internett. Dette fører til økt sikkerhet og reduksjon av vedlikeholdsarbeid. [6]

Elektrifisering av fritt fall-livbåter er et nytt konsept. I 2018 ble den første prototypen fremstilt som et resultat av et samarbeidsprosjekt mellom ZEM Energy og Norsafe. Prototypen er en ombygging av en av Norsafes livbåt- modeller, GES 45, til elektrisk fremdrift (E-GES 45). Prosjektet har vist seg å være vellykket, og det var derfor et ønske om å se på mulighet for ombygging av andre typer livbåter. Mastergradsarbeidet ble startet på bakgrunn av dette og omhandler et mulighetsstudie for ombygging av GES 40 (en mindre livbåt- modell) til elektrisk fremdrift. Studiet er utført i samarbeid med bedriftene Norsafe og ZEM Energy.

1.2 Elektriske systemer i marin sektor i et historisk perspektiv

De tidligste registreringene av et elektrisk systemfremdriftssystem om bord på skip dateres tilbake til 1880 med SS Columbia sitt innebygde DC-system. Oppfinnelsen av AC-induksjonsmotor, transformator og dieselmotor utløste ny forskning og utvikling mot slutten av 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet. I denne perioden ble de første stegene gjort i forskning relatert til ubåter, batterier, dampturbiner og dieselmotorer. De to viktigste utviklingene før første verdenskrig, var det første diesel-elektriske fartøyet (Vandal) i 1903 og det første skipet med elektrisk fremdrift i 1912 (USS Jupiter). Figur 3 viser et bilde av USS Jupiter fra 1913.



Figur 3: USS Jupiter, det første skipet med elektrisk fremdrift [7]

Utbruddet av andre verdenskrig stimulerte til nye utviklinger som brakte T2-tankeren med turbo-elektrisk fremdrift inn i bildet. Fartøy drevet av kjernekraft oppstod sent på 1950-tallet, og det første passasjerskipet med bruk av vekselstrøm ble innviet i 1960 (SS Canberra), 70 år etter oppfinnelsen av vekselstrøms-motoren. Perioden 1956-1985 markerte kraftelektronikk-revolusjonen som ble utløst av den innovative solid state-teknologien og ble begynnelsen av en ny epoke for marinefartøyer. Som et resultat av dette ble Queen Elizabeth II innviet i 1987 med det første diesel-elektriske integrerte fremdriftssystemet. I januar 2015 ble det elektriske

fartøyets epoke innledet med lanseringen av verdens første rent batteridrevne bil- og passasjerferge Ampere lansert i Norge. [8]

Siden da har batteriteknologien for anvendelse i maritim sektor vært i kraftig utvikling, både når det gjelder batterikapasitet og anskaffelseskostnader. I følge ZEM er det norske markedet identifisert som en av de viktigste pådriverne for økt bruk av batteri i maritim næring, og Li-ion batterier anses av mange som en av de mest lovende teknologiene for lagring av energi [9]. Batteriteknologi er spesielt interessant for ferger, fiskefartøy og offshore fartøy, mens større cargoskip vil ha stort utbytte av elektrisk hjelpekraft og landstrøm. [1]

Verdens største hybridskip "Color Hybrid", planlegges nå å bygges i Ullsteinvik. Fergen skal gå strekningen Sandefjord- Strømstad og vil benytte batteridrift ved tillegging til kai og kjøring ut av fjorden ved Sandefjord. [10]

1.3 Miljøperspektiv

I 2015 ble Paris-avtalen signert. Denne globale avtalen tar sikte på å kutte verdens utslipp av CO_2 og legge til rette for handel av klimakvoter mellom land. Skipsfart er ikke inkludert i avtalen, men det er allikevel et klart press for å redusere utslippene. Dette er en viktig driver for de nye produktene og tjenestene i næringen. Løsninger der økonomiske interesser og lavere utslipp kan kombineres, vil være attraktive uavhengig av reguleringer. [1]

I Norge er det stor interesse og aktivitet for miljøvennlig skipsteknologi og energi. I tråd med Norges nullutslippsvisjon for transportsektoren innen 2050, har Transportetatene satt som mål at 40% av alle skip i nærskipsfart innen 2030, samt alle nye ferger og hurtigbåter, skal bruke klimanøytralt biodrivstoff, lav- eller nullutslippsteknologi (elektrisitet, hydrogen). [1]

1.4 Samarbeidsbedrifter

ZEM Energy og Norsafe har siden 2016 samarbeidet om elektrifisering av fritt fall-livbåter. I 2018 ble den første prototypen av E-GES 45 ferdigstilt. Prosjektet har vist seg å være vellykket, og de ønsker derfor å se på muligheten for ombygging av andre typer livbåter.

1.4.1 Bedriften Norsafe AS



Figur 4: En av Norsafes fritt fall-livbåter, GES 52 [11].

Norsafe er en bedrift som spesialiserer seg på design og produksjon av ulike livbåter, daviter, redningsbåter, datterfartøy og raske båter til profesjonell bruk. Alle produktene er produsert etter SOLAS og er sertifisert av nasjonale myndigheter for skip og offshore bruk. De driver også med opplæring innen maritim sikkerhet og de har en 24/7 servicetjeneste for sine produkter i over 300 havner rundt om i verden. Bedriften har designet og bygget båter siden 1903 fra hovedkvarteret i Arendal og har til nå produsert over 20 000 livbåter. Norsafe har vokst mye siden 1903 og har nå 13 kontorer globalt, ca 1100 ansatte og hadde i 2017 en omsetning på rundt 850 millioner. [12] [13]

Norsafe har blant annet produsert mange av fritt fall-livbåtene som er plassert på oljerigger og skip i Nordsjøen. Blant disse er GES 45 og GES 40 som denne oppgaven omhandler. Tabell 1 viser en oversikt over Norsafes ulike GES modeller.

Tabell 1: Oversikt over Norsafes ulike GES modeller [14].

GES 18	GES 21	GES 25
<ul style="list-style-type: none"> 18 persons 3.260 kg LxBxH 5,80 x 2,36 x 3,10 4.745 kg Inboard Diesel 15m 	<ul style="list-style-type: none"> 26 persons 4.155 kg LxBxH 6,55 x 2,64 x 3,15 6.300 kg Inboard Diesel 20m 	<ul style="list-style-type: none"> 32 persons 4.560 kg LxBxH 7,50 x 2,75 x 3,42 7.200 kg Inboard Diesel 22m
GES 30	GES 35	GES 40
<ul style="list-style-type: none"> 40 persons 5.800 kg LxBxH 9,00 x 2,75 x 3,42 9.100 kg Inboard Diesel 25m 	<ul style="list-style-type: none"> 48 persons 7.500 kg LxBxH 10,50 x 2,75 x 3,42 11.460 kg Inboard diesel 28m 	<ul style="list-style-type: none"> 55 persons 8.843 kg LxBxH 12,00 x 2,75 x 3,42 13.380 kg Inboard Diesel 30 m

Tabell 1 fortsetter: Oversikt over Norsafes ulike GES modeller.

GES 45	GES 50 MKIII	GES 52
<ul style="list-style-type: none"> 60 persons 14.492 kg LxBxH 13,54 x 3,58 x 4,20 20.492 kg Inboard diesel 40m 	<ul style="list-style-type: none"> 70 persons 19.500 kg LxBxH 14,90 x 3,75 x 4,50 26.500 kg Inboard diesel 47m 	<ul style="list-style-type: none"> 70 persons 21.840 kg LxBxH 15,75 x 4,16 x 4,85 28.840 kg Inboard Diesel 50m

I oktober 2018 ble Norsafe kjøpt opp av det danske selskapet VIKING, som er den globale markedslederen av sikkerhetsløsninger innen maritim sektor. De har 58 kontorer globalt med 2800 ansatte og en omsetning på rundt 300 millioner dollar. [15]

1.4.2 ZEM Energy AS

ZEM Energy AS er en norsk bedrift som spesialiserer seg på batterisystemer for det maritime markedet. ZEM har utviklet batterisystem for blant annet "2016 ship of the year": "Vision of the fjords", "2018 ship of the year": "Future of the Fjords", og to offshore supplyskip, "Viking Queen" og "Viking Energy". ZEM har også ledet flere forskningsstudier om degradering og gjenbruk av Li-ion batterier og samarbeidet med DNV-GL om retningslinjer for sikker og effektiv bruk av batterier i maritim sektor. Figur 5 viser et bilde av "Vision of the fjords".



Figur 5: Bilde av "Vision of the fjords" [16].

ZEMs kjerneteam har vært involvert i batteri og elektrisk fremdrift siden 1993 og jobbet tidligere med blant annet utvikling av elektriske biler i Think. ZEM er et lite firma med kun fem ansatte. Ved hjelp av samarbeidspartnere som Nidec ASI, har de tilgang til titalls ingeniører og arbeidere som de kan benytte for å gjennomføre komplekse designutfordringer, sammen-setning av batterier, sikkerhetsvurderinger og service.

ZEMs elektriske drivlinje

De siste årene har ZEM utviklet en elektrisk drivlinje til mindre båter. Drivlinjen ble for første gang benyttet i prototypen E-GES 45, som er verdens første fritt fall-livbåt ombygget til elektrisk fremdrift. Det har siden blitt benyttet i ulike oppdrettsbåter og mindre ferger. Drivlinjen er basert på en rekke komponenter som enkelt kan tilpasses ulike båter, og består av et batterisystem, motor, inverter og alarm- og automasjons system. Figur 6 viser prototypen E-GES 45.



Figur 6: Prototypen E-GES 45 [17].

1.5 Markedsbehov og potensiale

Ifølge [6] finnes det i dag ca 100 GES 40 livbåter som er operative på Equinors plattformer. Hvis ombygging av GES 40 vil være aktuelt, kan det potensielt medføre ca 100 ombyggingsprosjekter for Norsafe og ZEM. Ombyggingskostnad for en E-GES 45 er på ca 3 millioner NOK pr. båt [6]. Ved å anta tilsvarende kostnader for ombygging av en GES 40, vil dette potensielt føre til en samlet økt omsetning på 300 millioner NOK.

GES 40 er bare en av mange type fritt fall-livbåter. Det er et stort antall andre fritt fall-livbåter plassert på skip og oljeplattformer globalt. Hvis det lykkes i å standardisere ombyggingsprosessen og skape interesse for ombygging av andre type livbåter, er det et potensielt stort markedsbehov.

1.6 Bakgrunn for valg av oppgave

Etter å ha undersøkt ulike prosjektoppgaver så ble jeg presentert denne oppgaven fra ZEM Energy AS. Dette var en oppgave som kombinerer mye av kunnskapen jeg har ervervet innen maskin ingeniør utdanningen fra NMBU med en innsikt i elektriske systemer og skipsdesign. Jeg syntes dette virket som en spennende oppgave der jeg kunne benytte tilegnet kunnskap i praksis, samtidig som jeg fikk muligheten til å lære mer om den maritime sektoren. En annen viktig faktor var at oppgaven var basert på et ønske fra næringslivet, noe som indikerte at prosjektet var høyst relevant og kunne gi god jobberfaring.

1.7 Oppdragsbeskrivelse

Oppdraget fra Norsafe og ZEM går ut på å undersøke om ZEMs drivlinje og Norsafes tekniske løsninger benyttet i E-GES 45, kan implementeres i andre typer fritt fall-livbåter. Som et ledd i prosessen ønsker de at det gjøres en mulighetsstudie for ombygging av GES 40 til elektrisk fremdrift. GES 40 er en mindre og mer kompakt båt en GES 45, og det er derfor større utfordringer rundt plassering av komponenter. Tanken er at hvis det er mulig å implementere systemet i denne båten, viser det at det også vil være mulig i en rekke andre båter. Et annet ledd i prosjektet er å undersøke om mulighetsfasen i ombyggingsprosjektet kan effektiviseres ved å finne standardkomponenter som kan skaleres til ulike båter og en standardisert prosedyre for utførelsen av fasen.

1.8 Problemstillinger og flaskehals

På bakgrunn av oppdragsbeskrivelsen er prosjektet videre konkretisert ved å definere følgende problemstilling og tekniske og funksjonelle flaskehals.

1.8.1 Hovedproblemstillinger

De sentrale problemstillingen som det skal fokuseres på er som følger:

- *Hvordan kan ZEMs elektriske drivlinje og Norsafes tekniske løsninger, benyttet i E-GES 45, implementeres i ombyggingen av GES 40 til elektrisk fremdrift?*
- *Hvordan kan prosedyren og komponentene standardiseres for å effektivisere mulighetsfasen av fremtidige ombyggingsprosjekter?*

1.8.2 Tekniske og funksjonelle flaskehals

For å elektrifisere fritt fall-livbåter er det spesielt fem utfordringer som må løses:

- **Rekkevidde:** Batterikapasiteten må være tilstrekkelig for å tilfredsstillere kravene for rekkevidde og hastighet ved en evakuering. Batteripakken er den største og tyngste komponenten, det er derfor avgjørende å vite batterikapasiteten som kreves før man vurderer plassering og tyngdepunkt.
- **Plassering:** Komponentene må plasseres hensiktsmessig med tanke på andre komponenter, livbåtens arkitektur og relevante sikkerhetskrav.
- **Innfestning:** Ved stup vil livbåtens komponenter bli utsatt for kraftige akselerasjoner. Innfestning av komponenter må designes til å tåle belastningene dette medfører.
- **Tyngdepunkt:** Tyngdepunktet kan ikke endres mer enn $\pm 1,5$ % i forhold til båtens totale lengde (LOA).
- **Strukturell integritet:** Endringer i strukturelle elementer må påvises at opprettholder tilsvarende funksjon som originalt.

2 PROSJEKTPLAN

Prosjektet har et stort omfang og det er derfor nødvendig med en god helhetlig forståelse av oppgaven. Mållrettet prosjektstyring er en god metode for å sikre dette. Dette kapitlet beskriver mål, delmål og en tidslinje for når de skal utføres.

2.1 Målsetninger

Prosjektmålene er delt opp i hovedmål og delmål.

2.1.1 Hovedmål

Målet med dette mastergradsarbeidet er å undersøke om ZEMs elektriske drivlinje og Norsafe sine tekniske løsninger, som ble benyttet i E-GES 45, kan implementeres i ombygging av GES 40 til elektrisk fremdrift. Arbeidet skal utføres som en mulighetsstudie og vil, så langt det er mulig innenfor tidsrammen som er til rådighet, kunne føre til teknisk design for en slik løsning og et forslag til en standardisert prosedyre for mulighetsfasen til fremtidige ombyggingsprosjekter.

2.1.2 Delmål

Følgende delmål inngår for å oppfylle hovedmålene:

1. Planlegge prosjektet og definere mål, avgrensinger og metodebruk.
2. Samle inn informasjon om relevant teori, teknologi og eksisterende løsninger.
3. Sette opp produktspesifisering basert på kundens ønsker og relevante krav.
4. Utføre rekkeviddeberegninger.
5. Velge komponenter, bestemme plassering og utføre tyngdepunktregninger.
6. Designe innfestningsmetoder og øvrige nødvendige systemer.
7. Ferdigstille konseptet og utføre styrkeberegninger.
8. Utføre kvalitetskontroll samt kostnads- og miljøanalyse.
9. Utarbeide en standardisert prosedyre.
10. Rapportere alle trinnene i prosjektet.

2.1.3 Tids og arbeidsplan med milepeler

På grunn av prosjektets omfang, ble det påbegynt allerede høsten 2018 med planlegging, kommunikasjon med bedriftene og informasjonsinnhenting. For å få oversikt og planlegge tidsbruken av de ulike delmålene i prosjektet, ble de satt opp i et Gant-diagram med tilhørende milepeler. Milepelene definerer når delmålene skal være utført og gjør det lettere å måle fremgangen i prosjektet. Tabellen viser en oversikt over prosjektets milepeler og Tabell 3 viser tids og arbeidsplanen i et Gant- diagram.

Tabell 2: Oversikt over milepeler i prosjektet.

	Milepeler	Dato		Milepeler	Dato
1	Planlegging	12.01	6	Innfestning og systemer	10.03
2	Innsamling av data	20.01	7	Ferdigstille konsept	30.03
3	Produktspesifisering	03.02	8	Kvalitetskontroll og analyse	20.04
4	Rekkevidde beregning	09.02	9	Standardisere prosedyre	01.05
5	Komponenter og plassering	24.02	10	Skrive og levere rapport	12.05

Tabell 3: Tids og arbeidsplan, Gant-diagram.

Aktivitet \ Uke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Planlegging		1														Påskeferie					
Innsamling av data					2																
Produktspesifisering						3															
Rekkevidde beregning							4														
Komponenter og plassering								5													
Innfestning og systemer									6												
Ferdigstille konsept										7											
Kvalitetskontroll og analyse												8									
Standardisere prosedyre																			9		
Skrive og levere rapport																					10

2.2 Begrensinger

Mastergradsarbeidet skal ha et omfang på ca 900 bruttotimer. På grunn av prosjektets størrelse, ble det derfor valgt å kun fokusere på de overordnede utfordringene og ikke gå inn på detaljnivå på følgende områder:

- Systemtekniske avgrensinger mellom de elektriske komponentene og brukergrensesnittet.
- Ventilasjonssystem for passasjerer og gassvakuering av batterirom.
- Kjølesystem for de elektriske komponentene.
- Utvendig og innvendig sprinkleranlegg.
- Innfestninger for mindre komponenter.

Videre vil valg av komponenter og løsninger baseres i hovedsak på hva som er benyttet tidligere. Denne fremgangsmåten ble valgt for å redusere omfattende testing og verifisering av eventuelt nye løsninger, og for å kunne gjennomføre mulighetsstudien på den tiden som er til rådighet.

Øvrige begrensninger:

- Det vil kun bli utført grunnleggende styrkeberegninger på innfestning av batterier og modifisert støttevegg. For de øvrige innfestningene antas det at de enkelt kan dimensjoneres til å tåle belastningen.
- Det vil kun bli utført en estimert miljøanalyse.
- Produksjon og montering av løsningen er tatt med i vurdering av løsninger, men det er ikke laget noen detaljert beskrivelse av hvordan dette kan utføres.

Begrensingene er gjort på bakgrunn av at dette prosjektet er et mulighetsstudie. Hensikten er å undersøke om prosjektet kan utføres og til hvilken pris. Videre detaljering av prosjektet vil være en naturlig del det videre arbeidet, hvis det blir valgt å gå videre med prosjektet.

3 METODEBRUK

God metodikk er viktig for å sørge for systematikk, effektivitet og kvalitet av arbeidet. I dette kapitlet beskrives metodikk og terminologi som er benyttet i prosjektet.

3.1 Terminologi

I dette delkapitlet beskrives begreper, forkortelser, symbolbruk og beregningsformler benyttet i rapporten. Det defineres også nullpunkt og retning for koordinatsystem.

3.1.1 Begreper og forkortelser

Tabell 4 viser begreper og forkortelser benyttet i rapporten og fungerer som et oppslagsverk.

Tabell 4: Følgende forkortelser og begreper benyttes i rapporten.

Fagområde	Begrep	Engelsk	Norsk tolkning
Livbåt	Bollard pull	Bollard pull	Trekraft
	Thrustlager	Thrust bearing	Opplager som kan ta opp krefter i aksialretningen
	LCG	Length Center of Gravity	Lengde til tyngdepunkt fra nullpunkt
	Cockpit	Cockpit	Styrehus
	LOA	Length overall	Lengden totalt
	OAH	Height overall	Høyden totalt
	GES	Gravity Escape System	Evakuerings- system basert på gravitasjon
	EGES	Electric-Gravity Escape System	Elektrisk-Tyngdekraft evalueringssystem
	GRP	Glass reinforced polymer	Glassfiber forsterket polymer
	Ringspant		Forsterket innvending ramme
	Styrbord	Starboard	Fartøyets høyres side sett i fartsretningen
Babord	Port	Fartøyets venstre side sett i fartsretningen	
Generell elektronikk	AC	Alternatitig current	Vekselstrøm
	DC	Direct current	Likestrøm
	HV	High Voltage	Høyspenning
	Inverter	Inverter	Spenningsomformer
	IR	Infrared radiation	Infrarød stråling
Utviklings- metodikk	IPD	Integrated product design	Integrert produktdesign
	Gant- diagram	Gant- diagram	Planleggingsverktøy som viser en oversikt over ulike aktiviteter og når de skal utføres
	SCAMPER	SCAMPER	Kreativ utviklingsverktøy

Tabell 4 fortsetter: Følgende forkortelser og begreper benyttes i rapporten.

Fagområde	Begrep	Engelsk	Norsk tolkning
Dataverktøy			
	CAD	Computer Aided Design	Dataassistert konstruksjon
	STEP	Standard for the Exchange of Product Data	Standard fildelings format for 3D modeller.
FEM-analyse	FEM	Fintite-Element-Method	Elementmetoden
		Frictionless support	Rullelagret
		Fixed support	Fast innspent
		Mesh	Elementnett
Elektrisk motor	PM	Permanent Magnet	Permanent magnet
	SynRM	Synchronised Reluctanse Motor	Synkron reluktans motor
	PMaSynRM	Permanent Magnet Synchronised Reluctanse Motor	Permanent magnet synkron reluktans motor
Batteri-teknologi	SoC	State of Charge	Batteriets ladenivå
	NMC	Nickel-Manganesecobalt	Nikkel-Mangan-Kobalt
	OSD	Overcharge safety device	Sikkerhetsenhet mot overladning
	BMS	Battery Management System	Batteristyringssystem
	Solid-state	Solid-state	Fast tilstand. I forbindelse med batterier beskriver det elektroder og elektrolytt i fast tilstand (ikke flytende)
Styrings-system	PLS/PLC	Programmable logic controller	Programmerbar logisk styring
	VCU	Vessel control unit	Fartøys kontrollenhet
	PMS	Power Management System	Kraftstyringssystem
	ESS	Energy Storage System	Energistyringssystem
	SW	Software	Programvare
	HMI	Human-Machine-Interface	Brukergrensesnitt
	I/O	Input/Output	-
Standarder	DNV-GL		Det Norske Veritas
	SOLAS	Safety Of Life At Sea	Maritim sikkerhetsforskrift
	IEC	International Electrotechnical Commission	Den elektrotekniske internasjonale kommisjon
	NORSOK		Norsk sokkels konkurranseposisjon
Diverse	IP	Ingress Protection	Kapslingsgrad av elektrisk utstyr

Tabell 4 fortsetter: Følgende forkortelser og begreper benyttes i rapporten.

Fagområde	Begrep	Engelsk	Norsk tolkning
Diverse	Kvasi- statisk lasttilfelle		Lasttilfelle hvor belastningen blir påført så sakte at den tilnærmet kan regnes som statisk
	CV	Constant Velocity	Konstant hastighet
	NMBU		Norges miljø- og biovitenskaplige universitet
	REALTEK		Fakultet for realfag og teknologi
	HMS		Helse, miljø og sikkerhet
	hp	Horsepower	Hestekrefter
	rpm	Revolutions per minute	Omdreininger i minuttet
		Hotel load	Energibehov utover energi til fremdrift.
	CFD	Computational fluid dynamics	Numerisk fluiddynamikk
	Braketter		Festeanordninger
	Beslag		Tynne plater

3.1.2 Symbolbruk

Tabell 5 viser en oversikt over symboler som er benyttet og fungerer som et oppslagsverk.

Tabell 5: Oversikt over symboler, betydning og enheter.

Symbol	Betydning	SI-enhet
m	Masse	kg
n_D	Propulsive efficiency	-
P_D	Effekt til propell	W
P_E	Effektiv fremdrift	W
R_T	Skrogmotstand	N
V_A	Skroghastighet	m/s
g	Tyngdeakselerasjonskonstanten	m/s ²
M	Moment	Nm
n	Sikkerhetsfaktor	-
b	Bredde	mm
h	Høyde	mm
l	lengde	mm
t	Tykkelse	mm
$x_{x,y,z}$	Avstand i kordinataksene	mm
A	Areal	mm ²
F	Kraft	N
V	Skjærkraft	N

Tabell 5 fortsetter: Oversikt over symboler, betydning og enheter.

Symbol	Betydning	SI-enhet
$M_{ligning}$	Momentligning, uttrykk for varierende moment langs en akse	Nm
E	Elastitetsmodul	MPa
I	Tregghetsmoment	mm ⁴
I_t	Torsjonstregghetsmoment	mm ⁴
M_t	Torsjonsmoment	Nm
M_b	Bøyemoment	Nm
M	Moment	Nm
R_e	Materialets nominelle flytegrense	MPa
W	Motstandsmoment	mm ³
a-mål	Sveisens rotmål	mm
σ_b	Bøyespennning	MPa
σ_N	Normalspenning	MPa
τ	Skjærspennning	MPa
$\tau_{St.V}$	Torsjonsspennning(St.Venans)	MPa
γ	Nedbøyning	mm
l_{eff}	Effektiv sveiselengde	mm
σ_{jf}	Jevnføringsspennning (von Mises)	MPa
σ_{\perp}	Spennning normalt på kraftretning	MPa
σ_{\parallel}	Spennning parallelt med kraftretning	MPa
τ_{\perp}	Skjærspennning normalt på kraftretning	MPa
τ_{\parallel}	Skjærspennning parallelt med kraftretning	MPa

3.1.3 Formler

Tabell 6 viser en oversikt over generelle formler som er benyttet i teori og beregningsdelen. Variasjoner av disse formlene er videre beskrevet i de aktuelle delkapitlene.

Tabell 6: Oversikt over basisformler som benyttes i teori og beregninger [18].

Beskrivelse	Formel	Indeks
Nødvendig effekt fra propell for konstant hastighet [19]	$P_D = \frac{P_E}{n_D} = \frac{R_T * V_A}{n_D}$	3.1
Beregning av tyngdepunkt	$x_0 = \frac{\sum m * x_{x,y,z}}{\sum m}$	3.2

Tabell 6 fortsetter: Oversikt over basisformler som benyttes i teori og beregninger.

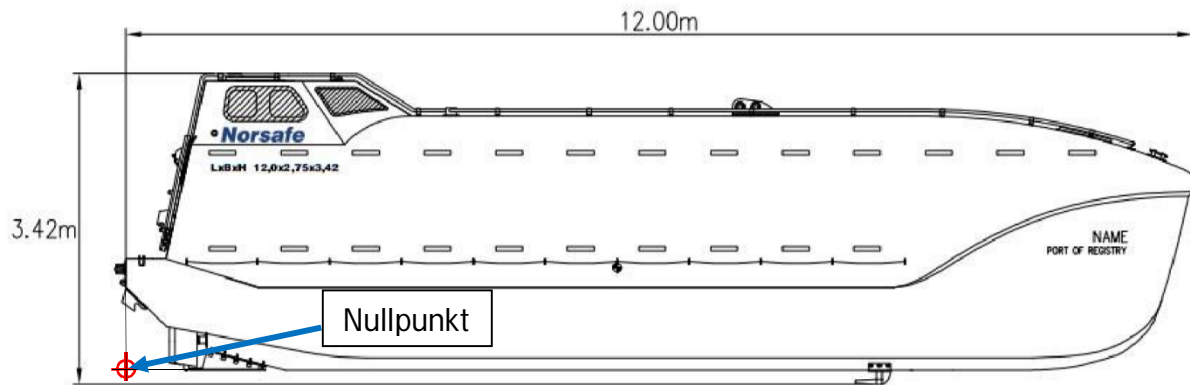
Beskrivelse	Formel	Indeks
Tillatt spenning	$\sigma_{Tillatt} = \frac{R_e}{n}$	3.3
Newtons 2.lov for legemer i ro eller konstant hastighet	$\sum F = 0$	3.4
	$\sum M = 0$	3.5
Tremomentformelen [20]	$M_A \cdot l_1 + 2M_B(l_1 + l_2) + M_C \cdot l_2 = -\sum \frac{6A_1 \bar{a}_1}{l_1} - \sum \frac{6A_2 \bar{b}_2}{l_2}$	3.6
Den elastiske linje	$EI\gamma = -\iint M_{ligning}$	3.7
Motstandsmoment rektangulær bjelke	$W = \frac{b * h^2}{6}$	3.8
Tregghetsmoment rektangulær bjelke	$I = \frac{b * h^3}{12}$	3.9
Bøyepening	$\sigma_b = \frac{M_B}{W}$	3.10
Normal spenning	$\sigma_N = \frac{F}{A}$	3.11
Skjærspenning	$\tau = \frac{V}{A}$	3.12
Torsjonstregghetsmoment for plate (St.Venans) [21]	$I_t = (b - 0,63 * t) * \frac{t^3}{3}$	3.13
Torsjonspenning for plate (St.Venans) [21]	$\tau_{St.V} = M_t * \frac{t}{I_t}$	3.14
Jevnføringspenning (von Mises)	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} * \sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$	3.15

3.1.4 Koordinatsystem

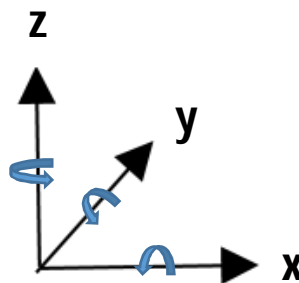
For å ha et referansesystem så ble koordinatsystem og nullpunkt definert. Tabell 7 og Figur 7 definerer systemets nullpunkt, og Figur 8 viser en oversikt over positive retninger i koordinatsystemet.

Tabell 7: Koordinatsystemets nullpunkt og positive retninger i forhold til livbåten.

x	Starter på 0 på bakveggen og blir stigende i båten lengderetning.
y	Starter i det vertikale senterplanet av båten – positiv mot babord og negativ mot styrbord.
z	Starter under kjølen og øker i høyderetningen av båten.



Figur 7: Visualisering av nullpunkt GES 40 [22].



Figur 8: Oversikt over positive retninger i koordinatsystemet. Positive dreieretninger er etter høyrehåndsregelen.

3.2 Utviklingsmetodikk

Det finnes en rekke forskjellige utviklingsmetoder som kan benyttes. Dette prosjektet er formet som en mulighetsstudie innen produktutvikling. Det gjør at det nødvendigvis ikke er én metode som passer for prosjektet. Det vil derfor benyttes en kombinasjon av Stuart Pughs "Total design", integrert produkt design(IPD), SCAMPER og grunnleggende ingeniørfaglig metoder. De ulike metodene er beskrevet videre i dette delkapittelet. Tabell 9 beskriver relevante hovedelementer i metodikken og hvordan disse er anvendt i prosjektet.

Total design: Stuart Pugh utviklet på 1980 tallet et metodesett for produktutvikling og realisering, kalt "Total Design":

"Total design kan tolkes som en sentral kjerne av aktiviteter, som alle er avgjørende for ethvert design, uavhengig av domene. Kort sagt, denne kjernen, designkjernen, består av marked (brukerbehov), produktdesignspesifikasjon, konseptuell design, detaljdesign, produksjon og salg. Alt design starter, eller skal begynne, med et behov som, når det er tilfredsstillt, vil passe inn i et eksisterende marked eller skape et eget marked." - Stuart Pugh [23]

Pugh er mest kjent for å benytte system med metri. Det vil si at alle egenskapene blir målt og kvantifisert i forhold til viktighet og kvalitet. Dette er spesielt hensiktsmessig i seleksjonsprosessen.

Integrert produktdesign (IPD) [24] [25]: Integrert produktutvikling kan beskrives som en filosofi som går på å se hele prosessen som en helhet. Fra kundens behov og tidlig planlegging til produktet gjenvinnes. På denne måten kan en få en bedre oversikt over prosjektet som helhet, og finne den mest økonomiske og effektive løsningen. Hovedhensikten er å gjøre ting i riktig rekkefølge i et koordinert utviklingsløp. For å få til et koordinert utviklingsløp er kommunikasjon og dataflyt mellom fagområdene avgjørende. Dataflyten oppnås gjennom bruk av dataverktøyer som kommunikasjonsform, som bidrar til større tverrfaglighet og samspill mellom fagområdene.

NMBUs og Realteks utviklede/modifiserte IPD har fokus på "fire bein". Disse er utvikling, produksjon, økonomi og HMS, der de bærende elementene er dataflyt og informasjonsflyt. IPDs utviklingsdel er i stor grad basert på Pughs Total design, men fokuserer på å integrere disse fire bein i alle aktivitetene i prosjektet.

SCAMPER: SCAMPER er metode som benyttes for å utfordre den eksisterende konseptutviklingstankegangen. Den er spesielt nyttig hvis man står fast i den kreative prosessen. Metoden går ut på å vri og vende på problemet for å finne nye løsninger. Metoden består av syv forskjellige trinn. Tabell 8 viser de ulike trinnene og hvordan de kan benyttes i praksis.

Tabell 8: Oversikt over SCAMPERS syv trinn [26].

	Engelsk	Norsk	Fortolkning
S	Substitute	Bytte ut	Bytte ut deler eller hele problemstillingen med noe som ligner.
C	Combine	Kombinere	Kombinere andre elementer i problemstillingen.
A	Adapt	Tilpasse	Tilpasse problemstillingen etter diverse forhold.
M	Modify	Modifisere	Modifisere forholdene rundt problemstillingen.
P	Put in other use	Bruk i annen sammenheng	Undersøke om løsningen/problemstillingen kan benyttes i en annen sammenheng.
E	Eliminate	Eliminere	Eliminere deler av problemet.
R	Reverse	Reversere	Snu problemstillingen på hodet. Tenk motsatt.

Tabell 9: Oversikt over hovedelementet i utviklingsmetodikken som vil bli anvendt i dette prosjektet.

Hovedelement	Beskrivelse	Anvendelse
IPD: Helhetlig prosess	Proessen blir sett på som en helhet hvor alle leddene er integrert og påvirker hverandre	Prosjektet vil fokusere på en helhetlig prosess ved å integrere IPDs fire bein i alle delmålene i prosjektet.
IPD: Prosjektplanlegging	For å oppnå en helhetlig forståelse av prosessen, så er prosjektplanlegging en sentral del.	Det vil settes opp hovedmål, delmål og milepeler. Disse planlegges i et Gant-diagram for å få oversikt over helheten og fremdriften av prosjektet.
IPD: Kommunikasjon	For integrasjon av alle leddene i prosessen, er kommunikasjon og dataflyt mellom fagområdene avgjørende	Det vil være tett kommunikasjon med bedriftene for å sørge for at valgene baseres på oppdatert og utfyllende informasjon, samtidig som at tilbakemeldinger og vurderinger kan gjøres fortløpende i prosessen.
IPD: Integrering av dataverktøy	Anvendelse av dataverktøy for å effektivisere prosessen og gi bedre data/informasjonsflyt.	Det vil benyttes CAD programmer til å finne tyngdepunkt, plassere komponenter og designe innfestninger. CAD og 3D modeller vil gjøre det enklere å visualisere løsningene, noe som kan bidra til bedre kommunikasjon.
Total Design: Produktdesign-spesifikasjon	Ut ifra kunden og markedets behov defineres klare produktspesifikasjoner som konseptarbeidet baseres på.	Ønsker fra Norsafe og ZEM kombinert med relevante krav vil bli spesifisert. Konseptarbeid og valg vil bli gjort på bakgrunn av denne spesifiseringen
SCAMPER	SCAMPER er et nyttig verktøy i den kreative prosessen.	SCAMPER vil benyttes i konseptfasen og andre deler av prosjektet som krever kreativ tankegang.
Ingeniørfaglig metode	Problemløsning ved å benytte utprøvde ingeniørfaglige metoder og løsninger	Store deler av prosjektet vil baseres på tidligere fungerende løsninger, standarder og faglige vurderinger.

3.3 Kvalitetssikring

Fritt fall-livbåter som skal benyttes offshore er underlagt strenge krav, må etterfølge en rekke standarder og gjennomgå omfattende tester før bruk. Det er derfor høy grad av kvalitetssikring før produktet kommer på markedet. Standardene som vil bli benyttet i dette prosjektet er utarbeidet av blant annet DNV-GL, IEC og NORSOK, og vil bli nærmere omtalt i kapittel 5.2.

Målet med kvalitetssikringen i denne studien er at løsningen vil oppfylle de relevante kravene, og at kvaliteten på utviklingsarbeidet er tilstrekkelig til at denne rapporten kan benyttes som beslutningsgrunnlag for eventuelt videre arbeid.

Kvalitetssikring av studien vil baseres på internasjonal standard for kvalitetsstyring, NS-EN-ISO 9000 og generelle krav fra kapittel 7 i NS-EN-ISO 9001. For å etterfølge kravene i standardene så vil det blant annet defineres relevante produktkrav i produktspesifikasjonen, og det vil utføres kontinuerlig kontroll av alle utvikling- og analysetrinn i prosessen. Kontrollen vil utføres ved intern kontroll og ved hjelp av tett kommunikasjon med bedriftsveilederne. Ved slutten av konseptutviklingsfasen vil løsningen presenteres for bedriftsveilederne for kvalitetskontroll. Videre vil rapporteringsarbeidet utføres under oppfølging av hovedveileder og styrkeberegninger under veiledning av Egil Stemsrud, senioringeniør ved REALTEK/NMBU. Tabell 10 viser en oversikt over fagpersonell som vil benyttes til kvalitetssikring av prosjektet.

Tabell 10: Oversikt over fagpersonell og hvilke fagområder de vil kontrollere.

Fagpersonell	Tittel/Stilling	Fagområde
Jakob Storjord Andersson	Utviklingsingeniør i Norsafe AS	Fakta og teori om GES 40, E-GES 45. Tekniske løsninger i E-GES 40. Rekkeviddeberegning, plassering av komponenter og tyngdepunktberging.
Egil Mollestad	Dr. ing og CEO i ZEM Energy AS	Plassering av elektrisk drivlinje, Energibehov, systemarkitektur og relevante krav og standarder.

3.4 Beregnings- og dimensjoneringsmetodikk

Styrkeberegninger av løsninger vil bli utført for å undersøke hvorvidt konseptet vil kunne oppfylle relevante krav. Ved komplekse lasttilfeller vil det utføres konservative forenklinger etter ingeniørmessige metoder, og påfølgende håndberegninger og FEM analyser der det er nødvendig. Håndberegninger vil utføres ved hjelp av tekniske tabeller og formler, fagbøker samt kompendium fra dimensjonering og styrkeberegning fag fra NMBU laget av Geir Terjesen, førsteamanuensis REALTEK/NMBU.

FEM analyse står for Finite Element Method og kalles på norsk elementmetoden. FEM er et analyse- og beregningsprogram som ved hjelp av datasimuleringer løser matematiske og fysiske beregninger. Fra et teknisk synspunkt er det en metode for å dele opp modellen i

mindre strukturelle elementer som kan analyseres separat og vurderes ut fra en global likevekt for strukturen. Elementene er koblet sammen i knutepunkter som kalles noder. Sammenkoblingen av elementer og noder danner et nett som kalles elementnett (mesh). Programmet bruker deretter sannsynlighetsberegninger utfra variansberegninger til å lage en tilnærmet løsning ved å minimalisere feilberegninger. [27]

3.5 Programvare

Anvendelse av dataverktøy vil effektivisere prosessen og gi bedre data/informasjonsflyt. De mest sentrale programvarene som vil benyttes er beskrevet i Tabell 11.

Tabell 11: Programvare som vil benyttes og deres nytteverdi.

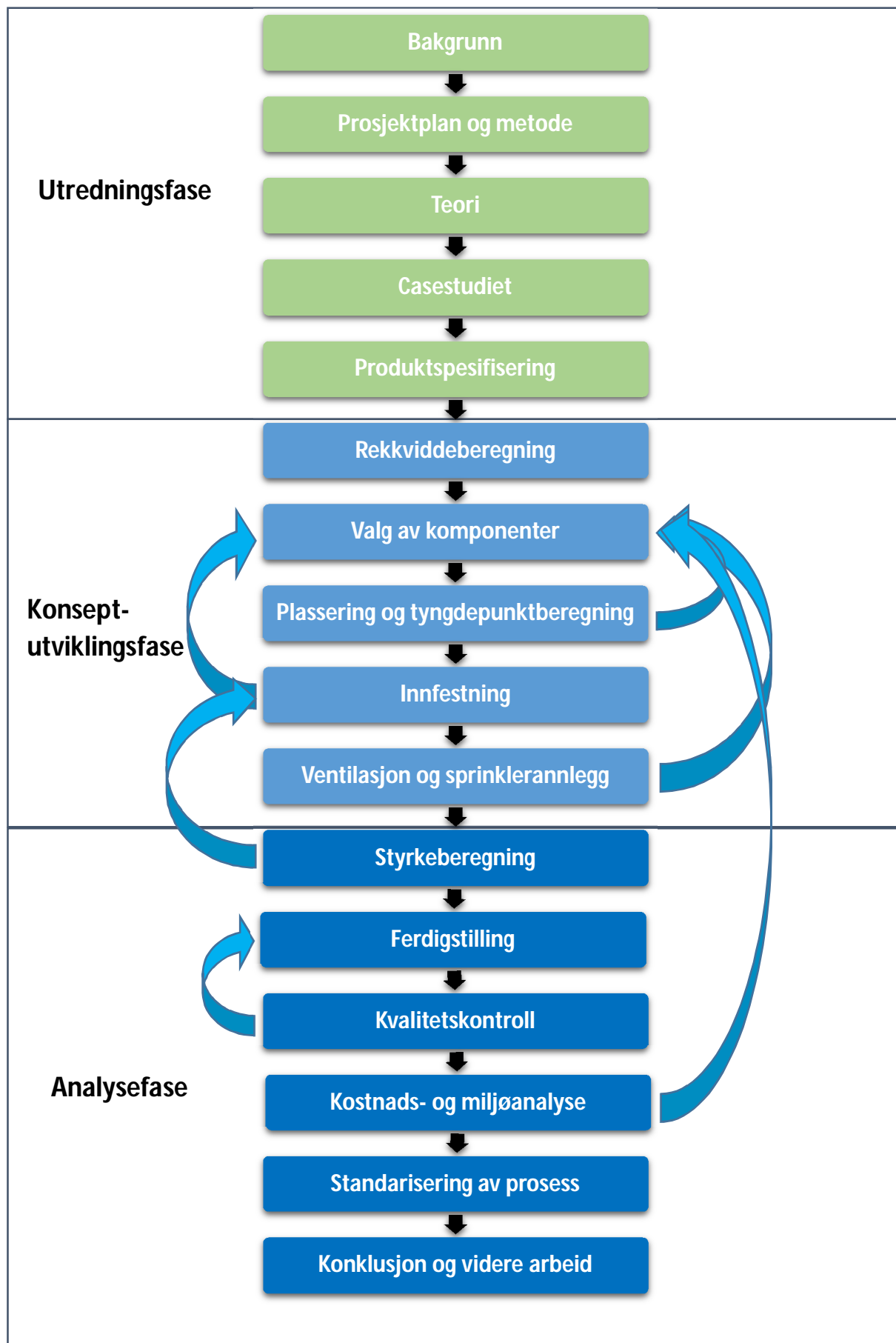
Programvare	Nytteverdi
Autodesk Fusion 360	3D konstruksjonsprogram. 3D modell av GES 40 ble benyttet til plassering av komponenter og tyngdepunktregninger, samt design av innfestningsløsninger.
Microsoft Excel 2013	Regneark-program som vil benyttes til å planlegge prosjektet, tyngdepunktregninger, rekkeviddeberegninger, kostnadsanalyse og miljøregnskap.
ANSYS Workbench 18.1	FEM analyseprogrammet som vil benyttes til styrkeberegning og dimensjonering av innfestninger.
Microsoft Word 2013	Tekstredigeringsprogram som benyttes til å utforme rapporten.
CES Edupack 2018	Program som inneholder en materialdatabase og analyseverktøy. Det vil benyttes til valg av materialer.

3.6 Litteraturstudie

Litteraturstudiet vil omfatte bedrift- og produktinformasjon, fagbøker, produktkataloger, kompendier fra fag ved NMBU og nettsteder. Det vil innhentes informasjon fra bedriften om deres produkter og løsninger. Fagbøker vil bli brukt i forbindelse med teori og teknologi-utredning. Kompendier fra styrkeberegningfag ved NMBU vil bli brukt i forhold til beregningsarbeid. Produktkataloger vil bli brukt for å vurdere ulike komponenter og finne tekniske spesifikasjoner. Nettsteder vil bli brukt til å supplere punktene som er nevnt over og til å finne figurer til rapporten.

3.7 Prosesstrinn

I tråd med Total design og IPD ble følgende prosesstrinn satt opp som vist på Figur 9. Hensikten med figuren er å få en bedre oversikt over de avgrensede stegene og samtidig klargjøre deres sammenheng og påvirkning på hverandre. Pilene på Figur 9 viser at prosessen vil være iterativ, det vil si at det stadig kan komme ny informasjon som fører til endringer i tidligere ledd. Dynamikk i prosessen er derfor viktig for enkelt å kunne gjøre endringer underveis. Ved å benytte IPD vil flere aspekter bli vurdert i hvert prosesstrinn, noe som vil føre til færre iterasjoner og potensielt redusert tidsbruk.



Figur 9: Prosesstrinn med forbedringsiterasjoner.

4 TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING

Dette kapittelet beskriver relevant teori og teknologiunderlag benyttet i prosjektet.

4.1 Batteriteknologi

For å benytte batterier i fritt fall-livbåter, er det spesielt to egenskaper som er viktig; sikkerhet og spesifikk energitetthet. Dette delkapittelet gir en kort innføring i batteriteknologi og ser spesielt på Li-ion teknologien og dens potensielle utvikling.

4.1.1 Batteri

Siden slutten av 1700-tallet har betegnelsen batteri blitt benyttet for å beskrive elektromekaniske celler som er koblet sammen. Felles for disse cellene er at de er bygget opp av en anode som mottar elektroner, en katode som avgir elektroner og en elektrolytt som transporterer ioner mellom dem. Spenningsforskjellen mellom anode og katode angir differansen i potensiell energi, og vil sammen med cellens kapasitet til å transportere elektroner og ioner avgjøre hvor mye elektrisk energi som kan overføres eller lagres. [28] [29]

Et fungerende batteri vil ha åtte grunnleggende egenskaper:

1. Høy spesifikk energi(Wh/kg)
2. Høy spesifikk effekt (W/kg)
3. Prisgunstig
4. Lang levetid
5. Sikkerhet
6. Stort bruksområde
7. Lav toksisitet
8. Kort ladetid



Figur 10: Egenskaper ved et "Octagon batteri" [30].

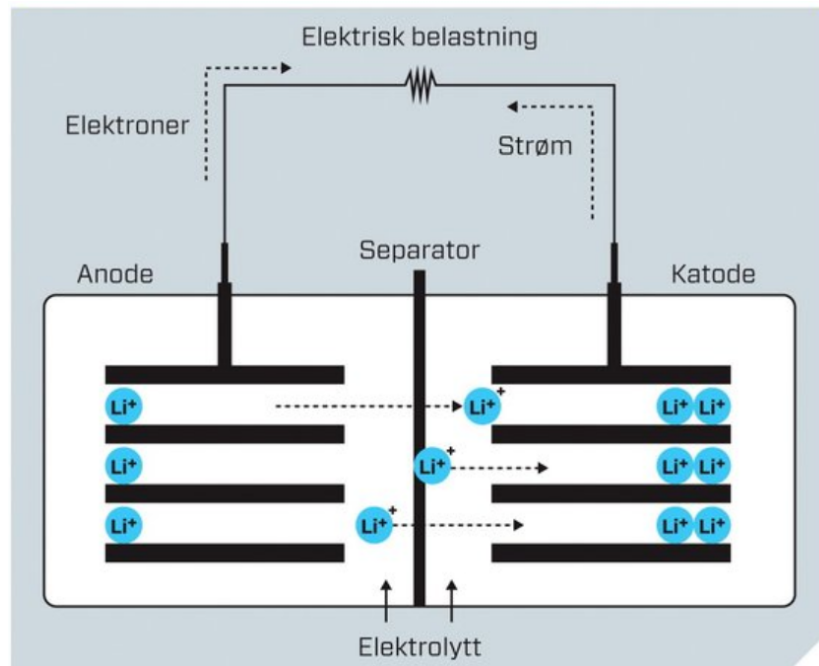
Sammensetning av disse danner det som kalles et "octagon batteri" vist på Figur 10. Et batteri skal helst være en balansert kombinasjon av disse egenskapen tilegnet sitt bruksområde. [30]

4.1.2 Litium batterier

Litium er det letteste metallet, har det største elektrokjemiske potensialet og gir den største spesifikke energien i forhold til vekt. Oppladbare batterier med litiummetall på anoden kan gi veldig høy energitetthet, men det har vist seg å være svært brannfarlig når det blir benyttet over mange sykler. Etter en rekke ulykker på 1980-tallet, skiftet forskning til en ikke-metallisk løsning ved hjelp av litiumioner. I 1991 kommersialiserte Sony det første Li-ion batteriet, og Li-ion teknologien har siden vist seg å være den mest lovende og raskest voksende på markedet. Fordelen med Li-ion batterier er den høye spesifikke energien. Nøkkelen til dette er en høy celledensitet på opp mot 3,6 V, kombinert med evnen til å lagre mange amperetimer per vektenhet. Andre fordeler er stabil utladespenning, lav selvutladning og gode belastningsegenskaper også ved lave temperaturer. [29] [31]

Et Li-ion batteri består ofte av en anode av karbon. Gitterstrukturen i karbon er ideell for å fange litiumatomer, når et Li-ion batteri er oppladet er det fullt av Li-atomer i gitteret. Når det

lades ut vandrer atomene over til katoden, men de legger igjen et elektron slik at det som vandrer over er Li-ioner. Figur 11 viser prinsippet bak en Li-ion celle. [31] [29]



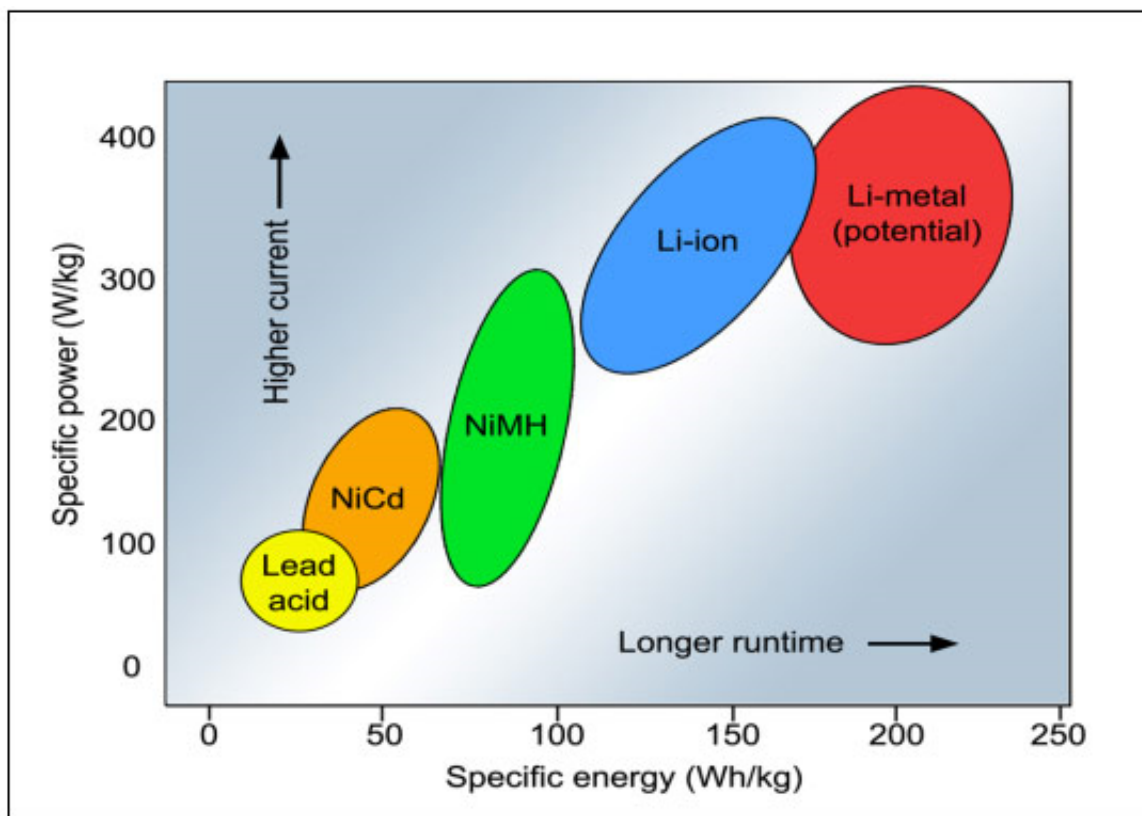
Figur 11: Prinsippskisse av en Li-ion battericelle [29]

18650 er et standard Li- ion batteri som er benyttet i stor grad i en rekke applikasjoner. Det er kun 18 mm i diameter og 65 mm langt. I 1994 var kostnaden for å produsere en Li-ion 18650 sylindrisk celle over 10 USD og kapasiteten var 1100mAh. I 2001 falt prisen til under 3 USD mens kapasiteten steg til 1.900 mAh. I dag finnes det 18650-celler på over 3000 mAh, og kostnadene fortsetter å falle.

Kostnadsreduksjon, økt spesifikk energi og fraværet av giftig materiale har banet vei for å gjøre Li-ion det universelt aksepterte batteriet for bærbare applikasjoner, tungindustri, elektriske motorer og satellitter. Ulempene er behovet for beskyttelseskretser for å forhindre brann, samt høy pris. [31]

4.1.3 Fremtidige batterier

Batterier utvikler seg generelt på to fronter: økt spesifikk energi for lengre kjøretid og forbedret spesifikk effekt for applikasjoner med høye strømkrav. Forbedring av en egenskap for et batteri kan ikke automatisk styrke den andre, og det ender ofte med et kompromiss. Figur 12 illustrerer forholdet mellom spesifikk energi (Wh/kg) og spesifikk effekt (W/kg) for ulike batteriteknologier. [32]



Figur 12: Forholdet mellom spesifikk energi og spesifikk effekt i ulike batteriteknologier [32].

Forbedring i batteriteknologien går sakte fremover. Selv om teoretiske batterimodeller viser bestemte energinivåer som er ti ganger høyere enn kommersiell ekvivalent, forblir de teoretiske. Det har vist seg å være en stor utfordring å møte de åtte grunnleggende kravene til et octagon-batteri. Under er det listet noen av de mest lovende eksperimentelle batteriene [33]:

Litium- luft

Litium-luft er en teknologi som hevder å kunne lagre mye mer energi enn mulig med dagens litiumionsteknologi. Ideen er basert på sink-luft- og brenselcelleteknologi som også "puster" luft. Batteriet bruker en katalytisk luft-katode som forsynes med oksygen, en elektrolytt og en litumanode. Den teoretiske spesifikke energien til litium-luft er 13kWh / kg. Til sammenligning har kommersielle li-ion batterier en spesifikk energi på rundt 200 Wh/kg. Som med andre batterier som puster luft kan effekten være lav, spesielt ved kalde temperaturer. Andre utfordringer er luftrenhet og dannelsen av litiumperoksidfilmer som kan hindre elektronbevegelsen.

Litium-metall (Li-metall)

Batteriet har en anode bestående av litiummetall og har lenge blitt sett på som det fremtidige oppladbare batteriet på grunn av høy spesifikk energi og gode belastningsegenskaper. Ved 300Wh/kg har Li-metall en av de høyeste spesifikke energiene til litiumbaserte oppladbare

batterier. Den største utfordringen er ukontrollert litiumavsetning som kan skape dendritter som beveger seg inn i separatorene, og kan føre til en elektrisk kortslutning. Det er allerede funnet noen potensielle løsninger på dette problemet, men det tar tid å finne en langsiktig sikker løsning.

Solid-state Litium

Solid state-batteriet har i likhet med Li-metall en anode av litiummetall. Forskere prøver å overvinne problemet med dendrittdannelse ved bruk av tørre polymer og keramiske separatorene. Ytterligere utfordringer er å oppnå tilstrekkelig konduktivitet ved lave temperaturer og behov for å forbedre antall sykluser. Solid state-batterier hevder å kunne lagre to ganger mer energi en vanlig Li-ion, men utladestrømmen kan være lav, noe som gjør dem mindre egnet for elektriske strømforsyninger og applikasjoner som krever høy strøm. Måltrettede applikasjoner er midlertidig lagring av elektrisk energi for fornybare energikilder og bruk i elektriske biler.

Litium-svovel (Li-S)

Batteriet består av en anode i litiummetall med en katode av svovel. På grunn av den lave atomvekten av litium og moderat vekt svovel, tilbyr litium-svovelbatterier en meget høy spesifikk energi på 550Wh/kg, omtrent tre ganger så mye som Li-ion. Li-S har en celle spenning på 2,10 V, har gode utladningsegenskaper ved lave temperaturer og kan lades opp ved -60 ° C. Batteriet er miljøvennlig og relativt økonomisk. En utfordring med litium-svovel er det begrenset syklusliv på bare 40-50 ladninger, ettersom svovel går tapt under hver syklus. Det har også dårlig stabilitet ved høyere temperaturer.

Sodium-ion (Na-ion)

Natrium-ion representerer et mulig billig alternativ til Li-ion, da natrium er billig og lett tilgjengelig. Noen celler har 3,6 V, og den spesifikke energien er ca 90Wh/kg. Ytterligere utvikling vil være nødvendig for å forbedre syklusen og løse den store volumetriske ekspansjonen når batteriet er fulladet.

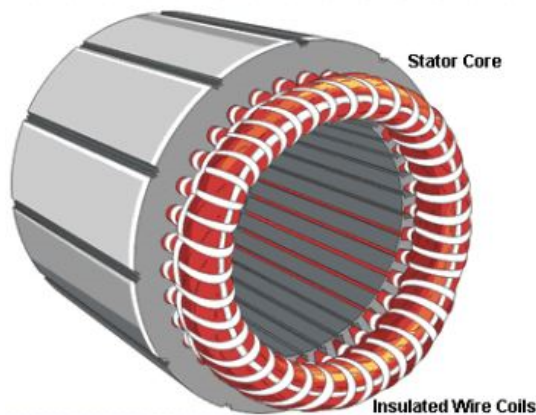
4.2 Elektriske motorer

Det finnes mange ulike elektriske motorer. De som er vurdert i denne oppgaven er av typen permanent magnet motor (PM) og permanent magnet synkron motor (PMSM).

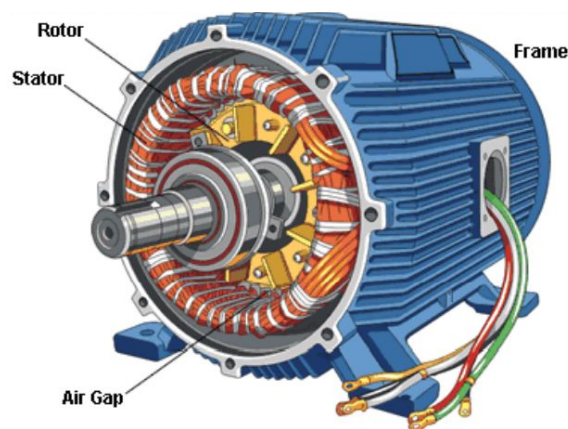
Grunnen til at det er valgt å se på disse motortypene er at de er blant de mest kompakte og effektive motorene på markedet. Dette er viktige produkttegenskaper i en fritt fall-livbåt der vekt og plassering er av stor betydning.

En AC motor kan deles i to kategorier, synkronmotor og asynkronmotor. Motoren består av en rotor og en stator med et roterende magnetfelt. Hovedforskjellen på de to ulike motorene er at i en synkronmotor beveger rotoren seg i samme hastighet som det roterende magnetfeltet i statoren, mens i en asynkron motor henger rotoren alltid litt etter og "prøver å ta igjen" magnetfeltet [34]. Ifølge [35] er synkronmaskinen mest anvendt i generatorer, men er

også veldig effektiv i motorer som brukes på konstante lave turtall og har høyt effektbehov. Figur 10 viser en standard stator som produserer et roterende magnetfelt. Figur 11 viser rotor og stator i en standard asynkronmotor.



Figur 13 Stator [36]



Figur 14 Asynkronmotor [36]

4.2.1 Permanent magnet synkron motor

I en permanent magnet synkron motor så er statoren lik som asynkron motoren, men rotoren består av en permanent magnet. Magneten vil rette seg inn etter statorens magnetfelt og følge det synkront. Ved start av motoren vil det roterende magnetfeltet i statoren bevege seg for raskt til at magneten i rotoren kan rette seg inn. Det kan derfor være nødvendig med en "variable speed drive", som justere hastigheten til statorens magnetfelt i startfasen ved å tilpasse frekvens og spenning. [34]

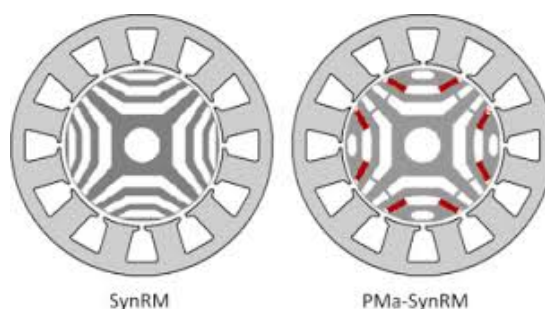
4.2.2 Synkron reluktans motor

Synkron reluktans motor har same design av statoren som en permanent magnet motor, men har et annerledes design av rotoren. Reluktans betyr motstand for magnetisk flux. I reluktans motoren er dette benyttet for å skape spesifikke magnetisk flux baner i rotoren. Når rotoren er rettet inn på statorens magnetfelt, fungerer banene optimalt. Rotoren vil derfor rotere med statorens magnetfelt for å beholde denne posisjonen. Denne motoren bør også få starthjelp ved å benytte en variable speed drive. [34]

4.2.3 Hybride løsninger

For å løse startproblemene til disse motorene kan det også benyttes et gitter av kortsluttede staver rundt rotoren, tilsvarende som i en asynkron induksjonsmotor. Motoren vil da fungere som en asynkron motor i startfasen inntil rotoren er rettet inn til statoren.

Det finnes også hybride motorer som benytter permanente magneter sammen med reluktans motoren til å øke effekten. Disse kalles "Permanent magnets assisted synchronous reluctance motors" (PMaSynRM) [34]. Figur 15 viser en SynRM motor og plassering av permanente magneter på en PMaSynRM motor. Ifølge [34] har PM motor høyest effekt og effektivitet i forhold til størrelse, men krever permanente magneter som både er kostbare og lite miljøvennlig å produsere.



Figur 15: SynRM motor og Plassering av permanente magneter på en PMA-SynRM motor [37].

4.3 ZEMs elektriske drivlinje

ZEMs elektriske drivlinje består av et batterisystem, motor, inverter og alarm- og automasjons system. Drivlinjen er standardisert slik at den enkelt kan benyttes på ulike båter. Noen komponenter må endres etter blant annet båtens arkitektur og effektbehov, men batterisystemet og styringssystemet trenger kun små justeringer.

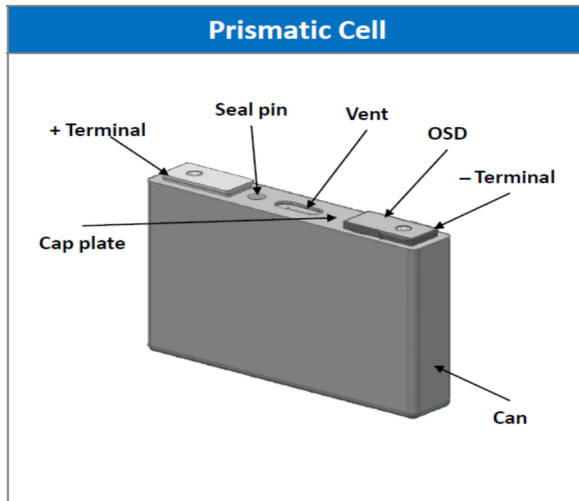
Batteriene som blir benyttet i ZEMs drivlinje er av typen AKAZEM og er en maritim versjon av et batterisystem som Akasol i Tyskland har utviklet for buss og tog industrien. Batteripakken har gjennomgått omfattende testing, og bussversjonen blir blant annet benyttet i Volvo sine elektriske busser. AKAZEM-batteripakken er basert på li-ion celler og sub-moduler fra Samsung. Spesifisering av cellene kan ses i Tabell 12. [38]

En fordel med å bruke standard batteripakker fra bilindustrien, er at de er underlagt krav om at reservedeler skal være tilgjengelig 10 år etter siste enhet er produsert. [38]

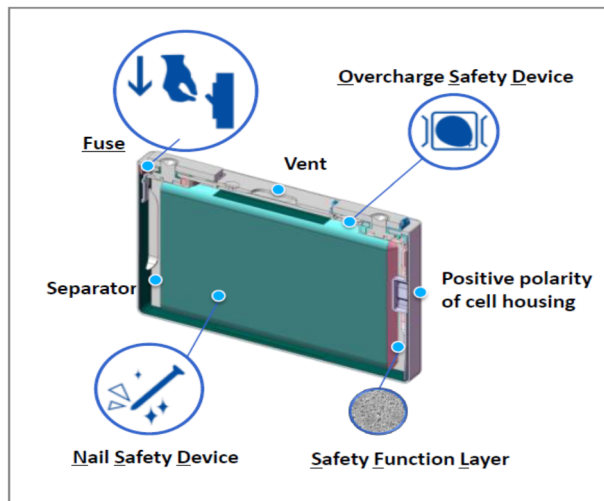
Tabell 12: Battericelle [38].

Celle kjemi:	NMC katode, Grafitt anode
Nominell kapasitet:	37Ah (+/-2.5%) (ved 1C rate)
Spennings område :	3.0 - 4.2V
Temperatur område	-30 - 60°C
Vekt	ca 810 g
Volum	ca 357 mL

Cellen er omsluttet av en aluminiumsboks. Inne i cellen er det en rekke sikkerhetsmekanismer som blant annet intern sikring, OSD (overcharge safety device) og ventilasjon. Et bilde av cellen og diverse tilhørende komponenter er vist i Figur 16 a og b. [38]

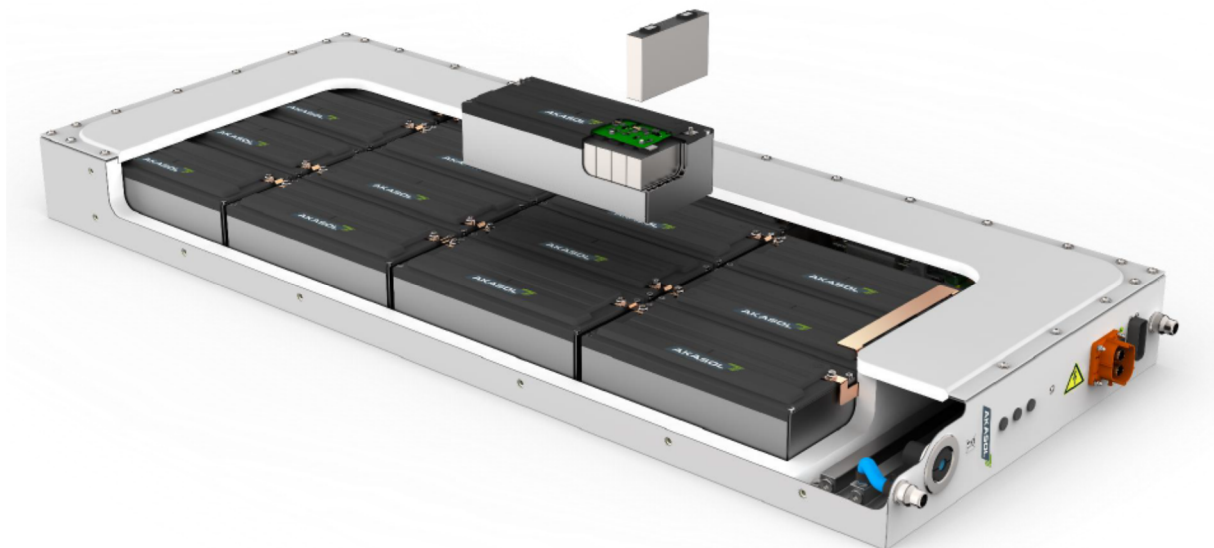


Figur 16a: Oversikt over battericelle [38].



Figur 16b: Oversikt over battericelle [38].

12 celler er seriekoblet og danner en sub-modul. En AKAZEM 15 OEM batteripakke består av 15 slike sub-moduler. Pakken har en systemspenning på 540-756 V, eget BMS (Battery Management System) og kontrollektronikk med kontaktorer, sikringer, "pre-charge" kretser, strøm og spenningmåler. Pakken er bygget i sandwich, med et isolerende kjernemateriale omsluttet av ytterplater av stål. Den har IP67 rating med en "Tex'GoreTex Membrane" i ytterskallet som sikrer at det ikke oppstår overtrykk i pakken. Figur 17 viser en sammenstilling av batteripakken. [38]



Figur 17: Sammenstilling av en AKAZEM OEM 15 batteripakke [38]

Pakken har en kapasitet på 24,4 kWh, veier 253 kg og har ytterdimensjoner på 1700 x 700 x 150 mm. Normalt monteres pakken ved å benytte M8 monteringshull som er innfelt i sideplaten. [38]

Automasjonsystem

Automasjonsystemet bruker en PLS (Programmerbar logisk styring) basert VCU (Vessel Controller) som fungerer som et grensesnitt mellom PMS (Power Management System) og ESS (Energy Storage System). Dette gjør det mulig å benytte standard komponenter fra blant annet bilindustrien uten omfattende programmering. Fordelen med dette er blant annet reduserte utviklingskostnader og økt sikkerhet. PLSen følger DNV-GL- regler for marine systemer og Sjøfartsdirektoratets forskrifter. Den inneholder separate software (SW) moduler til å utføre følgende funksjoner:

- **Kommunikasjonsledd mellom AKAZEM batterisystemet og PMS.**
- **Kontroll av fremdrift.**
- **Brukergrensesnitt (HMI).**
- **Kontroll av lading.**
- **Alarmsystem.**
- **Fjernstyring.**

Disse modulene er designet slik at de kan gjenbrukes i andre prosjekter som benytter lignende komponenter. Det gjør det mulig å standardisere den "intelligente" delen av PLS en, og bidrar til å redusere programmeringstiden for hvert prosjekt. [38]

4.4 GES 40

GES 40 er en av Norsafe sine mange fritt fall-livbåt-modeller. Den ble ifølge Per Olav Pettersen, ingeniør i Norsafe, konstruert på midten av 90-tallet og det finnes i dag rundt 200 båter plassert på både oljeplattformer og skip. Det finnes flere ulike versjoner av GES 40, der den nyeste heter MKII og er den som blir omtalt i dette prosjektet. Tabell 13 viser en oversikt over båtens metriske spesifikasjoner.

Tabell 13: Metriske spesifikasjoner for GES 40 [22].

Type	Omsluttet fritt fall- livbåt
Model	GES-40 MKII T
Lengde	12,00 m
Bredde	2,75 m
Høyde	3,42 m
Dybde	1,31 m
Maksimum installasjonshøyde	30 m
Lengde og vinkel på rampe	14,4 m, 35°
Maksimal kapasitet	55 personer
Vekt, fullt utstyrt	8 842,5 kg
Davit load, med 32 pers@ 82,5 kg	13 380 kg

Livbåten er designet og produsert etter SOLAS og vil sørge for en sikker evakuering av personell fra plattform og skip. Evakuering foregår ved hjelp av en davit hvor livbåten sklir 14,4 m med en vinkel på 35° før den gjennomfører et fritt fall stup. Stupet er designet for å sørge

for minst mulig belastning på passasjerer. Fallet bør også skape fremdrift, slik at livbåten vil bevege seg bort fra det evakuerte området selv om motoren ikke fungerer. Livbåten slippes fra daviten ved å benytte to uavhengige hydrauliske pumpesystemer plassert bak på båten. Hovedsystemet er plassert ved førerposisjon og det andre systemet er plassert slik at de som sitter bakerst i båten også kan aktivere systemet. [22]

Båten er konstruert i brannhemmende glassfiber-polyester kompositt (GRP) med strategisk plasserte tomrom i skroget som er fylt med "polythurene buoyancy" skum. Dette gjør at selv om båten fylles med vann, vil den fortsatt flyte og rette seg opp [22]. Figur 18 og Figur 19, viser GES 40 plassert i daviter på henholdsvis oljeplattform og skip.



Figur 18: GES 40 plassert på oljeplattform [39]



Figur 19: GES 40 plassert akter på skip [39]

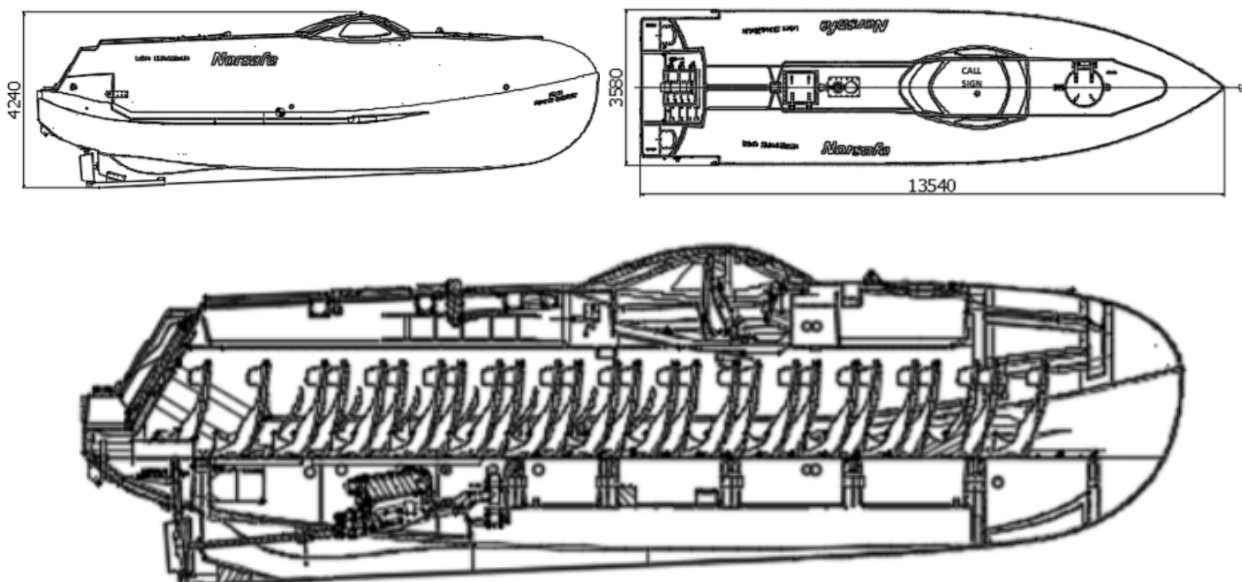
4.5 Casestudie E-GES 45

Norsafe og ZEM har tidligere samarbeidet om elektrifisering av fritt fall-livbåter. I 2017/2018 utviklet de i E-GES45, som er en ombygging av GES45. Den er nå ferdig og har bestått alle nødvendig tester, deriblant dropp fra 40 m. Det er på grunn av suksessen bak E-GES 45 at det nå er interesse for elektrifisering av blant annet GES 40. Det er derfor relevant å se på hva som har blitt gjort i E-GES 45 for å vurdere hva som kan implementeres i GES 40 og hva som bør endres. Figur 20 viser en prototyp av E-GES 45.



Figur 20: Prototyp av E-GES 45 [17].

GES 45 er en 45 fots fritt fall-livbåt som er designet til bruk på både rigger og større skip. Den er designet og produsert i henhold til SOLAS og DNVGL-ST-E406. Båten har en total vekt på 14492kg, en kapasitet på 60 personer og er designet til stup opp mot 40 m [40]. I likhet med GES 40, så er den også produsert i GRP (GES 40 er 40 fot og veier kun 8843 kg). Figur 21 viser tegninger av GES 45 med tilhørende dimensjoner. [38]



Figur 21: Tegninger av GES 45 med tilhørende dimensjoner [40].

4.5.1 Elektrisk drivlinje

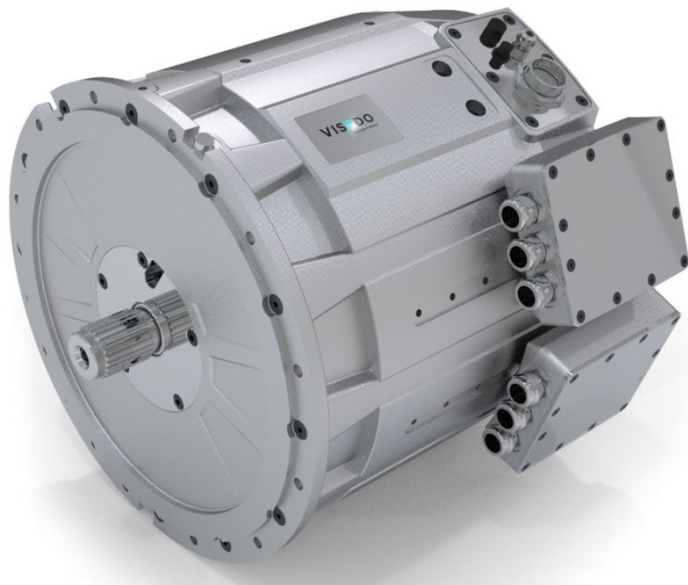
Det er benyttet ZEMs drivlinje med følgende hovedkomponenter:

- Elektrisk fremdriftsmotor.
- Inverter.
- Lader.
- Kontrollskap.
- DC/DC Konverterskap.

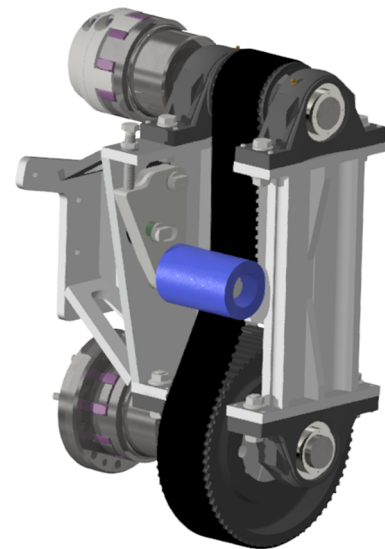
Elektrisk fremdriftsmotor og reduksjonsgir

Det er installert en synkron reluktans motor med permanente magneter fra Visedo. Dette er en kompakt motor med høy energitetthet. Modellen er en PDR-XS-3200 som veier 185 kg og gir en effekt på 155 kW ved 3200 rpm. Motoren er vannkjølt og har en IP65-sertifisering. [41]

For å oppnå ønsket moment og effekt ved riktig turtall er motoren koblet til et beltedrevet fast reduksjonsgir. Giret er spesiallaget av Norsafe til å ha en fast reduksjon på 2,74. Figur 23 viser motoren og Figur 22 viser reduksjonsgiret. [38]



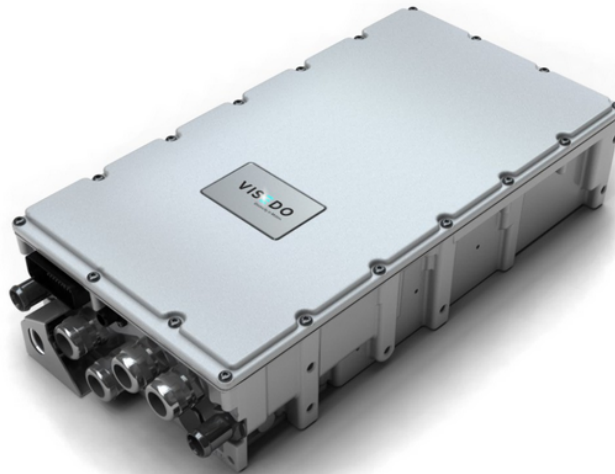
Figur 23: PDR-XS-3200 [38].



Figur 22: Reduksjonsgir [6].

Inverter

Inverteren omformer likestrøm fra batteriene og forsyner motoren med en tre-faset vekselstrøm. Inverteren som benyttes er også fra Visedo. Det er en kompakt vannkjølt enhet som er designet til å benyttes med Visedo motorer. Inverteren er IP67-sertifisert og veier kun 15 kg. Den er designet for en effekt mellom 50-300 kW. Dette gjør at den kan benyttes i en rekke ulike motorer. Figur 24 viser et bilde av inverteren. [38]



Figur 24: Inverter [38].

Lader

AKAZEM batteriene vil normalt utlades med 1-1,5 % hver måned, og kontroll elektronikken krever også noe strøm. For å holde batterienes SoC (State of Charge) på riktig nivå, så er det derfor nødvendig med en batterilader. I EGES 45 så er det benyttet to ladere fra Valeo som er koblet i serie for å oppnå nødvendig spenning på 750V. Laderne er normalt koblet til 230 V AC fra plattformen, og kan lade med en effekt på 3,2 kW. [38]

4.5.2 Systemarkitektur

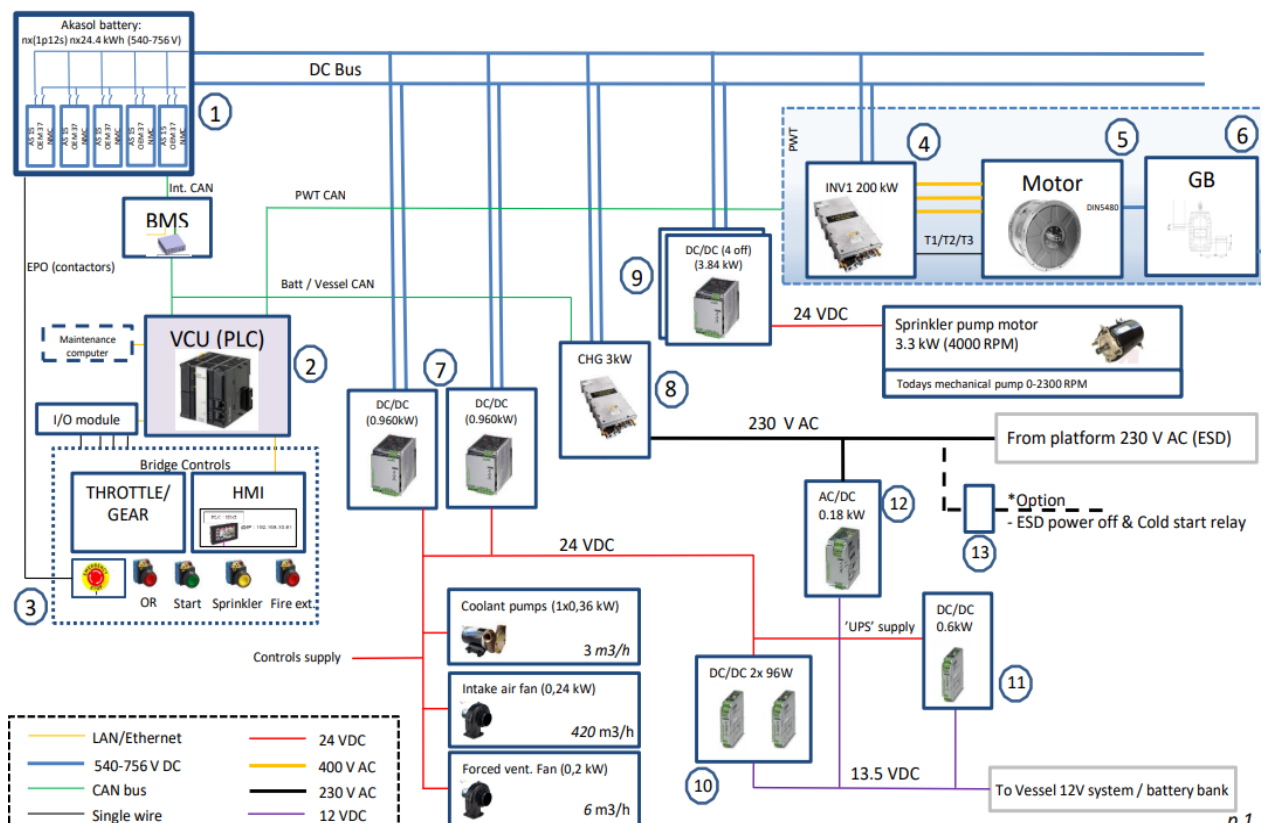
Tabell 14 gir en oversikt og beskrivelse over komponentene benyttet og Figur 25 viser systemarkitekturen i E-GES 45.

Tabell 14: Oversikt over komponenter i systemarkitekturen [38].

Komponent	Beskrivelse
1. AKAZEM Batterisystem	Batterisystem inkludert: BMS, batterikjølesystem, brann- og gassvarsling, sprinklersystem og nødvendig kabling.
2. Vessel controller(VCU)	VCU en er basert på PLS og benytter SW og I/O moduler. Den er linket videre til internett slik at det er mulig å hente data og overvåke systemet.
3. Throttle and HMI kontroll	Elektronisk operert throttle fra Aventics. Brukergrensesnitt (HMI) skjerm fra Omron med nødvendige styringsknapper.
4. Inverter	Visedo fremdrifts inverter.
5. Motor	Visedo PDR-XS-3200, fremdriftsmotor.

Tabell 14 fortsetter: Oversikt over komponenter i system- arkitekturen.

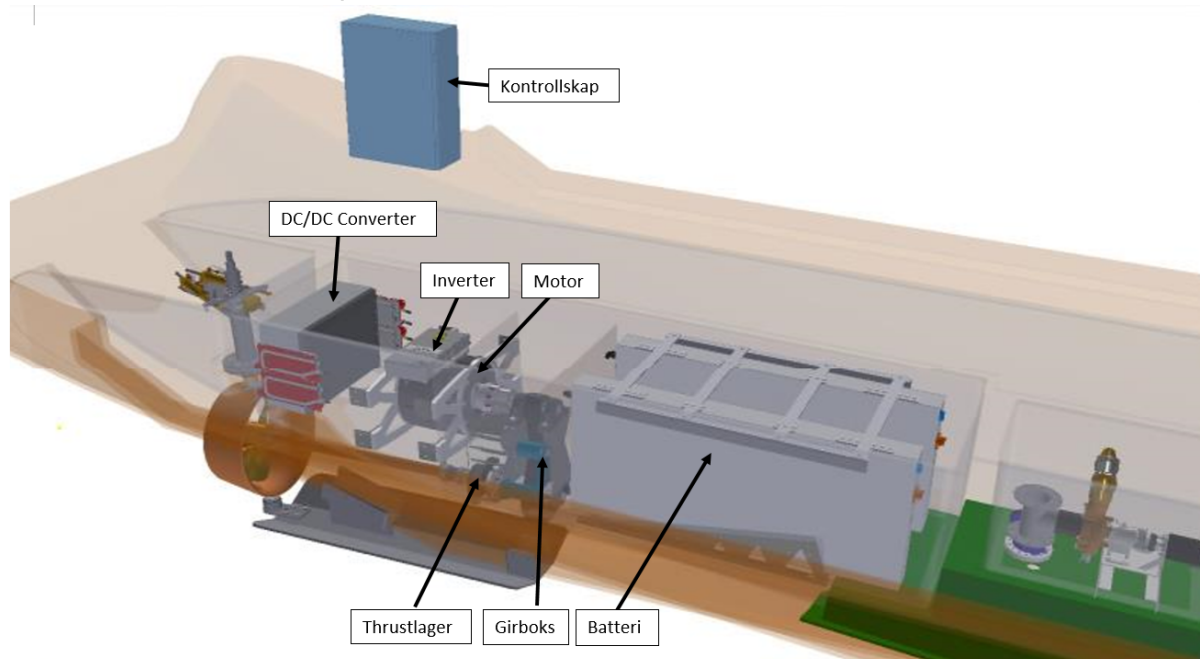
Komponent	Beskrivelse
6. Reduksjons gir	Fast reduksjons gir designet av Norsafe.
7. DC/DC Konverterer	Likestrømsomformer til kjølepumper og diverse vifter.
8. Charger- Lader	Batterilader fra Valeo.
9. DC/DC konverter og sprinkler pumpe	
10. DC til båtens 12 V system	



Figur 25: System arkitektur i E-GES 45 [38]. Se fargekart for system nederst til venstre.

4.5.3 Plassering

I ombyggingsprosessen ble motor, dieseltank, girboks og diverse øvrige komponenter tatt ut. Deretter ble batterier, elektrisk drivlinje og diverse pumper satt inn. Figur 26 viser plasseringsoversikt over de ulike komponentene.



Figur 26: Plasseringsoversikt over komponenter i E-GES 45 [38]

4.5.4 Innfestning

EGES 45 er designet for stup på opp mot 40 m og kan bli utsatt for akselerasjoner opp mot 7G [6]. Tilstrekkelig innfestning av komponenter er derfor svært viktig.

Batteri

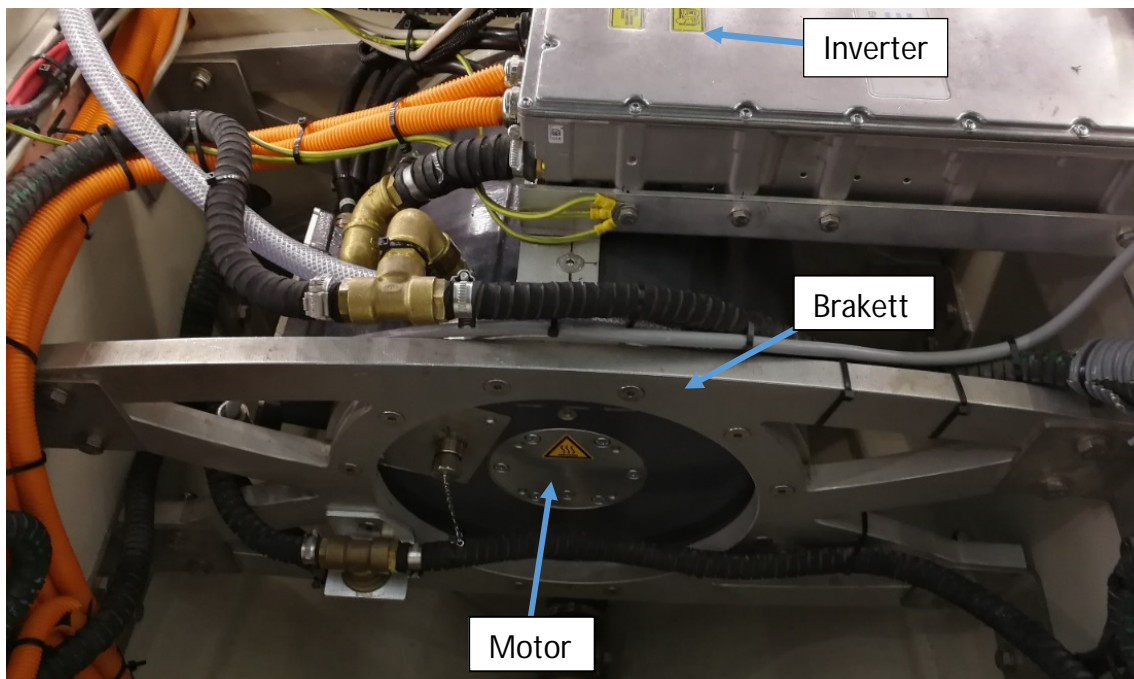
Batteripakkene er festet til hverandre i bunn av skottet og veggene i skottet med beslag og braketter. I veggen er det innstøpt 8mm tykke stålplater som brakettene er festes til. Nederst i skottet er det plassert vinkelbeslag med en festeanordning til sideveggene. Dette holder batteriene på plass i bunn. Figur 27 viser innfestningen.



Figur 27: Batteri-innfestning EGES 45 [6].

Elektrisk fremdriftsmotor

Motoren er festet til skottet ved hjelp av spesialbygde braketter i aluminium. Det er også her innstøpt 8mm tykke stålplater som brakettene festes til [6]. Figur 28 viser innfestningen av motor og inverter.



Figur 28: Innfestning av motor og inverter [6].

4.5.5 Batterirom

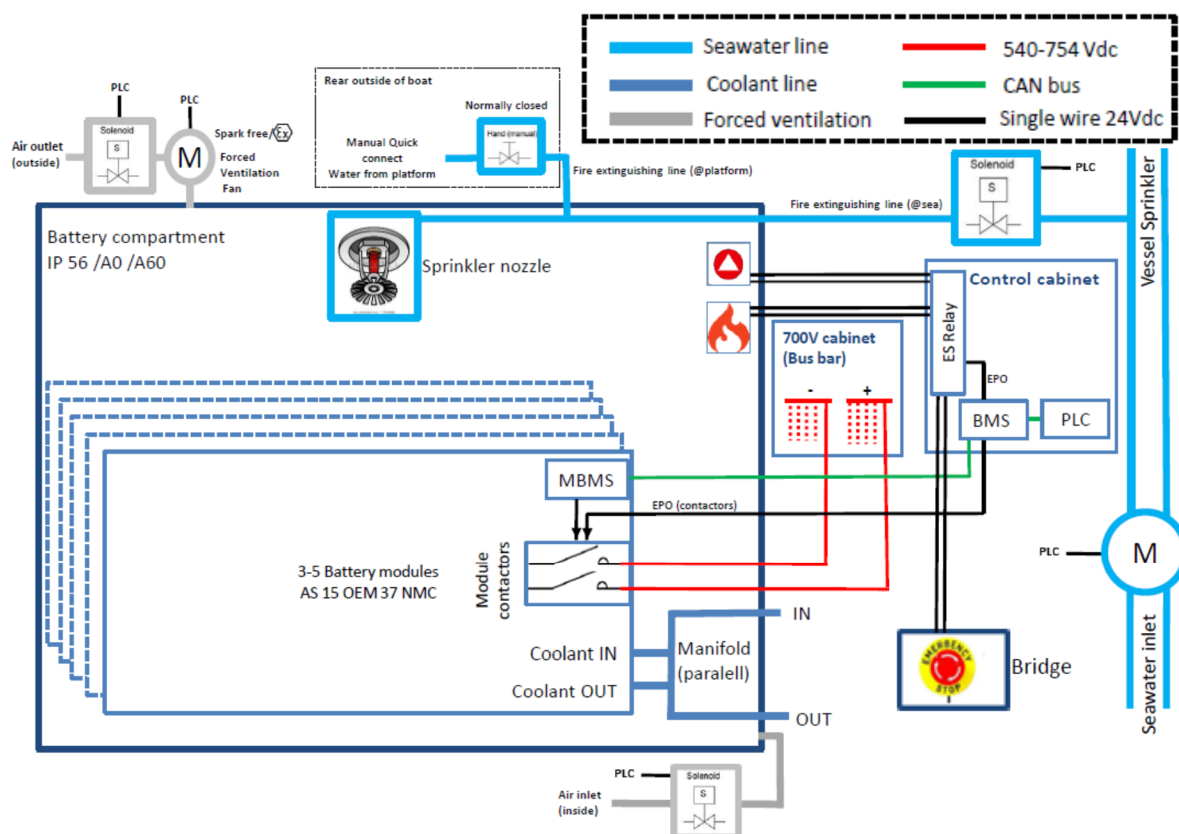
Batterirommet er bygget i samsvar med DNV-GL, Sjøfartsdirektoratet og Equinors krav til batterirom. Det stilles blant annet krav til brannslukning og evakuering av brann/eksplosjonsfarlig gass.

Brannslukning

Et separat vannbasert sprinklersystem er installert i batterirommet og startes automatisk ved brann. Systemet kan også startes manuelt med knapp i cockpit. Sprinklersystemet er designet slik at vann blir sprayet på utsiden av batteripakkene for å kjøle de ned. Batterirommet vil tilslutt bli overfylt med vann for å stanse brannen. Det er montert en ventil i bunnen av rommet til å tømme ut vann når brannen er slukket. [38]

Gassevakuering

Det er montert en gass-sensor i batterirommet. Ved registrering av gass, vil et ventilasjonssystem evakuere gassen fra toppen av batterirommet ved hjelp av en motorroms vifte. Gassen går ut gjennom en enveis ventil som normalt blir holdt åpent av gravitasjonen. Ved stup vil vanntrykket stenge ventilen slik at det ikke slippes inn vann. Batterirommet har også en elektrisk styrt luftventil som åpnes når ventileringen starter. Figur 29 viser brannslukning- og ventilasjonssystemet i batterirommet. [38]

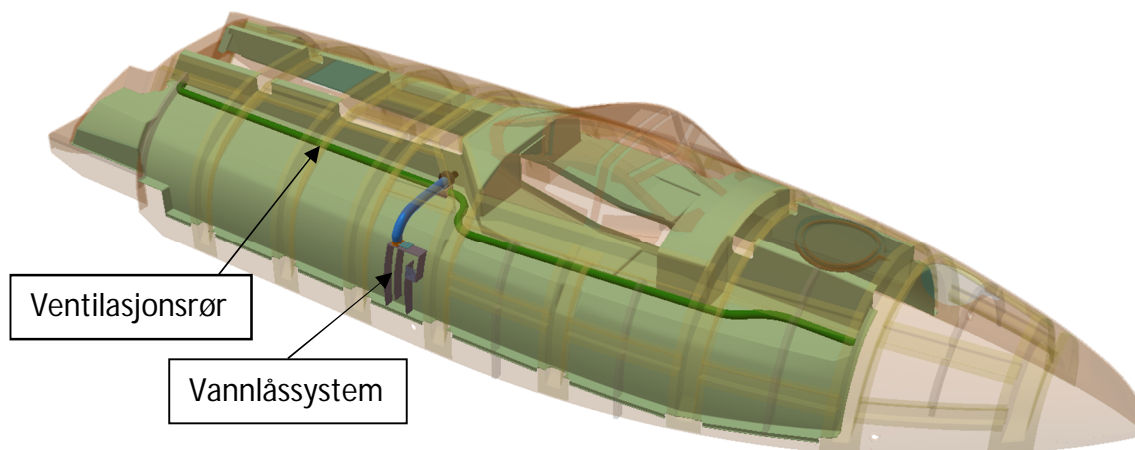


Figur 29: Brannslukning- og ventilasjonssystemet. Se fargekoding øverst [38].

4.5.6 Øvrige systemer

Livbåten er i tillegg utstyrt med en rekke andre systemer:

- Utvendig sprinklersystem:** Livbåten er utstyrt med et sprinkler system som sprayer vann på utsiden av båten ved brann på sjøen. I GES 45 er sprinklerpumpa drevet av dieselmotoren. I E-GES 45 benyttes det en egen 3,3 kW elektrisk motor til dette. Pumpa har en kapasitet på 3 m³/t. Dette er mer enn kapasiteten til pumpa som var installert originalt. En fordel med den elektriske løsningen er at sprinkleranlegget kan kjøres uavhengig av fremdriftsmotoren. [38]
- Ventilasjonssystem:** Originalt ble dieselmotorens luftsuging utnyttet til en slags ventilasjonspumpe. Ved å legge innsugningspunktet til motorrommet i baugen og luft inn på bakkdøra, så ble luften sugd gjennom kabinen. Når det benyttes en elektrisk motor må ventileringen skje ved hjelp av en egen ventilasjonsvifte. I E-GES 45 benyttes et ventilasjonssystem hvor lufta blir sugd inn gjennom en ventilasjonsvifte og distribuert i tre utløp: foran, bak og cockpit. Ved innløpet er det plassert et vannlås-system slik at det er mulig å suge kun luft. Figur 30 viser ventilasjonssystemet. [6]



Figur 30: Ventilasjon- og vannlås-system [6].

- **Kjølesystem:** Motor, inverter og batterier er vannkjølt. Vannkjølekretsen består av en pumpe og en lukket krets som har et kobberør på utsiden av båten for varmeveksling mot sjø. Det er også en ekspansjonstank på bakveggen, slik at den er høyeste punkt i kretsen både på vannet og når båten henger i 35 grader på installasjonen. [6]

5 PRODUKTSPEISIFISERING

I tråd med Pughs Total design er det nødvendig med en klar produktspesifisering som konseptarbeidet kan baseres på. I dette kapittelet beskrives produktmål og krav som den ombygde versjonen av GES 40 (E-GES 40) skal oppfylle.

5.1 Produktmål

For å etterkomme kundens ønsker og hovedmålsettingen for oppgaven, ble følgende produktmål for E-GES 40 satt opp:

- Det skal velges komponenter som er egnet for E-GES 40 og samtidig er kompatibel med ZEMs elektriske drivlinje.
- Nye komponenter skal plasseres hensiktsmessig i forhold til hverandre, gjøre minst mulig inngrep på båtens strukturelle deler og ikke medføre en forskyvning av båtens tyngdepunkt på mer enn $\pm 1,5\%$ av LOA.
- Innfestning av komponentene skal kunne tilfredsstillere relevante dimensjoneringskrav.
- Kjøling-, sprinkler- og ventilasjonssystem skal utføres på en effektiv måte som opprettholder relevante sikkerhetskrav.

5.2 Relevante krav og standarder

For godkjenning av ombygging av livbåter er det en rekke krav som må følges. Tabell 15 viser en oversikt over relevante standarder og forskrifter. I tillegg skal alle nye livbåter etterfølge Statoil TR1055 som referer til DNVGL-ST-E406 standard. Alle avvik mellom TR1055, DNVGL-ST-E406 standard og design skal identifiseres og verifiseres av aktuell bedrift [5].

Tabell 15: Standarder og retningslinjer for fritt fall livbåter [5].

Dokumentnummer	Tittel
DNVGL-ST-E406	Design of free fall lifeboats.
NORSOK R-002	Lifting equipment.
IEC 61892-6 IEC 61892-7	Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 6: Installation, Part 7.
Norsok S-001	Teknisk sikkerhet.
Innretningsforskriften § 10a med veiledning	Tennkildekontroll.
DNVGL regler for marine batterier og marine elektriske systemer.	Krav til batterier og elektriske systemer i marine applikasjoner.

Kravene nevnt i disse standardene må etterfølges for at livbåten skal kunne godkjennes. I mulighetsfasen av dette prosjektet er følgende krav og føringer ansett som utslagsgivende:

- Batterikapasitet og effekt til å kunne gjennomføre en sprint på 10 min ved 4m/s og 10 timer ved 2 m/s.
- Tyngdepunktet kan maksimalt endres med $\pm 1,5$ % i forhold LOA.
- Motor og drivverk skal kunne gi et bollard pull på $0,9 * WE$ (vekt av livbåt med utstyr uten personer).
- Innfestninger skal dimensjoneres for akselerasjoner opp mot 10 g.
- Kontrollskap og DC/DC skap bør plasseres i vanntette skott.
- Det skal være en kapasitet av komprimert luft i flasker om bord til å kunne gi passasjerene frisk luft i minimum 10 minutter.
- Batterirom og motorrom skal være separert.
- Det skal være et sprinklersystem for brannslukning i batteri- og motorrom som kan aktiveres manuelt.
- Alle komponenter skal være mulig å inspisere og bytte ut mens båten er plassert offshore.
- Det skal monteres et gassdeteksjon- og ventilasjonssystem for å evakuere potensiell gass fra batterirommet.
- Motoren skal kunne fungere selv om det er en lekkasje i motorrommet på 40 l/min
 - Motoren bør ha IP67-sertifisering.

De øvrige kravene antas å kunne løses i detaljeringsfasen av prosjektet.

Før livbåten tilslutt kan godkjennes må det leveres følgende rapporter, og livbåten må gjennomgå følgende tester [5]:

- Gapsanalyserapport for å dokumentere forskjellen mellom dieseldrevet og elektrisk livbåt mot DNVGL-ST-E406 standard.
- Analyserapport av fritt fall-testing (fullastet og tom).
- HMI (Human machine interface) rapport.
- Operasjon og vedlikeholds rapport med liste over reservedeler, utskiftningsplan og en preventiv vedlikeholdsplan. Den skal demonstrere redusert vedlikeholds-intensitet.
- Vekttest med dokumentasjon av tyngdepunkt- og oppdriftsenter.
- Geometrimodell av livbåten med og uten ekstrautstyr i STEP format (2 modeller).

6 KONSEPTUELL TILPASNING E-GES 40

På bakgrunn av teori- og teknologiutredningen samt produktspesifiseringen ble det satt opp følgende delmål for konseptarbeidet:

- Utføre rekkeviddeberegninger
- Valg av komponenter
- Plassering med tanke på funksjon, tyngdepunkt og plassbegrensninger
- Justering av elektrisk drivlinje og styringssystem
- Designe innfestninger
- Design av kjøling-, sprinkler- og ventilasjonssystem

Dette kapitlet beskriver utførelsen av delmålene og det endelige konseptet.

6.1 Effektbehov og rekkevidde

For å beregne nødvendig batterikapasitet ble det tatt utgangspunkt i kravene fra Equinor om 10 minutter sprint med minimum hastighet på 4 m/s og påfølgende 10 timer med minimum hastighet på 2 m/s. Disse kravene gjelder rolig forhold med bølgehøyde 0-0,3 m og vindstille. [5]

Ved å benytte skrogmotstandsdata og "propulsive efficiency" faktor for GES 40, vil det være mulig å finne nødvendig effekt til propell. Disse dataene finnes ved CFD beregninger og vanntank tester av skroget. Propulsive efficiency faktor tar høyde for effektiviteten til propellen og hvordan strømmingen rundt skroget påvirker denne effektiviteten. Norsafe benytter vanligvis Marin, et nederlandsk firma som spesialiserer seg på skroganalyser, til å beregne skrogdataene. [19]

Ved å ta med estimat for totalt tap i drivverk og energiforbruk av øvrige komponenter (hotel load) vil det kunne finnes nødvendig batterikapasitet. Formelen for å beregne nødvendig effekt til propell er gitt under:

$$P_D = \frac{P_E}{n_D} = \frac{R_T * V_A}{n_D} \quad (3.1)$$

Hvor n_D : propulsive efficiency, P_D : Effekt til propell

P_E : effektiv fremdrift, R_T : Skrogmotstand, V_A : Båtens hastighet

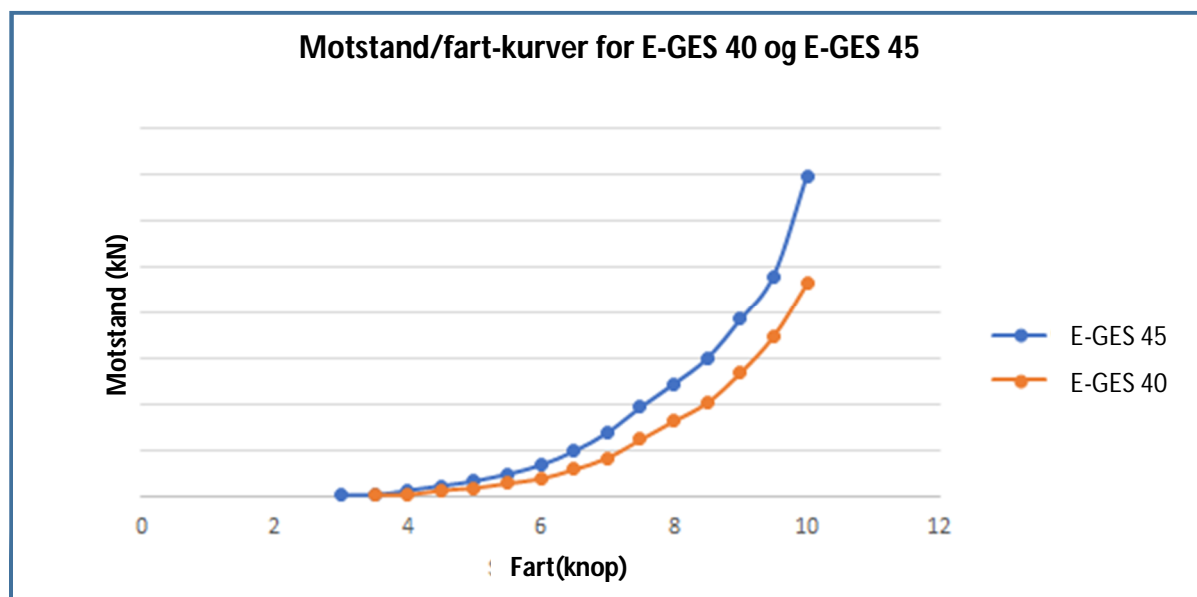
Tabell 16 viser en rekkeviddekalkulator basert på formelen ovenfor som kan brukes for GES 40. Foreløpig er det kun benyttet data fra E-GES 45 i påvente av data på GES 40 fra Marine.

Tabell 16: Rekkeviddekalkulator basert på formel (3.1).

	Prop.eff iciency	Skrog motstand (N)	Effekt propell (kW)	Tap i drivverk	Effekt motor (kW)	Hotell load (kW)	Energi behov (kWh)
2 m/s i 10 timer	48,00 %	583	1,20	4,0 %	2,60	0,5	30,99
4 m/s i 10/60 timer	35,00 %	5004	20,59	4,0 %	61,19	0,5	10,28

Batterisystem	Kapasitet (kWh)	Antall	Totalt (kWh)
Akazem 15 OEM	24,4	2	48,8
Totalt Energi behov (kWh)	41,28		
Installert kapasitet (kWh)	48,8		
Ekstra range ved 2 m/s (h)	2,43		

Fra Tabell 16 ser vi at to batteripakker vil gi tilstrekkelig kapasitet for E-GES 45. Det antas et lavere effektbehovet for E-GES 40 siden dette er en lettere og slankere båt. For å undersøke dette videre ble det utført en estimert motstandsbergingning for de to båtene av Samuel Sills, ingeniør i marin teknikk og konsulent ved ZEM. Figur 31 viser estimert motstand i forhold til skroghastighet.


Figur 31: Motstand/fart-kurver for E-GES 45 og E-GES 40

Grafen på Figur 31 viser at E-GES 40 har lavere skroghastighet enn E-GES 45. Det kan derfor antas at effektbehovet vil være mindre. På bakgrunn av funnene i dette delkapittelet, ble det valgt å ta utgangspunkt i to batteripakker, men med mulighet for å installere tre hvis nødvendig.

6.2 Valg av komponenter

For å se på muligheten for standardisering av komponenter, ble det tatt utgangspunkt i komponentene benyttet i E-GES 45. Det var et ønske fra ZEM om å benytte en annen lader og gassdetektor, da disse ikke fungerte optimalt i E-GES 45. Det ble valgt å benytte en IR detektor av typen Salwico GD10. Det vurderes også å bytte ut laderen fra Valeo med en Continental On-Board Charger.

GES 40 er en mindre båt enn GES 45, og har derfor andre krav til effekt, moment og bollard pull fra drivverket. Det ble derfor nødvendig å se på andre egnede komponenter for motor, gir og thrustlager.

6.2.1 Elektrisk fremdriftsmotor

Et av kravene til motor og drivverk er at det skal gi et bollard pull lik $0,9 \cdot W_e$ [5]. Bollard pull er den skyvekraften propellen utfører i aksialretning når båten akselereres fra stillestående tilstand og W_e er vekten til båten med utstyr og proviant uten personell. For GES 40 er $W_e = 8843$ kg, og nødvendig bollard pull blir derfor lik: $0,9 \cdot 8843 = 7,959$ kN.

Fra en tidligere bollard pull test for GES 40 [42], ble det ved 3300 rpm oppnådd et bollard pull på 9,025 kN. Den originale girboksen har en utveksling på 2,74, det vil si at omdreiningshastigheten på propellen er $3300/2,74 = 1205$ rpm. Den originale motoren på 85 hp vil da ifølge [42] levere opp mot maksimal effekt. Det vil si $85/1,34 = 63$ kW. For å være på den konservative siden, ble det satt som designmål å finne en motor og drivverk som kan gi minimum 68 kW ved 1210 rpm. Ved dette turtallet tilsvarer det et moment på 536 Nm.

I E-GES 45, ble det benyttet en Visedo PDR-XS-3200-T470 på 155 kW ved 3200 rpm. Det var et ønske fra Norsafe og ZEM om å benytte Visedo motor også i E-GES 40, da dette forenkler justeringen og oppsett av den elektriske drivlinjen. Siden ombyggingen av E-GES 45 har Visedo har blitt kjøpt opp av Danfoss.

Det var også et ønske om å se på mulighet for direkte drift fra motor til aksling for å redusere vekt, effekt og vedlikehold. Dimensjoner ved bunn av motorrommet ble målt til: normal bredde 676 mm og 494 mm helt i bunn. Høyden og lengden av motorrommet er henholdsvis ca 718 mm og 2040 mm.

Etter en undersøkelse av ulike motorer, ble konklusjonen at en Danfoss (tidligere Visedo) EM-PMI375-T500-1300 ville vært best egnet. Den har en nominell effekt på 77 kW ved 1300 rpm og kan gi et moment på 567 Nm [43]. Den trenger da ingen giring, noe som vil spare plass og vekt. Med en diameter på 450 mm og lengde på 368 mm, passer den fint i det eksisterende motorrommet. Modellen er lignende den som ble benyttet i E-GES 45 og den kan antas å være kompatibel med den elektriske drivlinjen. Figur 32 viser et bilde av motoren.



Figur 32: Valgt fremdriftsmotor for E-GES 40, EM-PMI375-T500-1300 [43].

6.2.2 Direkte drift kontra gir

Fordelene med direkte drift kontra å benytte en girboks, er først og fremst at det reduserer vekt, plass, vedlikehold og tap i drivverket. De fleste elektriske motorer kan yte opp mot maksimalt moment over et stort turtallspekter og trenger derfor ikke benytte gir i samme grad som en forbrenningsmotor, som ikke har denne egenskapen. Utfordringen er å finne en motor som er designet til akkurat det effekt-, moment- og turtallsbehovet som ønskes. Det kan i noen tilfeller føre til at man må velge en motor med større effekt enn nødvendig, for å oppnå det momentet som kreves. Fordelen med en girboks med fast reduksjon er at det er større grad av frihet til å optimalisere motor i forhold til designkriteriet.

6.2.3 Alternativ motor

Magnomatics har utviklet en elektrisk motor med innebygd magnetgir, Pseudo Direct Drive (PDD). Motoren består av en permanent magnet motor med magnetgiret plassert mellom stator og rotor. Det er en veldig kompakt motor som enkelt kan tilpasses ulike moment behov ved hjelp av magnetgiret [44]. Fra leverandøren ble det oppgitt at en PDD motor med gir tilpasset E-GES 40 sitt behov, vil veie kun 100 kg, ha en diameter på 250 mm og en lengde på 400 mm [6]. Dette er betydelig mindre dimensjoner og vekt enn Danfoss motoren. Den er også kompatibel med standard invertere. Det kan derfor være aktuelt å vurdere å benytte en slik motor hvis det blir store utfordringer med plassering, vekt og tyngdepunkt.

6.2.4 Thrustlager

Vanligvis sitter det et thrustlager i girboksen som tar opp krefter i aksialretningen fra propellen. Ved direkte drift må derfor et separat thrustlager installeres for å skjerme motoren. Fra [42] ble det målt et bollard pull på 9,025 kN. Thrustlageret må derfor dimensjoneres til å tåle dette.

Det finnes et stort utvalg av potensielle thrustlager. Det ble blant annet sett på thrust-ball og -sfæriske lagre fra SKF, Exalto og Maucour. En av utfordringene med disse var at deres standard aksel diameter ikke passer med akselen i GES 40. Det kan eventuelt løses ved å spesialbestille, benytte akseladapter eller en flensforbindelse. I E-GES 45 ble det benyttet et Aquadrive B20 thrustlager. Aquadrive er spesialisert på små marine fartøy og har thrustlager som passer til aksel diameteren i GES 40. En av hovedargumentene for å benytte Aquadrive er at det er blitt benyttet i E-GES 45 og bevist at det fungerer godt. Lageret finnes i mange ulike størrelser, noe som gjør det enkelt å sette opp en standard pakke som vil passe de fleste livbåter. For E-GES 40 vil en Aquadrive B 10 være egnet. Den er dimensjonert for 11 kN thrust, et statisk moment på 2 068 Nm og en motoreffekt på 96 kW [45]. Figur 33 viser en Aquadrive B 10 thrustlager.

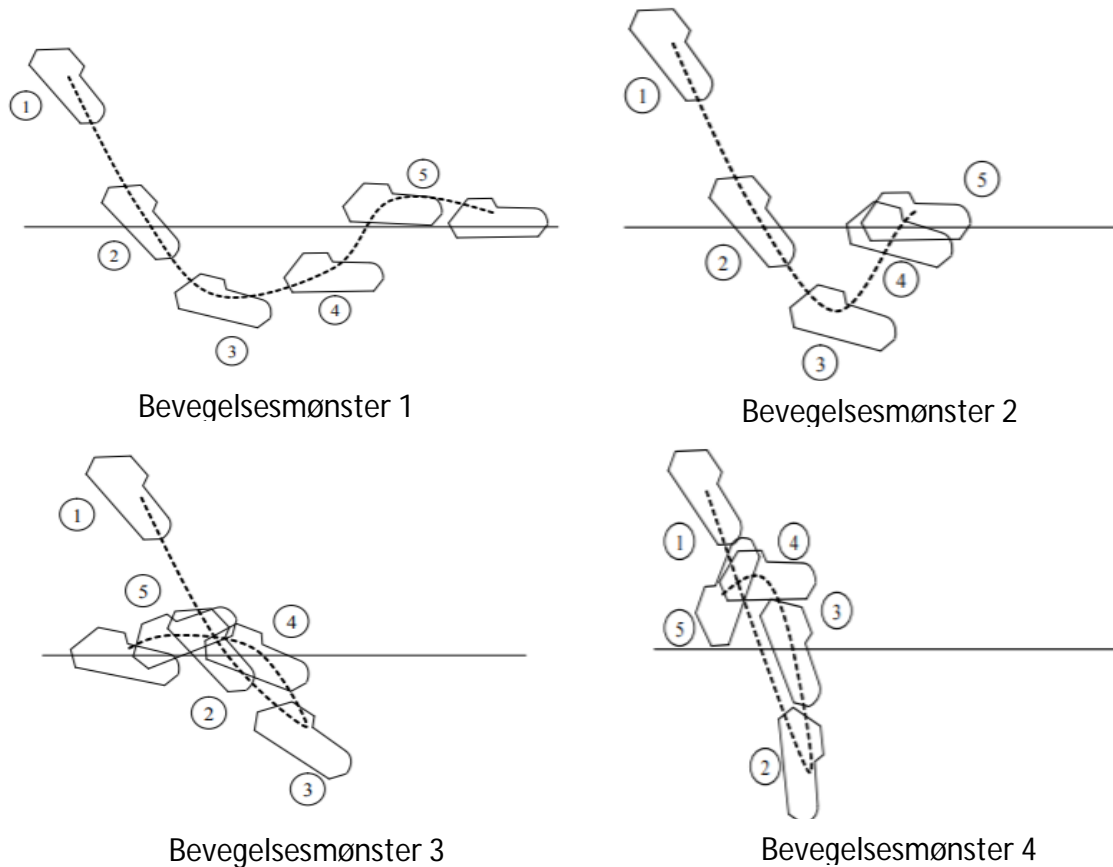


Figur 33: Aquadrive B10 thrust lager [45].

6.3 Tyngdepunkt og plassering

GES 40 er konstruert til å stupe fra opptil 30 m og er designet slik at stupet fører til minst mulig belastning på båt og passasjerer. Tyngdepunktplassering og treghetsmoment er avgjørende faktorer for hvordan stupet utføres. Det er derfor viktig at disse faktoren ikke endres betydelig ved å bytte ut komponenter i båten. Et av kravene fra DNVGL-ST-E406 [46] er at tyngdepunktplasseringen maks kan endres $\pm 1,5\%$ i forhold til total lengde på båten (LOA).

For å illustrere viktigheten av tyngdepunktplassering, er det på Figur 34 vist ulike bevegelsesmønstre for stup. Stupene er designet for å følge bevegelsesmønster 1. Bevegelsesmønster 2 kan forekomme ved store bølger. Bevegelsesmønster 3 og 4 skal ikke forekomme [46].



Figur 34: Bevegelsesmønster ved stup [46].

6.3.1 Komponenter

For å utføre tyngdepunktregninger er det nødvendig å sammenligne vekt og plassering av det som tas ut med det som settes inn. Etter et møte med Norsafe, ble det bestemt at følgende komponenter kunne tas ut:

- **Dieseltank:** Vekt av dieseltank ble funnet fra CAD modell og det ble lagt til 190 liter diesel med (tetthet 0,84 kg/l).
- **Motor og girkasse:** Steyr M0 94 85 hp motor samt ZF25M girboks.
- **Luftflasker m/innfestning**
- **Proviand:** For å muliggjøre plassering av batterier, ble proviant boksene tatt ut. Disse vil bli satt inn igjen, men med en annen plassering.

På bakgrunn av valg av komponenter, casestudiet av E-GES 45 og møte med Norsafe, ble det bestemt at følgende komponenter skal settes inn:

- **Elektrisk fremdriftsmotor:** Danfoss: EM-PMI375-T500 1300
- **Thrustlager:** Aquadrive B10
- **Inverter:** Danfoss: EC-C1200-450
- **Batteri:** 2 x Akazem 15 OEM batterier
- **DC/DC Skap**
- **Kontrollskap**

- **Lader:** Continental on board charger.
- **Motor og pumpe til sprinkleranlegg:** Sprinkler pump 90-80 CPBJ 0
- **Pumpe til kjøling:** Jabsco 23920-2313
- **Ventilasjonsvifte:** Jabsco 35760-0094
- **Motorroms vifte:** For evakuering av røyk/gass batterirom.
- **Gass detektor:** Salwico GD10
- **Luftflasker*:** Det er nødvendig med ca 8000 l luft, dette får vi med 4*12 liters luftflasker ved 200 bar.
- **Proviant:** Proviantboks + 500 g proviant + 1,5 l vann per person. GES 40 har en kapasitet på 55 personer.

* Det er et krav om at livbåten skal kunne kjøre i 10 minutter uten tilførsel av luft for å unnsnippe en eventuell oljebrann [5]. I tillegg til nødvendig luft til personell, trenger også dieselmotoren luft for å fungere. Ved å benytte elektrisk fremdrift er det kun behov for luft til personell.

6.3.2 Tyngdepunktberging

Avstanden fra livbåtens nullpunkt til tyngdepunktet til de ulike komponentene, ble beregnet ved å benytte en 3D-modell av GES 40 og CAD-programmet Autodesk Fusion 360. Vekt av komponentene ble hentet fra produsentens datablader samt informasjon fra Norsafe.

Tyngdepunkt og vekt av komponenter som tas ut og settes inn ble deretter satt inn i et Excel-ark. Arket ble benyttet som et verktøy for å beregne endring av tyngdepunkt, samtidig som ulike plasseringer ble vurdert ved hjelp av 3D-modellen. Tabell 17 viser et utdrag fra Excel-arket.

For å beregne tyngdepunkt ble følgende formel benyttet:

$$x_0 = \frac{\sum m * x_{x,y,z}}{\sum m} \quad (3.2)$$

Hvor m er vekten til komponentene og $x_{x,y,z}$ er avstanden til tyngdepunktet til hver komponent fra nullpunktet i henholdsvis x , y og z retning.

Fra Tabell 7 fra kap 3.1.4 ble nullpunktet og positive retninger definert som følger:

- x – Starter på 0 på bakveggen og blir stigende i båtens lengderetning
- y – Starter i det vertikale senterplanet av båten – positiv mot babord og negativ mot styrbord.
- z – Starter under kjølen og øker med høyden av båten

Tabell 17: Utdrag fra excel arket som benyttes til tyngdepunktberegningen.

Komponenter	Vekt (kg)	z (mm)	z (mm)
GES 40(Komplett båt)	8843	5593	1260
Tas ut			
Diesel motor og girkasse	274	2363	555,9
Tank band 3(Luftflasker)	2,1	7705	400
Tank band4(Luftflasker)	2,1	8355	400
Tank band 2(Luftflasker)	2,1	5875	400
Tank band1(Luftflasker)	2,1	6525	400
Luftflasker Foran	122,3	7988	316
Luftflasker Bak	122,3	6241	316
Proviantboks Foran	41,7	7844	846
Proviant boks ved batteri	41,7	4978	995
Proviant boks 2 ved batteri	41,7	6576	995
Diesel tank	191,6	1092	879
Totalt	843,7	4107,7	615,8
Settes inn			
Luftflasker	59,5	1034	850
Elektrisk fremdriftsmotor	172	2955	396
Kontrollskap	25	1972	824
DC/DC konverter ,24V	65	2635	793
2 stk Akasol batterier	506	4862	543
Inverter	15	3010	702
Thrustlager	15	2017	374
Lader	20	3440	833
Proviant boks 1	88	7696	630
Proviant boks 2	34,0	6251	706
Pumpe til kjøling	4,3	3342	495
Motor til sprinkelanlegg	18	3418	602
Ventilasjonsvifte	2,95	3183	1600
Gassdetektor	1,8	3830	852
Motorromsvifte	2	2851	1700
Innfestninger Batterirom	30	5000	500
Innfestninger Motorrom	20	2800	500
Totalt	1078,6	4254,2	579,9
Differanse	234,9	146,5	-35,9
Nytt LCG		5572,0	1239,1
Endring av LCG		-21,0	-20,9
Endring av LCG i forhold til LOA		-0,18 %	
Endring av LCG i forhold til OAH			-0,61 %
Krav LCA maks +/-		1,50 %	1,50 %

Endring i y-retning antas å være tilnærmet lik null siden de aller fleste komponentene vil plasseres langs senterlinjen av båten (y=0).

6.3.3 Plassering

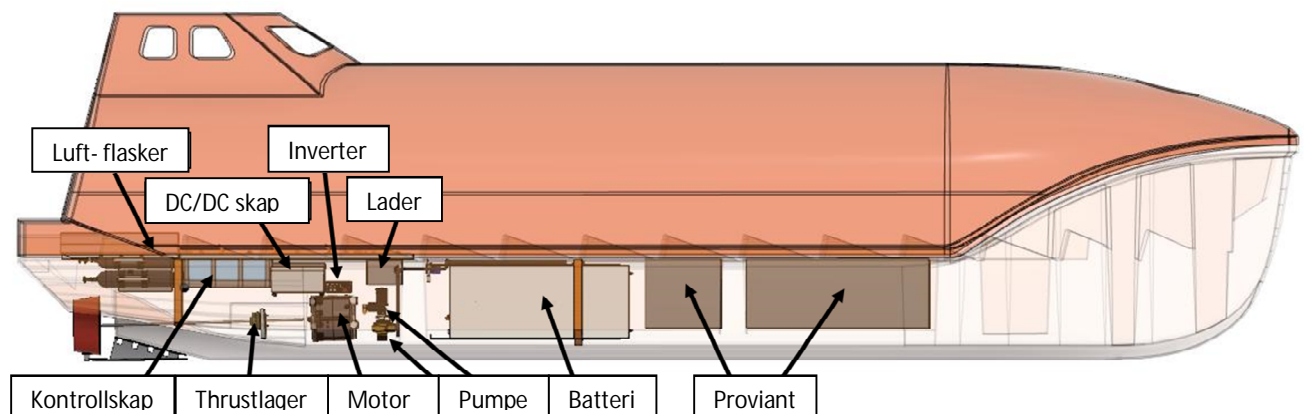
De to viktigste faktorene for plassering er tyngdepunkt og plassbegrensning. Det var et krav fra Norsafe om at det skal gjøres minimalt med endringer i båtenes struktur, da dette kunne medføre omfattende tester for å verifisere at båten har samme strukturelle integritet. Det var derfor viktig å utnytte de rommene som allerede var i båten. Andre viktige faktorer var hvordan komponentene bør plasseres i forhold til hverandre og båtenes komponenter. Vinkel på aksel, båtenes inn/utløp samt hensyn til kabling og gjennomføringer er eksempler på slike faktorer.

For å ta hensyn til de ulike faktorene, ble det valgt å begynne med de komponentene som har størst begrensning i forhold til plasseringsmuligheter, batterier og fremdriftsmotor. Batteripakken er den største og tyngste komponenten. Det ble derfor valgt å begynne med denne og heller benytte plassering av de andre komponentene til å justere det totale tyngdepunktet. På Figur 35, kan man se at batteriet er plassert igjennom en vegg. Denne vegg er fungerer som en støttevegg, og skal kunne hindre skroget i å bøyes inn under stup [6]. Endringer i denne vegg må derfor kompenseres med diverse forsterkninger slik at den strukturelle integriteten og veggens funksjon opprettholdes. For å få plass til batteriet, ble det også nødvendig å ta vekk proviantboksene i dette rommet. Provianten ble senere plassert i rommet foran, da dette var hensiktsmessig i forhold til tyngdepunkt.

Motoren er begrenset av akselen og må derfor plasseres i motorrommet og i forhold til vinkelen på akselen, med mindre man ønsker å sette inn ett CV-ledd på thrustlageret.

De øvrige komponentene ble plassert i forhold til plassbegrensning, funksjon og plassering i forhold til hverandre. Figur 35 viser plasseringsoversikt av komponentene. Denne plasseringen vil, ifølge tyngdepunktberegningene fra Tabell 17, føre til en forskyvning av tyngdepunktet på -0,18 % i forhold til LOA og er godt innenfor kravet fra på $\pm 1,5\%$.

Andre innfestninger og øvrige mindre komponenter som skal settes inn, kan antas å ikke gjøre store endringer av tyngdepunktet. Hvis det utgjør en forskjell kan plassering av batteriene enkelt justeres noen cm frem eller tilbake for å kompensere for dette.



Figur 35: Plasseringsoversikt av komponenter i E-GES 40.

6.4 Elektrisk drivlinje og styringssystem

6.4.1 Drivlinje

Fremdriftsmotor, batteri, inverter og diverse pumper er lignende de som er benyttet i E-GES 45. Dette gjør at de øvrige komponentene og systemene i ZEMs drivlinje kan benyttes med noen små justeringer. Justeringene er hovedsakelig i kontrollskapet, da dette må tilpasses noe etter effektbehov og båtens ekstrautstyr.

6.4.2 Styring

Automasjonssystemet i ZEMs drivlinje vil benyttes og systemarkitekturen vil ligne den i E-GES 45. Systemet styres av en PLS basert VCU. Et HMI-display vil plasseres i cockpit og gjør det mulig å overvåke og styre VCUen og resten av systemet. En gass-spak(throttle) vil plasseres ved siden av rattet og vil i prinsippet kontrollere strømmen til motoren. I cockpiten plasseres også fysiske brytere til motor, pumpe til sprinkelanlegg, brannslukningssystem og nødstop. Figur 36 viser original utforming av cockpiten.



Figur 36: Cockpit GES 40 sett aktenfra.

6.5 Innfestning

Ved stup vil livbåten utsettes for kraftige akselerasjoner og det er derfor nødvendig at innfestningene til komponentene er dimensjonert for dette. For innfestninger i fritt fall-livbåter er det et krav fra Norsafe at det skal dimensjoneres etter en maksimal akselerasjon på 10 g og en sikkerhetsfaktor på 2 [6]. Innfestningene beskrevet i dette kapitlet er forslag til innfestningsløsninger for de tyngste komponentene.

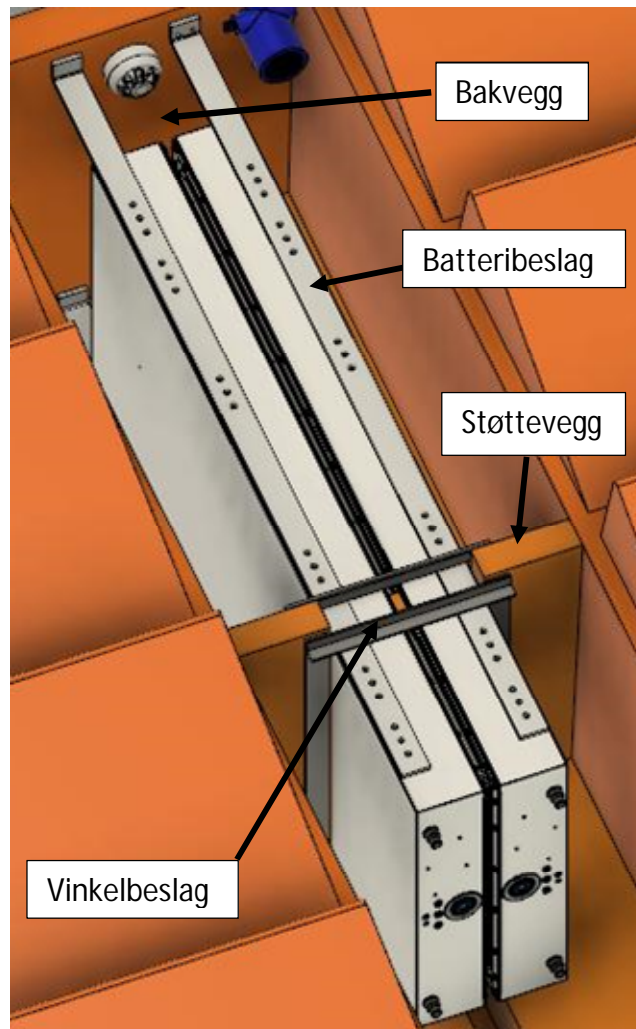
6.5.1 Batterier

For å få plass til batteriene, kreves det at det skjæres hull i støtteveggen i batterirommet. Støtteveggenes funksjon er først og fremst å stive av og hindre at skroget kolliderer ved stup. Denne må derfor forsterkes for at den skal beholde den originale strukturelle funksjonen. Batteriene må også festes tilstrekkelig i forhold til dimensjoneringskriteriene.

Løsningen for innfestning av batterier i E-GES 45 (Figur 27) benytter kraftige vinkelbeslag i underkant av batteriene og beslag på oversiden, de er begge festet til batteriene ved batteriets monteringshull. Batterirommet i GES 40 er mindre og har en støttevegg som må skjæres til og forsterkes. Det kan derfor ikke benyttes tilsvarende løsning.

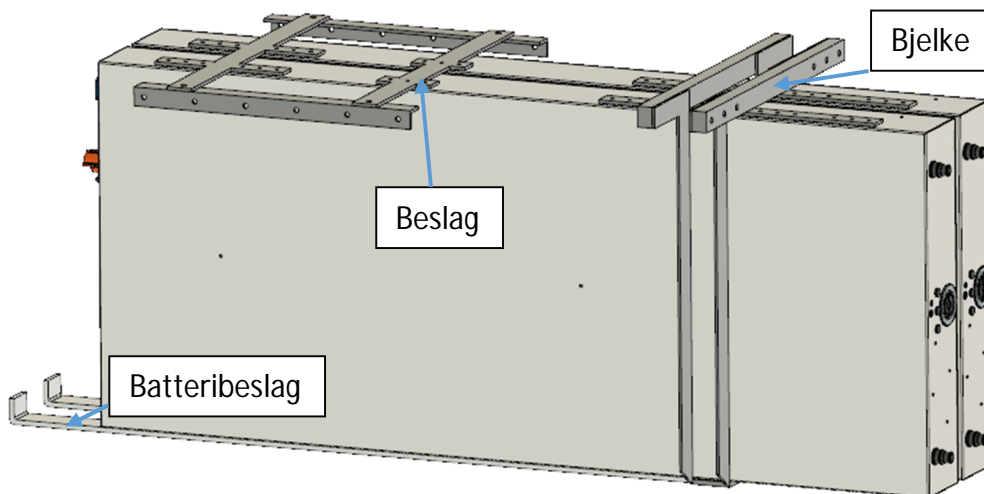
For å redusere bruken av beslag og braketter, ble det valgt å kombinere forsterkningen av støtteveggen med innfestningen av batteriene. Etter en kreativ prosess og tidligseleksjon av konsepter, ble det utarbeidet to ulike løsninger:

- Løsning 1:** På under og oversiden av batteriene vil det festes beslag ved bruk av originale monteringshull i batteriet, disse blir referert til som batteribeslag. Enden av batteribeslagene er festet i en 8 mm innstøpt stålplate i bakveggen i batterirommet. Disse vil holde igjen batteriene langsips og vertikalt. Beslagene vil også festes til støtteveggen ved hjelp av vinkelbeslag på hver side av veggen. Figur 37 viser løsningen.



Figur 37: Batteri-innfestning, Løsning 1.

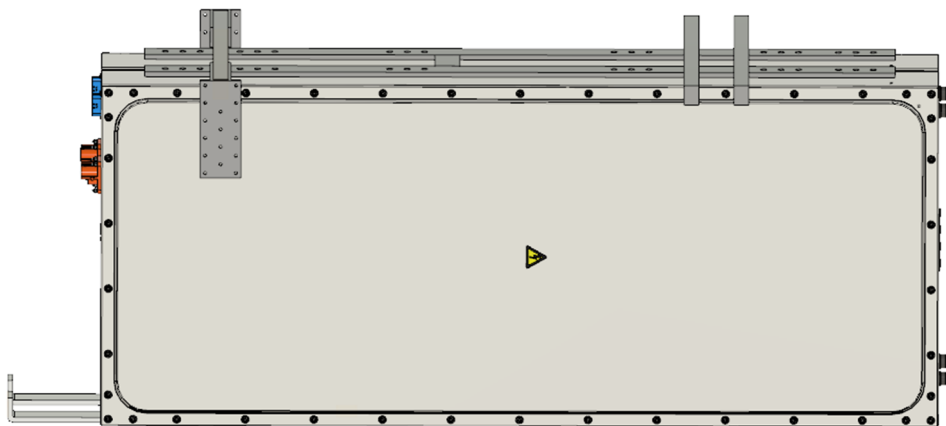
- Løsning 2:** Løsningen er en kombinasjon av løsning 1 og innfestningen av batterier i E-GES 45 (Figur 27). Batteriene festes til støtteveggen og det festes batteribeslag i underkant, tilsvarende som på løsning 1. På oversiden vil batteriene festes til sideveggene ved å benytte beslag som på løsningen benyttet i E-GES 45, og det benyttes bjelker for å feste batteriene til støtteveggen. Figur 38 viser løsningen.



Figur 38: Batteri-innfestning, Løsning 2.

Vurdering av løsninger

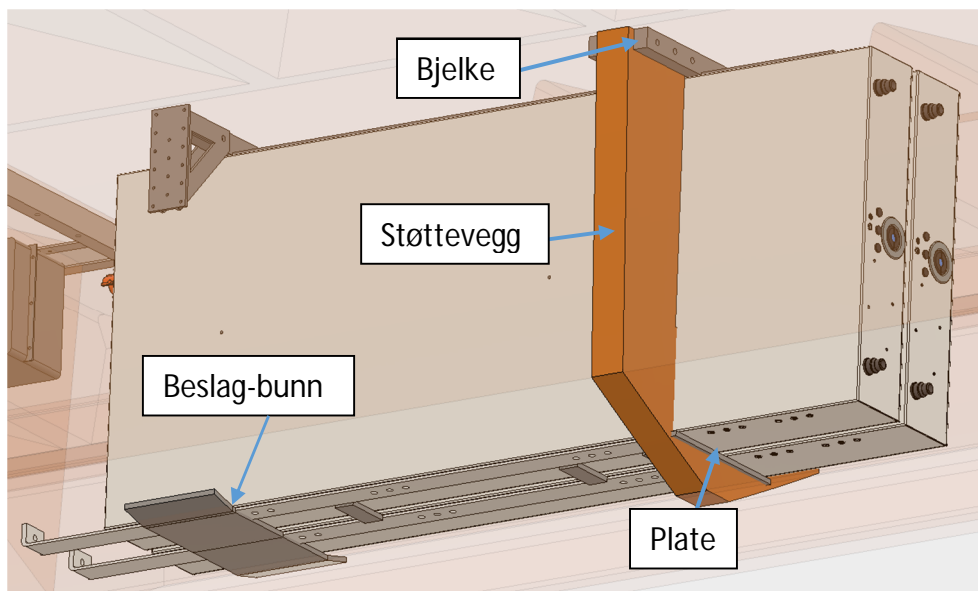
Etter grunnleggende styrkeberegninger, ble det oppdaget at ved løsning 1 og 2 vil det oppstå store bøyespenninger i batteribeslagene og beslagene ved den bakre innfestningen av batteriene. Det ble derfor utarbeidet en ny løsning for å redusere bøyespenningene. Den modifiserte løsningen benytter batteribeslag på over- og undersiden av batteriene, samt en kraftig bjelke plassert lenger bak i batterirommet og bjelker som fester til batteribeslag og støttevegg. Fordelen med de batteribeslagene er at de vil, sammen med batteriene, fungere som en sandwichbjelke med høy stivhet. Dette gjør at det holder med én kraftig innfestning bak og én ved støtteveggen. Det ble også satt på et beslag i bunn, bak på innfestningen. Etter flere iterasjoner med styrkeberegninger og justeringer, ble tilslutt den endelige løsningen som vist på Figur 39.



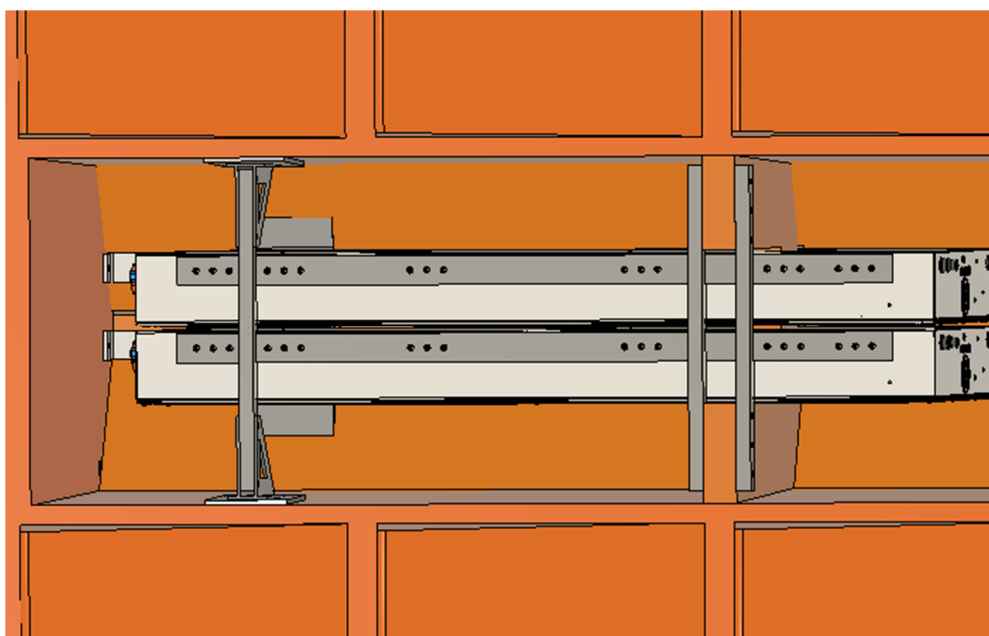
Figur 39: Batteri-innfestning, modifisert løsning.

Modifisering av støttevegg

For å forsterke støtteveggen ble det valgt å feste en 10 mm tykk plate i bunn, og designe kraftige bjelker der batteri-innfestningen er festet til støtteveggen. Disse bjelkene er festet til støtteveggen med gjennomgående M12 skruer og er sveiset til batteribeslagene. De vil derfor både forsterke støtteveggen og innfeste batteriene. Figur 40 og Figur 41 viser batteri-innfestning og forsterkning av støtteveggen.



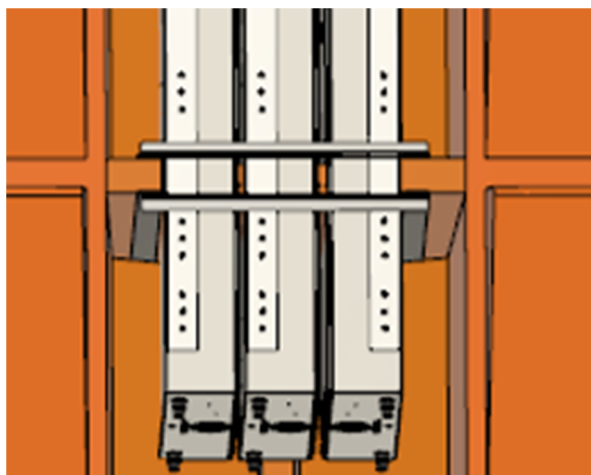
Figur 40: Batteri-innfestning og forsterkning av støttevegg sett skrått nedenfra. Båtens skrog er her gjennomsiktig.



Figur 41: Batteri-innfestning og forsterkning av støttevegg sett skrått ovenfra.

Mulighet for innfesting av tre batterier

Løsningen gjør det også mulig å sette inn flere batterier hvis det er nødvendig med større batterikapasitet. Ved å sette inn et ekstra batteri i tyngdepunktberegningene i Tabell 17, beregnes tyngdepunktforskyvningen til $-0,34\%$ i forhold til LOA. Det vil si at kravet til maksimalt tyngdepunktforskyvning på $\pm 1,5\%$ er overholdt. Figur 42 viser hvordan plassering av tre batterier kan utføres.

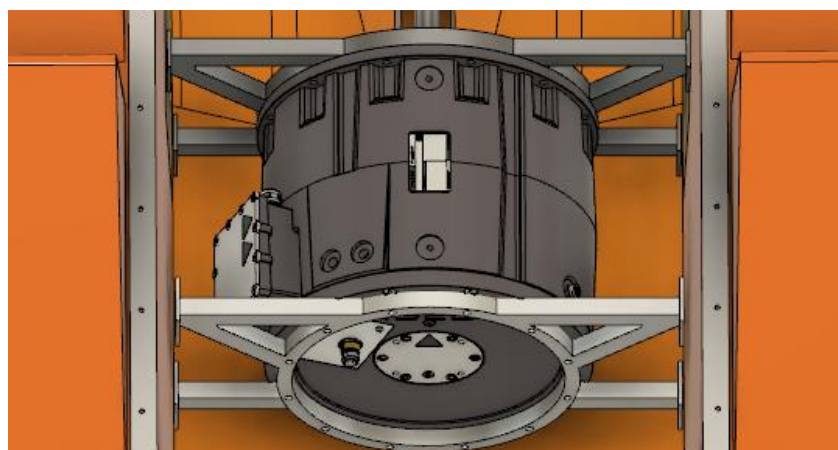


Figur 42: Innfestning av tre batterier.*

**Batteri-innfestningen på figuren er av løsning 1, ikke den modifiserte løsningen.*

6.5.2 Motor

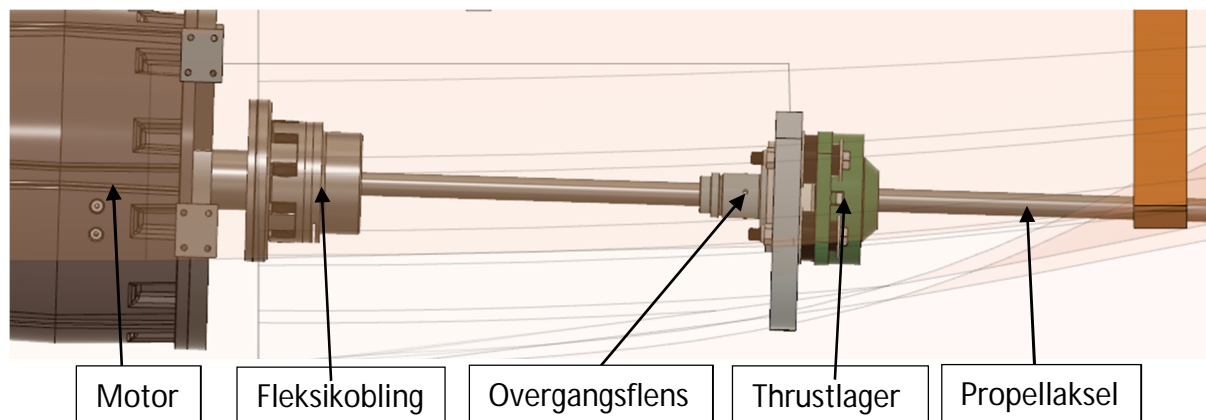
Motoren vil festes på samme måte som i E-GES 45, med to spesialbygde braketter i aluminium som er festet i innstøpte stålplater i sideveggene av motorrommet. På grunn av vinkelen på akselen må motoren plasseres lenger frem enn originalt. Det kan derfor ikke benyttes de originale motorfestene. Beslagene vil også være designet noe annerledes enn i E-GES 45, fordi motoren sitter nærmere bunnen av motorrommet. Plassering av motor kan eventuelt endres ved å montere et CV-ledd på thrustlageret. CV-leddet gjør at akslingen fra motoren ikke trenger å være samme vinkel som propellakslingen. Figur 43 viser innfestningen i motorrommet. Figur 44 viser hvordan motor aksling og thrustlager er koblet sammen.



Figur 43: Motorinnfestning.

6.5.3 Kobling

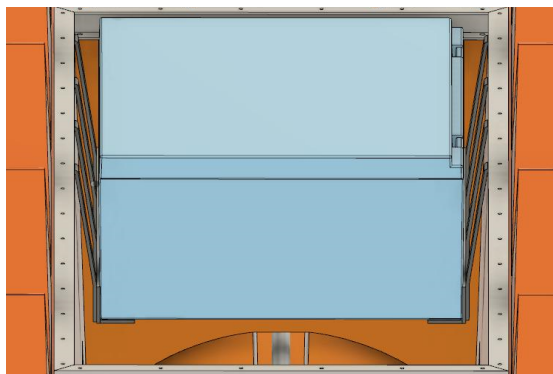
Motoren blir koblet på akslingen ved å benytte en fleksikobling fra Rotex, med en flensadapter koblet til motoren. Akslingen er koblet til thrustlageret ved en overgangsflens. Figur 44 viser hvordan motor, aksel, thrustlager og koblinger er satt sammen.



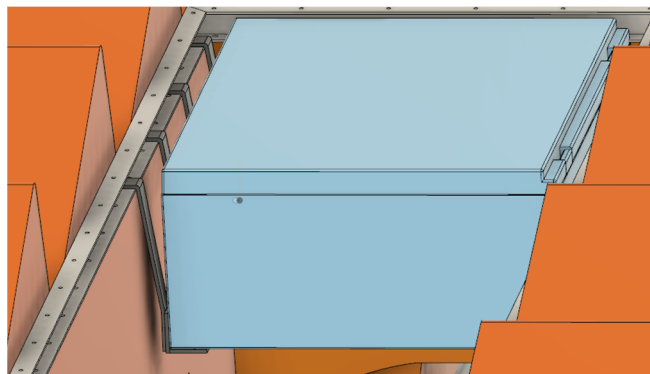
Figur 44: Aksling, kobling og thrustlager.

6.5.4 Skap

Kontrollskapet har fester på undersiden. Det vil derfor festes beslag på undersiden av skapet som kan festes i den originale rammen til motorrommet, som vist på Figur 45 og Figur 46. Fordelen med denne innfestningen er at det vil være enkelt å åpne lokket på kontrollskapet for å gjøre justeringer.

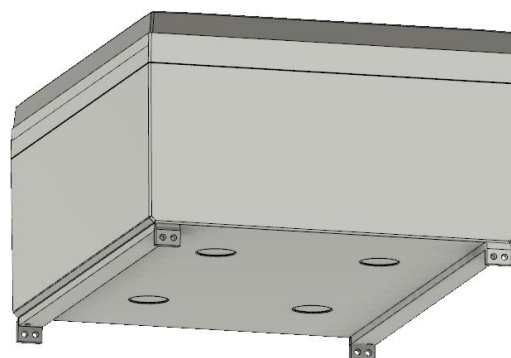


Figur 45: Kontrollskap-innfestning.



Figur 46: Kontrollskap-innfestning.

DC/DC skapet festes på undersiden med beslag som igjen er festet i de innstøpte stålplatene på siden av motorrommet. Skapet er innfestet slik at det enkelt kan åpnes etter installasjon. Figur 47 viser innfestningen av skapet.



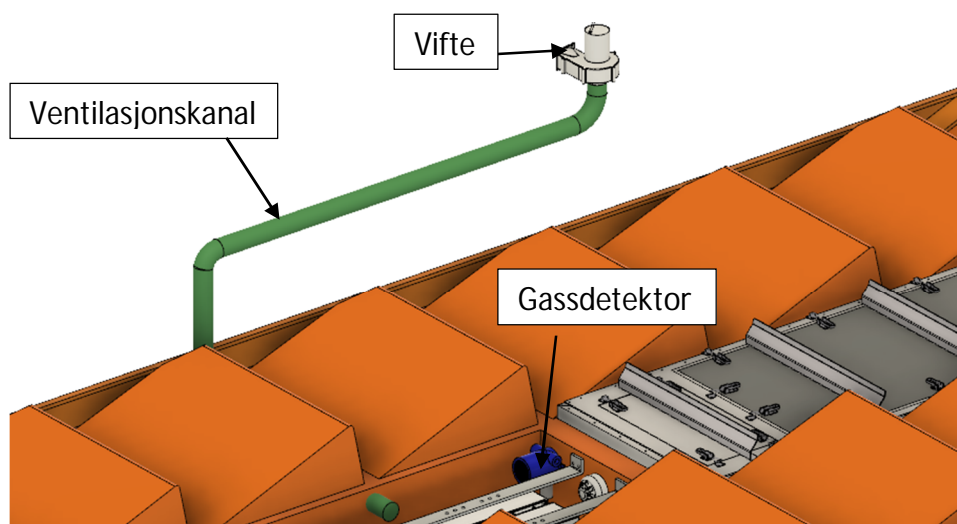
Figur 47: DC/DC skapinnfestning.

6.6 Ventilasjon-, Sprinkler- og kjølingssystem

Systemene beskrevet i dette kapitlet er basert i hovedsak på løsninger benyttet i E-GES 45 som er videre tilpasset til E-GES 40.

6.6.1 Gassevakuering

Ved deteksjon av brannfarlig gass fra batterirommet vil en vifte evakuere gassen gjennom kanalen som vist på Figur 48. Viften er av typen "Non Spark" og har en kapasitet på 550 m³/h. Gassen vil gå ut gjennom en enveisventil som blir holdt åpen av gravitasjon. Ved stup vil vanntrykket stenge ventilen slik at det ikke slippes inn vann. Ifølge [47] er det et krav om at ventilasjonskapasiteten skal være 30 x batterirommets volum per time. En konservativ forenkling av batterirommets dimensjoner gir: bredde = 0,7m, høyde = 0,7m og lengde = 3,5m. Dette gir et volum = 0,7* 0,7* 3,5 = 1,7 m³. Kravet for ventilasjonskapasitet er da: 1,7m³* 30 = 51m³/h. Viftens kapasitet er over ti ganger dette og vil derfor være mer enn tilstrekkelig.



Figur 48: Ventilasjonssystem for gassevakuering i E-GES 40*.

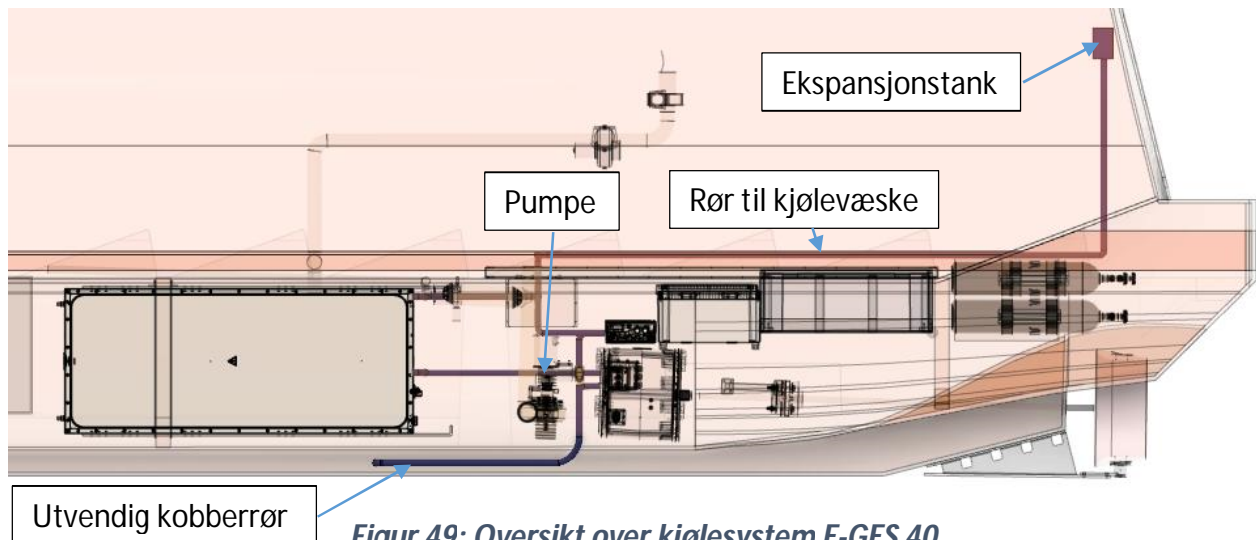
*Batteri-innfestningen på figuren er av løsning 1, ikke den modifiserte løsningen.

6.6.2 Luft til passasjerer

I likhet med systemet i E-GES 45, vil det benyttes et ventilasjonssystem hvor luften blir sugd inn gjennom en ventilasjonsvifte og distribuert i tre utløp: foran, bak og cockpit. Ved innløpet er det plassert et vannlås-system slik at det er mulig å suge kun luft. Systemet dimensjoneres til å opprettholde krav ifølge [5], om CO₂ konsentrasjon på under 5000 mg/m³ i kabinen.

6.6.3 Kjøling

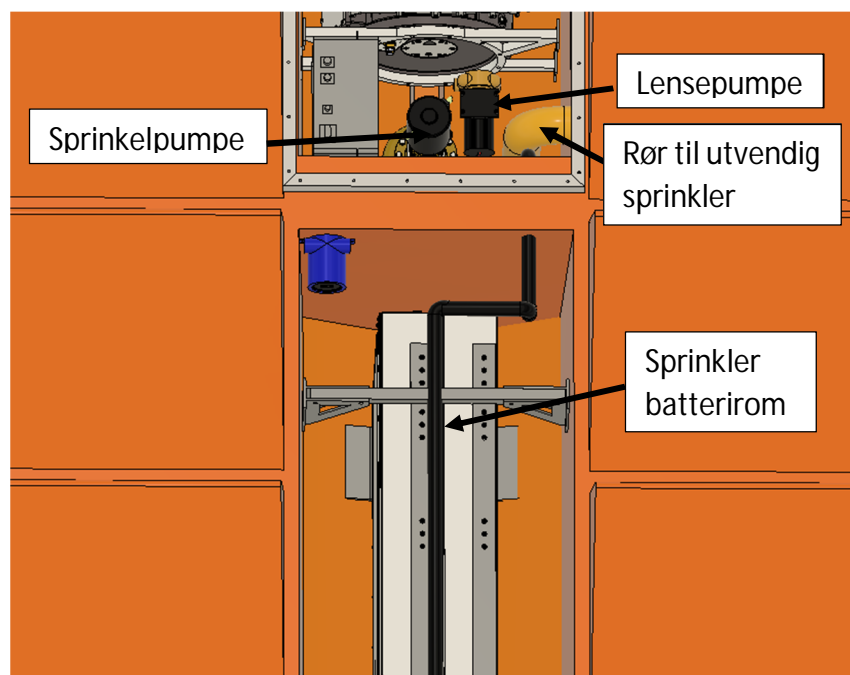
For kjøling av batterier, motor og inverter kan det benyttes et lignende system som i E-GES 45. Kjølekretsen i E-GES 45 består av en pumpe og en lukket krets som har et kobberør på utsiden av båten for varmeveksling mot sjø. Det er også en ekspansjonstank på bakveggen, slik at den er høyeste punkt i kretsen både på vannet og når båten henger i 35 grader på installasjonen. Figur 49 viser hvordan dette kan kobles i E-GES 40.



Figur 49: Oversikt over kjølesystem E-GES 40.

6.6.4 Sprinkleranlegg

Originalt drev dieselmotoren sprinkelpumpa til det utvendige sprinkleranlegget. I E-GES 40 vil det installeres en egen motor til dette tilsvarende som i E-GES 45. På grunn av plassbegrensning vil sprinkelpumpa måtte flyttes litt lenger frem i motorrommet, men det vil bli benyttet originale inn- og utløpsrør. Et av kravene fra [5] er at det skal være et sprinkleranlegg i batterirommet til å kjøle ned batteriene ved overoppheting eller brann. Dette sprinkleranlegget vil installeres separat med egen lensepumpe. En oversikt over sprinkleranlegget kan ses på Figur 50, hvor det gule røret og pumpa er til utvendig sprinkleranlegg og det sorte røret er til batterirommet. Det vil i tillegg installeres en lensepumpe i batterirommet for å pumpe ut vann.



Figur 50: Oversikt over sprinkleranlegg.

7 STYRKEBEREGNING

Fra stuptesting av E-GES 45 ble det målt en akselerasjon for passasjerer på 75 m/s^2 , det vil si litt over 7 g [6]. Det kan antas at E-GES 40 vil ha lignende akselerasjoner. For å sjekke om innfestningene vil tåle disse belastningene, vil det i dette kapitlet gjøres grunnleggende styrkeberegning på de mest utsatte delene.

Batteripakken og den elektriske motoren er de tyngste komponentene, innfestningen av disse anses derfor som mest utsatt. For innfestning av motoren kan det benyttes en lignende løsning som i E-GES 45. Løsningen har blitt verifisert for bruk i E-GES 45 og det antas at den også kan verifiseres for E-GES 40.

Innfestningen av batterier er et nytt design, og det er derfor valgt å utføre grunnleggende styrkeberegning av denne. Det vil også undersøkes om modifiseringen av støtteveggen i batterirommet fortsatt vil opprettholde den nødvendige strukturelle integriteten. Innfestning av øvrige komponenter antas å kunne løses på en hensiktsmessig måte og blir ikke vurdert i detalj i denne rapporten.

Beregningsverktøy: Styrkeberegningene vil utføres ved hjelp av håndberegninger av batteri-innfestningen og FEM-analyse av den modifiserte støtteveggen ved bruk av ANSYS Workbench.

Beregningsmål: Målet med beregningene er å undersøke hvilke maksimale spenninger som kan oppstå i løsningen for innfestning av batterier og for den modifiserte støtteveggen. De maksimale spenningene vil evalueres opp mot tillat spenning i forhold til dimensjoneringskriteriene.

Begrensninger:

- Hensikten med beregningene er ikke å gjøre en verifikasjon av løsningene, da det vil gjøres på et senere stadium i ombyggingsprosjektet.
- For å redusere omfanget av arbeidet vil det gjøres konservative forenklinger.
- Det vil dimensjoneres etter lineær elastisk bruddmekanikk.
- De maksimale akselerasjonene oppstår kun ved stup og båten blir generelt ikke brukt. Det antas derfor at det vil være lav fare for utmattingsbrudd, og det dimensjoneres etter materialets flytegrense.
- Det utføres kun beregninger i forhold til lokale lasttilfeller. Det blir ikke analysert hvordan disse påvirker det globale (livbåten) lasttilfellet.

Beregningstrinn:

- Batteri-innfestningen:
 1. Definere dimensjoneringskriterier
 2. Dele opp i ulike scenarioer og lasttilfeller
 3. Forenkle lasttilfeller ved bruk av ingeniørmessige metoder
 4. Utføre håndberegninger på de ulike lasttilfellene
- Modifisert støttevegg:

1. Beskrive beregningsgrunnlag
 2. Definere aktuelle lasttilfeller
 3. Forenkle modell
 4. Forenkle lasttilfelle
 5. FEM- analyse
 6. Drøfting av resultater
- Konklusjon

7.1 Materialvalg

Det ble valgt å ta utgangspunkt i de materialene som er benyttet i innfestningene i E-GES 45. Det vil si at motorinnfestningen er i aluminium 6060-T6 og de øvrige innfestningene er i syrefast stål av typen SS2377. Denne ståltypen har høy styrke, gode sveiseegenskaper og veldig høy motstand for korrosjon. Stålet har en flytegrense på 460 MPa. Skruer som benyttes vil være i syrefast stål med fasthetsklasse 8.8. Materialdata er hentet fra CES Edupack.

7.2 Batteri-innfestningen

Innfestning av tunge komponenter skal ifølge DNVGL-ST-E406 designes etter maksimal akselerasjon under stup. For å utvikle et robust design så anbefaler standarden videre at det skal designes for den maksimale akselerasjonen i alle koordinatretninger. [46]

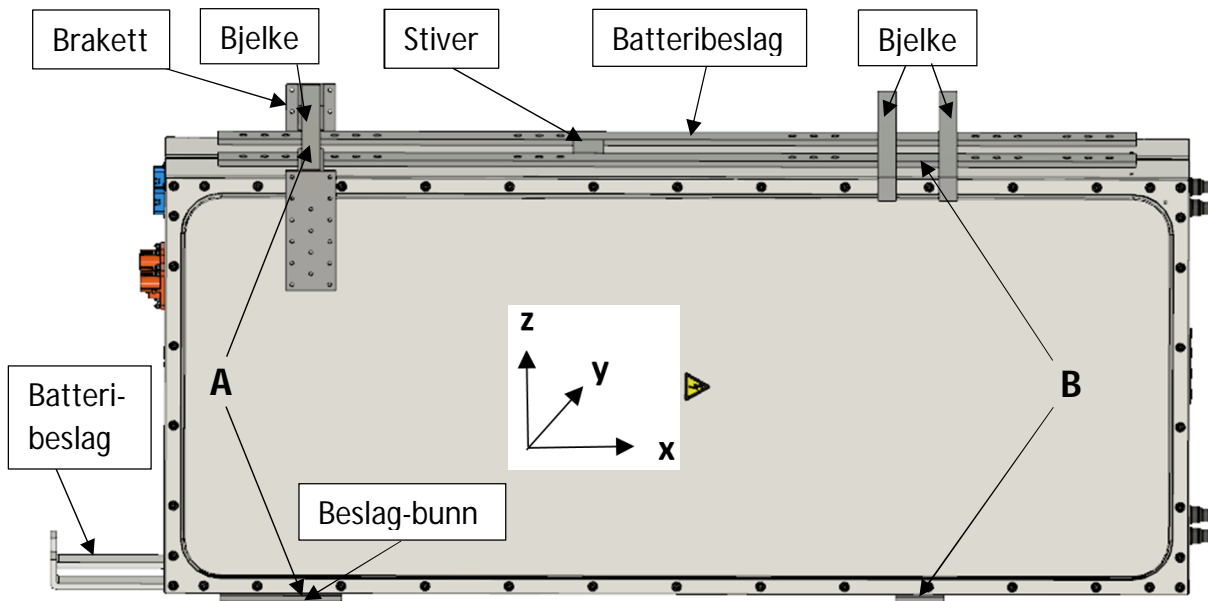
På bakgrunn av retningslinjene i standarden er normal praksis i Norsafe å dimensjonere innfestninger for en retardasjon/akselerasjon på 10 g, i henholdsvis alle koordinatretninger, med en sikkerhetsfaktor på 2 [6]. Dette ble derfor valgt som dimensjoneringskriterie for styrkeberegningen av innfestningen. Stålet som benyttes har en flytegrense 460 MPa og vi får derfor følgende tillatt spenning:

$$\sigma_{Tillatt} = \frac{R_e}{n} = \frac{460}{2} = 230 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

For å gjøre håndberegninger av innfestningen ble det valgt å forenkle modellen og se på fire ulike scenarier:

1. Batteriene blir utsatt for 10 g i z-retning
2. Batteriene blir utsatt for 10 g i negativ z-retning
3. Batteriene blir utsatt for 10 g i x-retning
4. Batteriene blir utsatt for 10 g i y-retning.

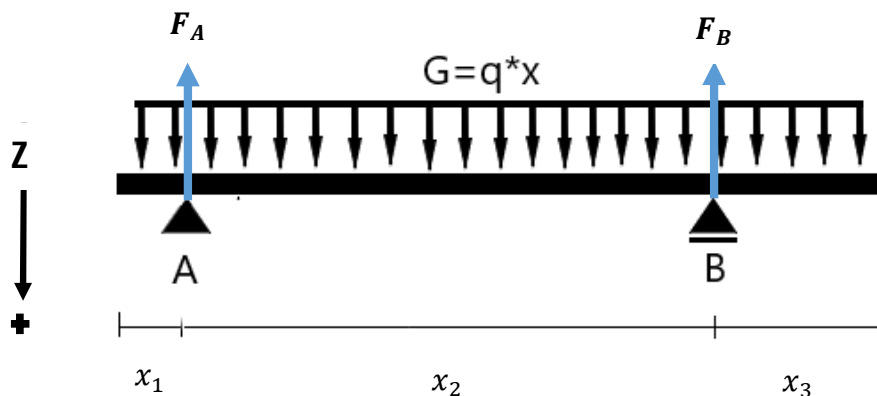
Det antas at innfestningen vil bli belastet tilnærmet likt ved positiv og negativ y-retning og x-retning. Det utføres derfor kun beregninger for de positive retningene for x og y. Figur 51 viser batteri-innfestningen med oversikt over benyttet terminologi og positive retninger for koordinatsystemet.



Figur 51: Oversikt over batteri-innfestningen og benyttet terminologi.

7.2.1 Scenario 1

Batteriene blir utsatt for en akselerasjon på 10 g i z-retning. For å forenkle lasttilfelle ble det valgt å se på batteriene som en jevnt fordelt last langs en bjelke med to opplagingspunkter A og B (som markert på Figur 51). Den forenklete lasttilfelle er vist på Figur 52. Bjelken representerer her sammensetningen av batteribeslagene og et batteri. De kan sammen ses på som en sandwichbjelke, hvor batteribeslagene vil ta opp mesteparten av bøyemomentet.



Figur 52: Forenklet lasttilfelle ved scenario 1.

$$x_1 = 240 \text{ mm}, \quad x_2 = 998 \text{ mm}, \quad x_3 = 442 \text{ mm}$$

$m_{\text{Batteri}} = 253 \text{ kg}$, Tyngdeakselerasjonskonstanten: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Batteriets lengde:

$$l_{\text{Batteri}} = 1,68 \text{ m}$$

$$G = G_{\text{Batteri}} = m_{\text{Batteri}} * 10g$$

$$G_{\text{Batteri}} = 24\,819,3 \text{ N}$$

$$q = \frac{G_{\text{Batteri}}}{l_{\text{Batteri}}} = 14\,773,4 \text{ N/m}$$

Finner først momentet i A som lastoverhenget skaper:

$$M_A = -\frac{q * x_1^2}{2} = -425,5 \text{ Nm}$$

Snitter i A og krever likevekt for høyre side:

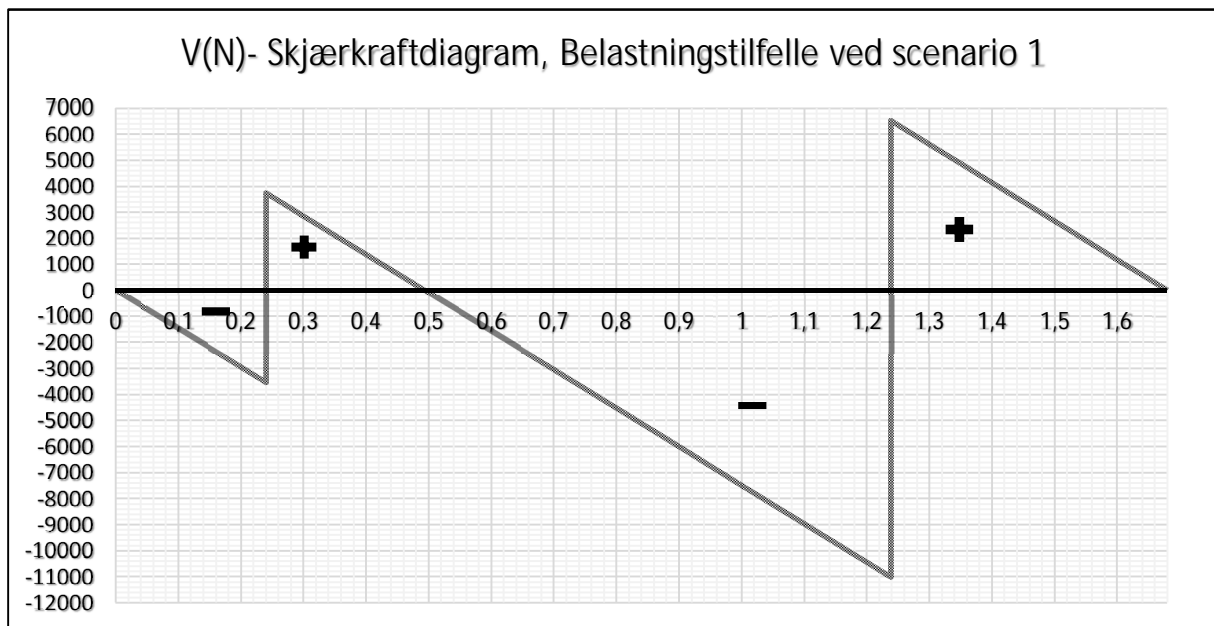
$$\sum M_{AH} = 0 : -M_A + F_B * x_2 - G * \frac{x_2 + x_3}{2} = 0 \quad (3.5)$$

$$F_B = 17479,4 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum F_z = 0 : F_A + F_B - G = 0 \quad (3.4)$$

$$F_A = G - F_B = 7339,9 \text{ N}$$

Setter opp skjærkraftdiagram:

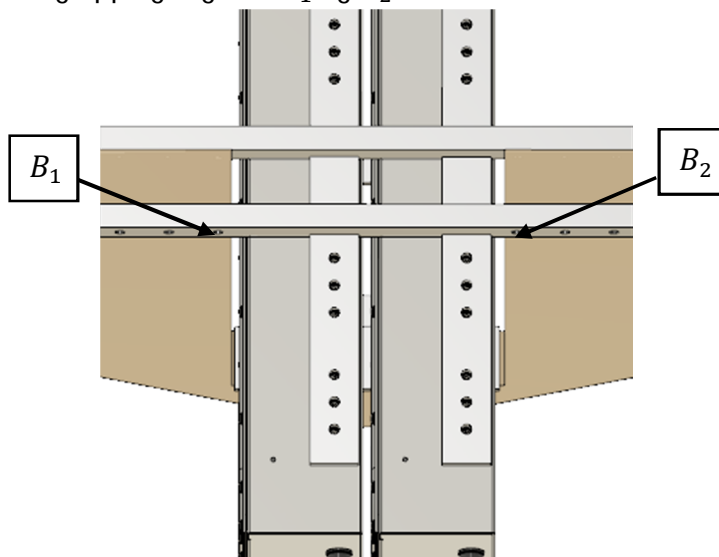


Vi ser av skjærkraftdiagrammet at maksimalt bøyemoment vil oppstå ved opplager B og det vil være negativt. Summen av moment om B skal være null, det vil si at bøyemomentet i bjelken ved B vil være lik det momentet lastoverhenget på høyre side av B skaper:

$$M_{b,maks} = M_B = -\frac{q * x_3^2}{2} = -1443,1 \text{ Nm}$$

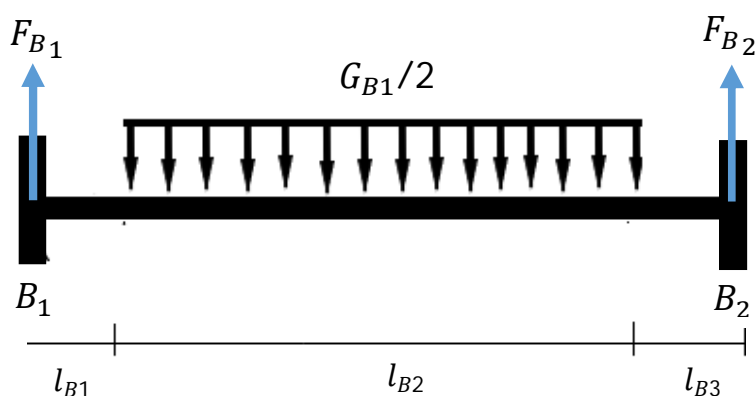
Høyden på sandwichbjelken er 710 mm, noe som gjør at den vil ha et kraftig tregehetsmoment. Det antas derfor at bøyenspenningene i beslagene og skjærspenningen i skruene som fester beslaget til batteriet vil være lave.

Opplager B består av to bjelker og opplager A består av en, samt beslag-bunn som er festet på undersiden av batteriet og til skroget. Bjelkene er 30 mm brede og 40 mm høye. De er sveiset sammen med batteribeslagene. Bjelkene ved begge opplagrene er festet med skruer til beslag og braketter i samme avstand fra batteriene. Opplagerkraften F_B er over dobbelt så stor som F_A og det kan derfor antas at det største bøyemomentet vil oppstå i bjelkene ved B. Figur 53 viser bjelkene ved B og opplagringene B_1 og B_2 .



Figur 53: Bjelkene til batteri-innfestning ved opplager B.

Det antas at bjelkene fordeler kraften F_B likt. Figur 54 viser et forenklet lasttilfelle på en av bjelkene ved B, hvor G_{B1} er lasten fra batteriene ved opplager B.



Figur 54: Lasttilfelle på en av bjelkene ved opplager B.

$$l_{B1} = 35 \text{ mm} , \quad l_{B2} = 300 \text{ mm} , \quad l_{B3} = 35 \text{ mm} , \quad \text{lengden av bjelken: } l = 370 \text{ mm}$$

$$G_{B1} = F_B = 17479,4$$

$$q_B = \frac{G_{B1}/2}{l_{B2}} = 29\,132,3 \text{ N/m}$$

Finner først momentet i B_1 ved å benytte Tremomentformelen for fast innspent bjelke med innsatt formel for lasttilfelle:

$$2M_{B1} * l + M_{B2} * l = -\frac{q_B}{4l} [(l_{B2} + l_{B3})^2 * (2l^2 - (l_{B2} + l_{B3})^2) - l_{B3}^2(2l^2 - l_{B3}^2)] \quad (3.6)$$

$$M_{B1} = M_{B2}$$

$$3M_{B1} * 0,37 = -350,35$$

$$M_{B1} = -315,6 \text{ Nm}$$

Maksimalt bøyemoment vil oppstå på midten:

$$F_{B1} = \frac{G_{B1}}{4} = 4369,9 \text{ N}$$

$$M_{B,maks} = M_{B1} + F_{B1} * \left(l_{B1} + \frac{l_{B2}}{2} \right) - \frac{G_{B1}}{4} * \frac{l_{B2}}{4}$$

$$M_{B,maks} = 165,2 \text{ Nm}$$

Motstandsmomentet til bjelken:

$$b = 30 \text{ mm}, \quad h = 40 \text{ mm}$$

$$W = \frac{b * h^2}{6} = 8000 \text{ mm}^3 \quad (3.8)$$

Maksimal bøyespennning:

$$\sigma_b = \frac{M_{B,maks}}{W} = \pm 20,7 \text{ MPa} \quad (3.10)$$

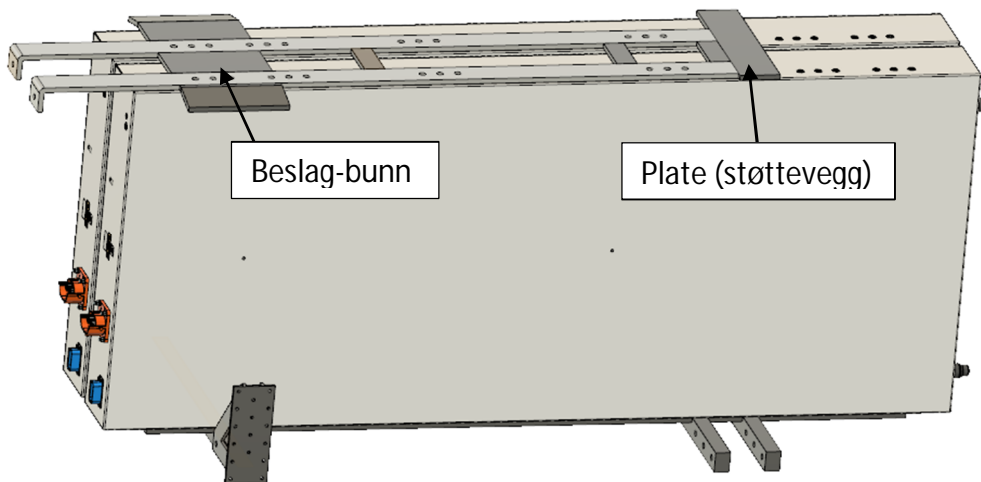
$$|\sigma_b| \leq \sigma_{tillatt}$$

$$20,7 \leq 230$$

Bjelken er tilstrekkelig dimensjonert mot flyt.

7.2.2 Scenario 2

Batteriene blir utsatt for en akselerasjon på 10 g i negativ z-retning. Det antas at lasttilfellet vil være likt som i scenario 1, men med opplagringskrefter i motsatt retning. Batteriene vil nå støte mot bunnen av støtteveggen ved opplagring B. Det antas at denne er sterk nok. Ved opplagring A vil bjelkene på oversiden av batteriet og beslag-bunn ta opp kraften. Ved å beregne nedbøyning av henholdsvis bjelken og beslag-bunn, og sette de lik hverandre, vil det være mulig å beregne hvordan kraften vil fordeles. Figur 55 viser undersiden av batteri-innfestningen.



Figur 55: Undersiden av batteri-innfestningen.

Beslag-bunn og bjelke har tilnærmet samme lengde og lignende opplagring, men lasten blir fordelt noe ulikt. I bunn vil lasten av batteriene fordeles jevnt over batteriflaten, mens på bjelken vil lasten fordeles langs batteribeslagene. Figur 56 viser bjelken i A, med opplagringspunkter A_1 og A_2 .



Figur 56: Bjelke ved opplager A.

Ved å gjøre en forenkling og si at lasten fordeles på samme måte, kan man sette opp følgende sammenheng:

Nedbøyningen kan uttrykkes ved bruk av ligningen for den elastiske linje:

$$y_{Bjelke} = \frac{q_{Bjelke}}{EI_{Bjelke}} * \iint M dx, \quad y_{Beslag-bunn} = \frac{q_{Beslag-bunn}}{EI_{Beslag-bunn}} * \iint M dx \quad (3.7)$$

Hvor q_{Bjelke} og $q_{Beslag-bunn}$ er den jevnt fordelte lasten på henholdsvis bjelke og beslag-bunn. M er her momentligningen hvor q er satt på utsiden av parentesen. E er elastitetsmodulen til det benyttede materialet.

Bjelke og beslag-bunn er koblet sammen av batteriene og nedbøyningen vil derfor være lik:

$$y_{Bjelke} = y_{Beslag-bunn}$$

E og M er likt for bjelken og beslag-bunn, vi kan derfor se bort fra disse og får følgende ligning:

$$\frac{q_{Bjelke}}{I_{Bjelke}} = \frac{q_{Beslag-bunn}}{I_{Beslag-bunn}}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (3.9)$$

Bjelken har samme dimensjoner som bjelkene i opplager B. Beslag-bunn har følgende dimensjoner:

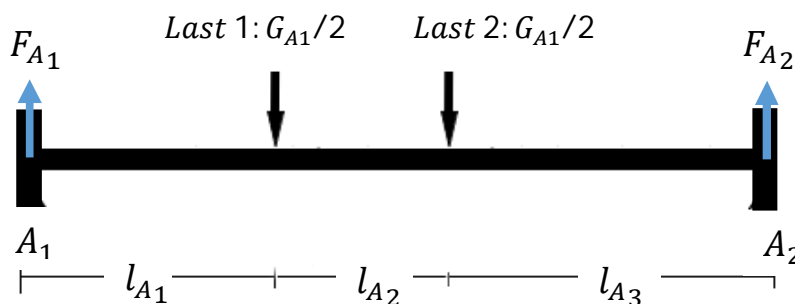
$$b_b = 100 \text{ mm}, h_b = 10 \text{ mm}$$

$$I_{Bjelke} = 160\,000 \text{ mm}^3, I_{Beslag-bunn} = 8333,3 \text{ mm}^3$$

$$= \frac{I_{Beslag-bunn}}{I_{Bjelke}} * q_{Bjelke} = 0,052 * q_{Bjelke}$$

Vi ser at $q_{Beslag-bunn}$ er mye mindre en q_{Bjelke} . Det vil si at bjelken vil ta opp mesteparten av opplagringskraften. Det forenkles derfor konservativt til at bjelken tar opp hele opplagringskraften.

Bjelke ved opplagring A: Bjelken vil holde igjen batteribeslagene som er sveiset til bjelken. For å forenkle beregningene ble kraften fra batteribeslagene regnet som punktbelastninger. Dette er en konservativ vurdering som vil gi et noe høyere bøyemoment. Opplagringene til bjelken ble forenklet til fast innspent i begge ender. Figur 57 viser lasttilfelle med opplagringskrefter, hvor G_{A1} er lastene fra batteriene ved opplager A.

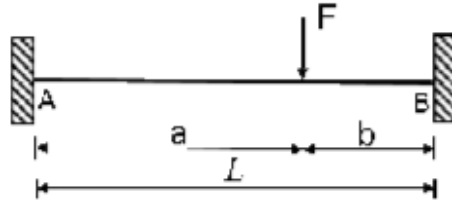


Figur 57: Lasttilfelle for bjelke ved opplager A.

$$l_{A1} = 70 \text{ mm}, l_{A2} = 162 \text{ mm}, l_{A3} = 138 \text{ mm}, l = 370 \text{ mm}$$

$$\frac{G_{A1}}{2} = \frac{F_A}{2} = \frac{7339,9}{2} = 3670,0 \text{ N}$$

Momentet i A_1 kan finnes ved å benytte superposisjonsmetoden. Metoden går ut på at virkningen av alle laster på en bjelke kan finnes ved å summere virkningene fra lastene hver for seg [20]. Finner momentene ved å benytte lasttilfelle som på Figur 58 for last 1 og så for last 2:



Figur 58: Fast innspent bjelke med vilkårlig punktlast [20].

Fra [20] finner vi at momentene kan uttrykkes med følgende formler:

Hvor M_{A11} og M_{A12} er momentene i opplagringspunktene for last 1, M_{A21} og M_{A22} er momentene i opplagringspunktene for last 2.

$$M_{A11} = -F * a * \frac{b^2}{L^2} = \frac{-G_{A1}}{2} * l_{A1} * \frac{(l_{A2} + l_{A3})^2}{l^2} = -168,89 \text{ Nm}$$

$$M_{A21} = -F * a^2 * \frac{b}{L} = \frac{-G_{A1}}{2} * l_{A1}^2 * \frac{(l_{A2} + l_{A3})}{l} = -14,58 \text{ Nm}$$

$$M_{A12} = -F * a * \frac{b^2}{L^2} = \frac{-G_{A1}}{2} * (l_{A1} + l_{A2}) * \frac{l_{A3}^2}{l^2} = -118,44 \text{ Nm}$$

$$M_{A22} = -F * a^2 * \frac{b}{L} = \frac{-G_{A1}}{2} * (l_{A1} + l_{A2})^2 * \frac{l_{A3}}{l} = -73,68 \text{ Nm}$$

$$M_{A1} = M_{A11} + M_{A12} = -287,33 \text{ Nm}$$

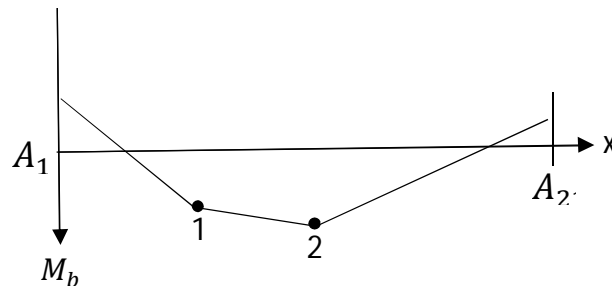
$$M_{A2} = M_{A21} + M_{A22} = -88,26 \text{ Nm}$$

Finner opplagerkraften F_{A1} ved å se på momentet i A_2 :

$$\uparrow \sum M_{A2} = 0 : -M_{A2} + M_{A1} + F_{A1} * l - \frac{G_{A1}}{2} * l_{A3} - \frac{G_{A1}}{2} * (l_{A2} + l_{A3}) \quad (3.5)$$

$$F_{A1} = \frac{M_{A2} - M_{A1} + \frac{G_{A1}}{2} * l_{A3} + \frac{G_{A1}}{2} * (l_{A2} + l_{A3})}{l} = 4882,5 \text{ N}$$

Setter opp et skissert momentdiagram:



Vi ser av det skisserte momentdiagrammet at størst bøyemoment vil oppstå ved last 2:

$$\uparrow M_{b,maks} = M_{A1} - \frac{G_{A1}}{2} * l_{A2} + F_{A1} * (l_{A1} + l_{A2}) = 250,9 \text{ Nm}$$

Motstandsmomentet er likt som for bjelkene ved opplager B:

$$W = \frac{b * h^2}{6} = 8000 \text{ mm}^3 \quad (3.8)$$

Finner maksimal bøyespennning:

$$\sigma_b = \frac{M_{b,maks}}{W} = \pm 31,4 \text{ MPa} \quad (3.10)$$

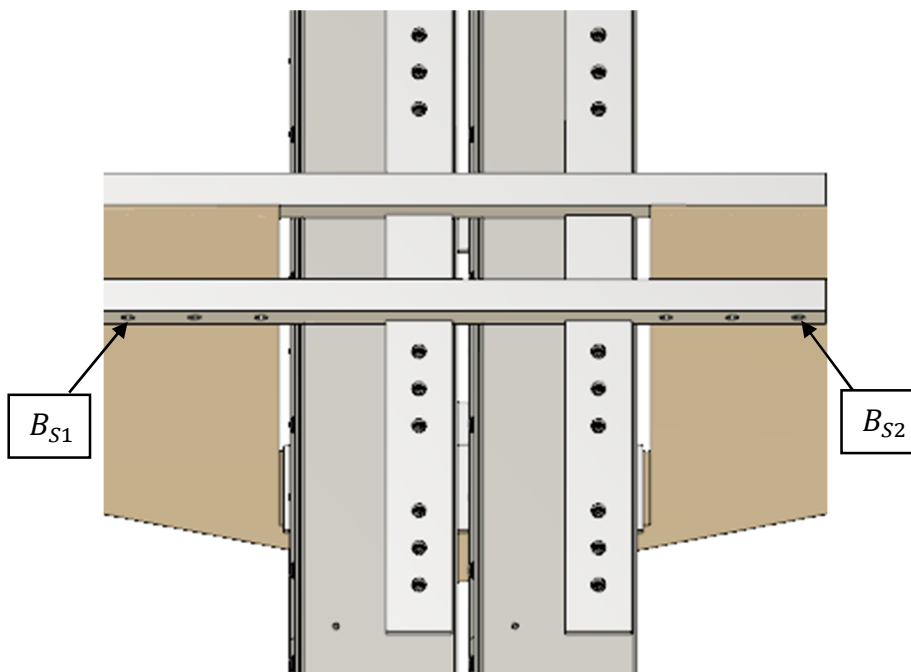
$$|\sigma_b| \leq \sigma_{tillatt}$$

$$31,4 \leq 230$$

Bjelken er tilstrekkelig dimensjonert mot flyt.

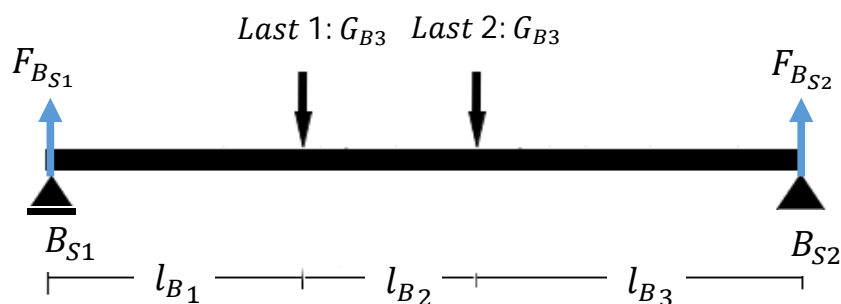
7.2.3 Scenario 3

Batteriene blir utsatt for 10 g i x-retning. Hvert batteri er festet til to batteribeslag som antas å fordele kraften likt. Det nederste batteribeslaget er festet til bakveggen, beslag-bunn og det støter mot platen i bunn av støtteveggen som vist på Figur 55. Det antas derfor at dette vil holde. Batteribeslaget på oversiden er festet til bjelkene ved opplager A og B. Bjelkene ved opplager B er koblet sammen av batteribeslagene og støtteveggen og kan forenkles til en sammensatt bjelke. Den sammensatte bjelken vil ha et stort motstandsmoment i forhold til bjelken ved opplager A og det kan antas at den vil kunne ta opp kraften fra batteriene alene. Batteriet er festet ved flere steder og lasttilfellet er statisk ubestemt. Det er vanskelig å avgjøre hvilke innfestninger som vil få størst belastning, det ble derfor valgt å forenkles konservativt til at opplager B tar opp hele kraften fra det øvre batteribeslaget. Den sammensatte bjelken regnes som fritt opplagret i begge ender. Figur 59 viser den sammensatte bjelken B_S med opplager B_{S1} og B_{S2} .



Figur 59: Den sammensatte bjelken ved opplager B scenario 3.

Figur 60 viser den forenklede lasttilfellet for den sammensatte bjelken, hvor lasten fra batteriene ved det øvre beslaget ved opplager B settes til $G_{B3} = G_{Batteri}/2$.



Figur 60: Forenklet lasttilfelle for den sammensatte bjelken ved opplager B ved scenario 3.

$$G_{B3} = \frac{G_{Batteri}}{2} = 12409,7 \text{ N}$$

$$l_{B1} = 186 \text{ mm}, \quad l_{B2} = 162 \text{ mm}, \quad l_{B3} = 268 \text{ mm}, \quad l = 616 \text{ mm}$$

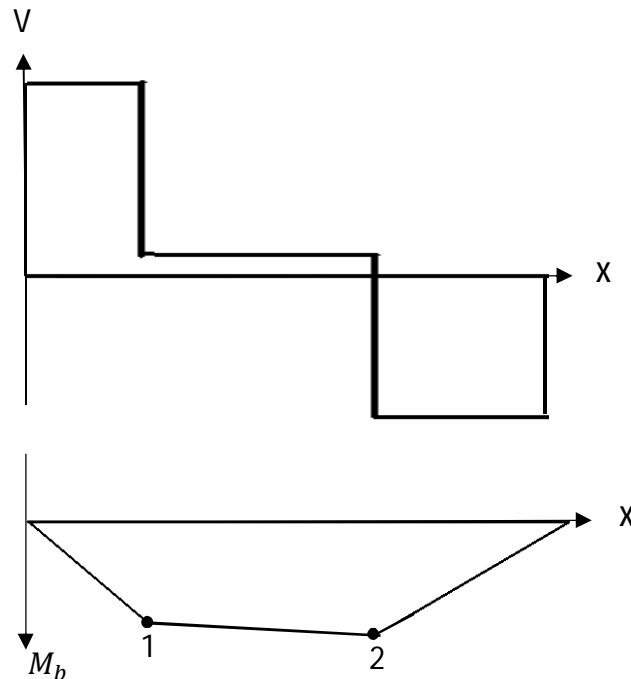
Finner opplagerkreftene i B_{S1} og B_{S2} ved å se på momentet i B_{S2} :

$$\sum \vec{M}_{B_{S2}} = -G_{B3} * l_{B3} - G_{B3} * (l_{B3} + l_{B2}) + F_{B_{S1}} * l = 0 \quad (3.5)$$

$$F_{B_{S1}} = 14\,061,6 \text{ N}$$

$$F_{B_{S2}} = 2 * G_{B3} - F_{B_{S1}} = 10\,757,8 \text{ N}$$

Skisserer skjærkraft- og momentdiagram:



Fra det skisserte momentdiagrammet ser vi at maksimalt bøyemoment oppstår ved last 2:

$$M_{B,maks} = F_{BS1} * (l_{B1} + l_{B2}) - G_{B3} * l_{B2} = 2883,1 Nm$$

Bjelken forenkles konservativt til en sandwichbjelke hvor de to bjelkene vil ta opp kraften. Motstandsmomentet til B_S kan derfor uttrykkes:

$$W = \frac{b * (h_1^2 - h_2^2)}{6} \quad (3.8)$$

Bjelken har følgende dimensjoner:

$$b = 40 mm, \text{ total høyde: } h_1 = 130 mm, \text{ høyde(tykkelse) til støttevegg: } h_2 = 70 mm$$

$$W = 80\,000 mm^3$$

Finner maksimal bøyespenning:

$$\sigma_b = \frac{Mb}{W} = \pm 36,0 MPa \quad (3.10)$$

Vipping og torsjon:

Batteribeslagene vil overføre kraften til bjelkene. Beslagene er sveiset sammen med bjelkene ved underkanten. Det vil derfor oppstå torsjonsspennning i de individuelle bjelkene.

Finner torsjonstregghetsmoment I_t for bjelken med følgende formel:

$$I_t = (b - 0,63 * t) * \frac{t^3}{3} \quad (3.13)$$

Hvor $b = 30 \text{ mm}$ og $t = 40 \text{ mm}$

$$I_t = 102\,400 \text{ mm}^4$$

Finner torsjonsmomentet M_t ved følgende formel:

$$M_t = \frac{G_{B3}}{2} * x$$

Hvor x er lik avstanden fra senterlinjen av bjelken. Beslaget er 5 mm tykt og er sveiset sammen med bjelken. Beslaget vil derfor overføre torsjonskraften i en avstand på $15\text{-}20 \text{ mm}$ fra senterlinjen til bjelken. For å gjøre en konservativ forenkling så settes $x = 20 \text{ mm}$.

$$M_t = \frac{G_{B3}}{2} * x = 124,1 \text{ Nm}$$

Finner torsjonsspenningen:

$$\tau_{St.V} = M_t * \frac{t}{I_t} = 48,5 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

Det antas at geometrien til den sammensatte bjelken og innfestning gjør at det ikke vil være fare for vipping.

Jevnførende spenning:

Den sammensatte bjelken vil bli utsatt for torsjonsspenningen i de individuelle bjelkene og bøyespenningen i den sammensatte bjelken, samt skjærkraft over bjelke tverrsnittet. Torsjon og bøyespenningen vil være størst i ytterkant av de individuelle bjelkene og det antas at resten av bjelkens tverrsnitt vil ta opp skjærkraften. Det ble derfor valgt å beregne den maksimale jevnførende spenningen i ytterkanten av bjelken der bøyespenningen og torsjonsspenningen vil være størst, og se bort fra skjærspenningen. Formelen for jevnførende spenning kan derfor forenkles til:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \quad (3.15)$$

$$\sigma_{jf} = \sqrt{36,0^2 + 3 * 48,5^2} = 91,4 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{jf}| \leq \sigma_{tillatt}$$

$$91,4 \leq 230$$

Den sammensatte bjelken er tilstrekkelig dimensjonert mot flyt.

Normalspenning i batteribeslaget:

Størst normalspenning vil oppstå der hullene er plassert. Dimensjoner til batteribeslag:

bredde: $b = 60 \text{ mm}$, hull diameter: $d = 8 \text{ mm}$, høyde: $h = 5 \text{ mm}$

$$A_{beslag,min} = (b - d) * h = (60 - 8) * 5 = 260 \text{ mm}^2$$

Normalspenning i beslaget ved hull:

$$\sigma_N = \frac{G_{B3}}{A_{beslag,min}} = 47,7 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

$$|\sigma_N| \leq \sigma_{tillat}$$

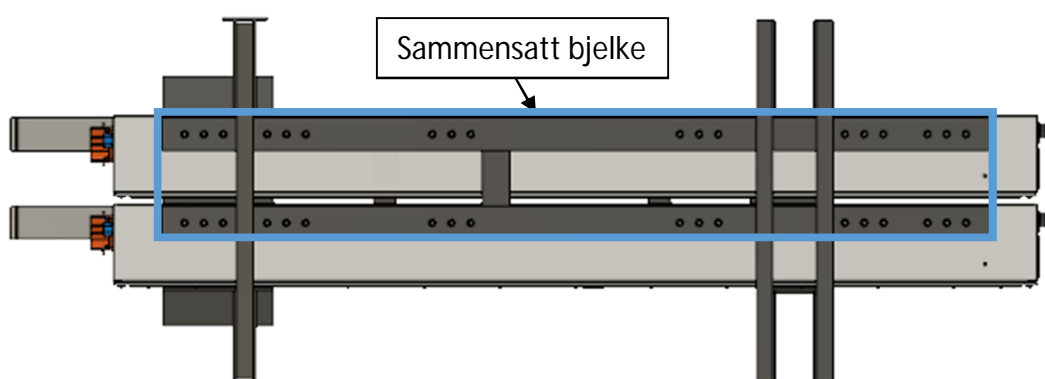
$$47,7 \leq 230$$

Batteribeslag er tilstrekkelig dimensjonert mot brudd.

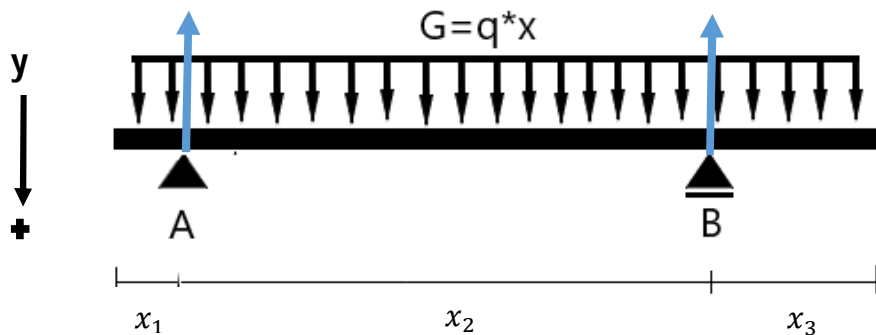
7.2.4 Scenario 4

Batteriene blir utsatt for 10 g i y-retning. Det antas at lasttilfellet er likt som i scenario 1 men nå i y-retning. Bjelkene i opplager A og B vil nå kun utsettes for normalspenning og det antas at de vil holde. Beslaget i bunn ved opplager A og batteribeslaget i bunn som støtter mot platen til støtteveggen i B, vil utsettes for et lite moment, men mest normalspenning og det antas at det vil holde.

Batteribeslagene vil bli utsatt for en bøyenspenning. Det antas at beslaget på topp og bunn av batteriet vil belastes likt. Batteribeslagene til hvert batteri er festet sammen av bjelkene ved opplagrene og av stivere. Det ble derfor valgt å forenkle de to batteribeslagene på henholdsvis topp og bunn til en sammensatte bjelke. Den sammensatte bjelkene vil da ta opp kreftene fra begge batteriene. Det ble valgt å se på lasttilfellet for den sammensatte bjelken på toppen av batteriet. Batteribeslagene er festet til batteriene ved flere steder og det antas derfor at det ikke er fare for vipping. Figur 61 viser batteri-innfestningen sett ovenfra med den sammensatte bjelken, og Figur 62 viser det forenklede lasttilfellet.



Figur 61: Batteri-innfestningen sett ovenfra, hvor den sammensatte bjelken er uthevet ved blå rektangel.



Figur 62: Forenklet lasttilfellet av sammensatt bjelke ved scenario 4.

$$x_1 = 240 \text{ mm} = x_2 = 998 \text{ mm}, x_3 = 442 \text{ mm}$$

Opplagerkraften i A og B, lasten G og maksimalt bøyemoment er tilsvarende som i scenario 1. Motstandsmomentet i den sammensatte bjelken av batteribeslag kan uttrykkes ved følgende formel:

$$W = \frac{b * (h_1^2 - h_2^2)}{6} \quad (3.8)$$

Den sammensatte bjelken har følgende dimensjoner:

$$b = 5 \text{ mm}, \quad h_1 = 260 \text{ mm}, \quad h_2 = 140 \text{ mm}$$

$$W = 40\,000 \text{ mm}^3$$

Fra scenario 1:

$$M_{b,maks} = -1443,1$$

Finner maksimal bøyespennning med følgende formel:

$$\sigma_b = \frac{M_{b,maks}}{W} = \pm 36,1 \text{ MPa} \quad (3.10)$$

$$|\sigma_b| \leq \sigma_{tillatt}$$

$$36,1 \leq 230$$

Bjelken er tilstrekkelig dimensjonert mot flyt.

7.2.5 Beslag- og bjelkefester

For å beregne spenningene i beslag- og bjelkefestene, ble det tatt utgangspunkt i kreftene beregnet for de ulike scenarioene for opplager A og B. For å redusere omfanget av beregningene ble det valgt å kun se på de mest utsatte festepunktene. De øvrige festepunktene antas å kunne dimensjoneres tilstrekkelig.

Opplager A

Bjelken er festet til sideveggen på batterirommet med braketter og skruer. Braketter og bjelken i A er vist på Figur 56 i kapittel 7.2.2. Det vil bli innstøpt 8 mm stålplater i skroget hvor braketten kan skrues fast.

Scenario 2:

Den største opplagerkraften i A er på enden av bjelken og er lik: $F_{A1} = 4882,5 \text{ N}$.

Enden på bjelken i scenario 2 er der bjelken er festet til braketten (se Figur 56). Bjelken vil festes med en gjennomgående M12 skrue og det forenkles konservativt til at den vil ta opp opplagerkreftene.

Tversnittsarealet av M12 skrue [48]: $A = 84 \text{ mm}^2$

Finner skjærspenningen i skruen:

$$\tau = \frac{F_{A1}}{A * 2} = 29,1 \text{ MPa} \quad (3.12)$$

Det vil benyttes skruer med fasthetsklasse 8,8 som har en flytegrense på 640 MPa.

Skruene er tilstrekkelig dimensjonert mot skjær.

Finner hulltrykkspenning i bjelke:

$$A_h = d_h * h = 12 * 30 = 360 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{Nbeslag} = \frac{F_{A1}}{A_h} = 13,6 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

$$|\sigma_N| \leq \sigma_{tillatt}$$

$$13,6 \leq 230$$

Bjelken er tilstrekkelig dimensjonert i forhold til hulltrykk.

Det er tatt hensyn til utrivning av grunnmaterialet ved at endeavstanden er større en 1,2 * hulldiameter etter NS3472-200 [49].

Opplager B

Scenario 1:

De to bjelkene ved opplager B, vil bli utsatt for størst belastning. Bjelkene er festet til støtteveggen med gjennomgående M12 skruer. Enden av bjelken i lasttilfelle er definert der den første skruen, nærmest batteriene, fester til støtteveggen. F_{B1} er mindre enn F_{A1} ved scenario 2. Det kan derfor antas at skjærspenningen i M12 skruen og hulltrykkspenningen i bjelken vil være lavere enn ved skruen i opplager A ved scenario 2.

Scenario 3:

Det ble antatt at den sammensatte bjelken ved opplager B vil ta opp mesteparten av lasten for de øvre batteribeslagene. Det vil oppstå noe skjærspenning på grunn av bøyning, men de antas å være lave. De nedre batteri-beslagene støter mot en plate i bunn av støtteveggen (se Figur 55) og er festet til bakveggen samt til beslag-bunn. Det antas derfor at spenningene i fester og kontaktpunkt vil være lave.

Scenario 4:

Festepunktene blir utsatt for samme belastning som ved scenario 1 og 2, men nå i y-retning. Bjelkene vil ha flere skruer som tar opp kreftene og det vil derfor oppstå mindre skjær- og hulltrykkspenninger.

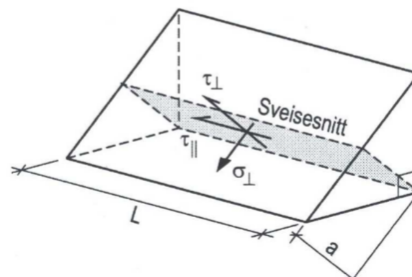
7.2.6 Sveis

Batteribeslagene vil sveises til bjelkene ved opplager B og A, samt sveises til beslag-bunn og stivere. Det ble valgt å benytte kilsveis og buttsveis med a-mål 3 mm for bjelkene og buttsveis for beslag-bunn og stivere. Fra beregningen av opplagerkrefter ved de ulike scenarioene, kan det antas at sveisen mellom bjelke og batteribeslag ved opplager A vil være mest utsatt ved scenario 2. Det ble derfor valgt å se på spenningene ved denne.

For å forenkle beregningene ble det tatt utgangspunkt i en kilsveis på hver side av bjelken for hvert batteribeslag. Det antas at disse fordeler lasten G_A likt. Dette er en konservativ vurdering, da beslaget også vil sveises til bjelken med buttsveis i øvrige kontaktpunkter. Hensikten med forenklingen er kun å se hvilke spenninger som oppstår, for å vurdere om det er nødvendig med utbedringer.

Spenningene i kilsveisen kan finnes ved å beregne jevnføringspenningen hvor spenningene er definert som på Figur 63. Jevnføringspenningen i kilsveisen kan finnes ved følgende formel:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} * \sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \sigma_{tillatt} \quad (3.15)$$



Figur 63 Spenningsretninger i kilsveisen [50].

Kraften virker vinkelrett på beslaget og vi får følgende sammenheng:

$$\sigma_{\parallel} = \tau_{\parallel} = 0, \quad \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_S}{\sqrt{2} * a * l}$$

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} = 2\sigma_{\perp} = \frac{\sqrt{2} * F_S}{a * l}$$

$$\text{kraften pr. sveis: } F_S = \frac{G_A}{4} = \frac{7339,9}{4} = 1835,0 \text{ N}$$

$$a - \text{mål: } a = 3 \text{ mm, effektiv sveiselengde: } l = L - 2 * a = 60 - 2 * 3 = 54 \text{ mm}$$

$$\sigma_{jf} = \frac{\sqrt{2} * F_S}{a * l} = \mathbf{22,7 \text{ MPa}}$$

Setter tillat spenning lik som for beslag: $\sigma_{tillatt} = 230 \text{ MPa}$

$$\sigma_{jf} \leq \sigma_{tillatt}$$

$$\mathbf{22,7 \leq 230}$$

Sveisen er tilstrekkelig dimensjonert.

De øvrige sveisene vil utsettes for mindre last og det antas at spenningene vil være lavere.

7.3 Modifisert støttevegg

I dette delkapittelet beskrives beregningsgrunnlag, forenkling av modell og FEM-analyse av modifisert støttevegg og batteri-innfestningen.

Ifølge beregningsmålet skal det undersøkes hvilke maksimale spenninger som kan oppstå og vurdere disse i forhold til dimensjoneringskriteriet. Det ble valgt å benytte en sikkerhetsfaktor på 2, i likhet med beregningen av batteri-innfestningen i kapittel 7.2. Materialene som benyttetes i forsterkningen av støtteveggen er tilsvarende som i batteri-innfestningen. Tillat spenning blir derfor lik: $\sigma_{tillatt} = 230 \text{ MPa}$. Selve støtteveggen er i glassfiber-polyester kompositt (GRP). Flytespenning til komposittmaterialet varierer sterkt med fiberretningen i forhold til spennings-retningen, og det er derfor vanskelig å definere eksakt flytespenningen til materialet. Som en konservativ forenkling ble det derfor tatt utgangspunkt i de nedre verdien for flytespenning for materialet. Fra CES Edupack ble det funnet nedre verdien for flytespenningen for GRP lik 60 MPa. Tillat spenning for støtteveggen ble derfor satt til:

$$\sigma_{tillatt} = \frac{R_e}{n} = \frac{60}{2} = 30 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

7.3.1 Beregningsgrunnlag

Under stup vil livbåten bli utsatt for en serie av komplekse lasttilfeller. I standard DNVGL-ST-E406 deles stupet opp i 4 faser [46]:

- **Vanningangsfase**

Starten på denne fasen er fra baugen bryter vannoverflaten til den delen av skroget med størst tverrsnitt passer vann overflaten. Fasen er karakterisert av store lokale slag/impuls krefter. I denne fasen retarderes den horisontale og vertikale hastigheten og rotasjons-hastigheten reverseres. Fasen avhenger også av bølger på vann overflaten. Dette må tas med i beregningene.

- **Ventilasjonsfase**

Ventilasjonsfasen starter når båten er neddykket og det genereres en luft boble over og bak livbåten. Størrelsen på luftboblen avhenger av geometrien til livbåtens aktre geometri. I denne fasen vil deler av livbåten ikke være i kontakt med vann, noe som medfører en oppdriftskraft som ikke er direkte vertikal. Den totale kraftretningen vil virke motsatt av fartsretningen til livbåten.

- **Maksimal neddykkingsfase**

Fasen starter når livbåten er ved maksimal dybde og karakteriseres av tilnærmet konstant hastighet fremover og lav vertikal hastighet av båtens tyngdepunkt. Den maksimale neddykkingsdybden defineres som posisjonen til tyngdepunktet når den vertikale hastigheten er null. Det hydrostatiske trykket vil være størst ved maksimal dybde

- **Oppstigningsfase**

Fasen starter når livbåten er på vei opp og karakteriseres av en positiv vertikal hastighet av tyngdepunktet. Fasen avsluttes når båten går ut av neddykking-fasen og flyter fritt.

I disse fasene definerer standarden følgende fem lasttilfeller som må vurderes i dimensjoneringsarbeidet [46]:

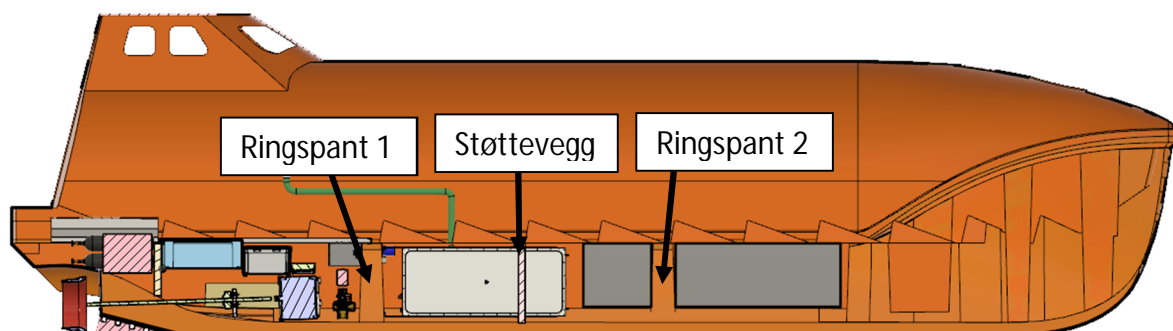
- Trykk fra slag/impuls fra vanninnngang til maksimal akselerasjon.
- Krefter fra treghetsmoment av båten ved maksimal akselerasjon.
- Lokale effekter ved ventilasjonsfasen.
- Trykk ved maksimal neddykking.
- Trykk på sidene ved oppstigningsfasen.

Videre beskriver standarden at det største slag/impuls trykket vil oppstå ved baugen når båten treffer vannflateten og bak når luftlomma bak båten lukkes og vannet slår inn mot bakveggen. De største akselerasjonene oppstår i vanninngangsfasen og ved maksimal neddykking. Ifølge [6] vil det største trykket som oppstår på midten av båten være under maksimal neddykking. [46]

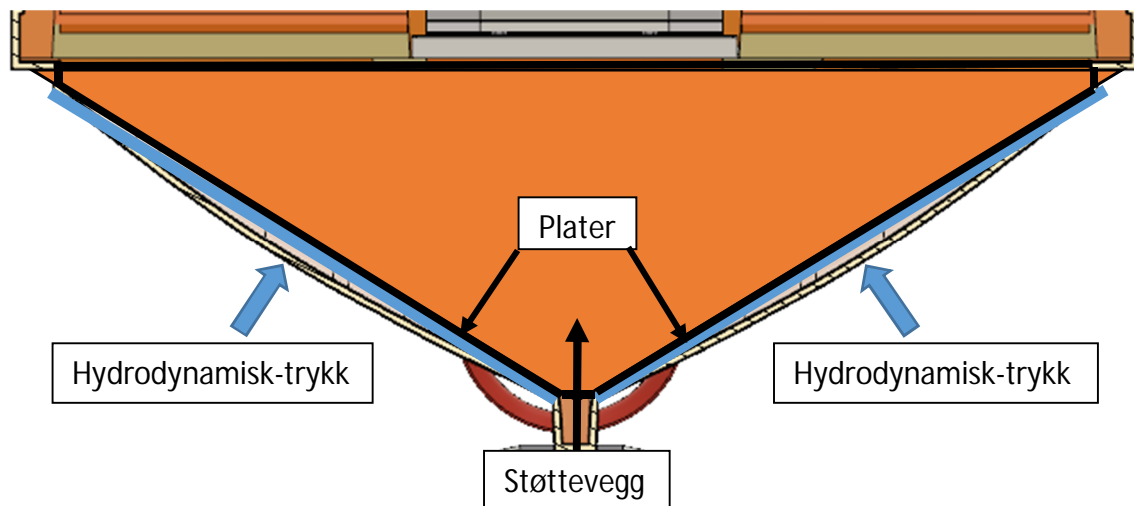
Fra en strukturell evaluerings rapport [51] av GES 40, ble det benyttet et dimensjonerende referansetrykk ved maksimal neddykking som varierer lineært fra 95 kPa akter til 155 kPa i baugen. Dette ble benyttet som utgangspunkt for de videre beregningene.

7.3.2 Forenklet modell

Ved å benytte det dimensjonerende referansetrykket fra [51], og lage en forenklet modell for midten av skroget, er det mulig å beregne belastningen på støtteveggen. I modellen forenkles ytterskroget mellom ringspant 1 og 2 til to rette plater. Figur 64 viser en oversikt over de aktuelle ringspantene og støtteveggen, og Figur 65 viser forenklet modell i sammenligning med originals kroget.



Figur 64: Oversikt over ringspant og støttevegg.



Figur 65: Tverrsnitt av skrog som viser original skrog og forenklet modell.

Det forenkles videre til at avstanden mellom støttestøtten og henholdsvis ringspant 1 og ringspant 2 er lik. For å sikre at alle forenklingene som er gjort holder seg på konservativ side, ble det valgt å benytte det største dimensjonerende referansetrykket som oppstår ved baugen og anta at dette fordeler seg jevnt over platene på midten. Det vil si at platene i den forenklete modellen blir utsatt for et normalt rettet og jevnt fordelt trykk på 155 kPa.

7.3.3 Belasting

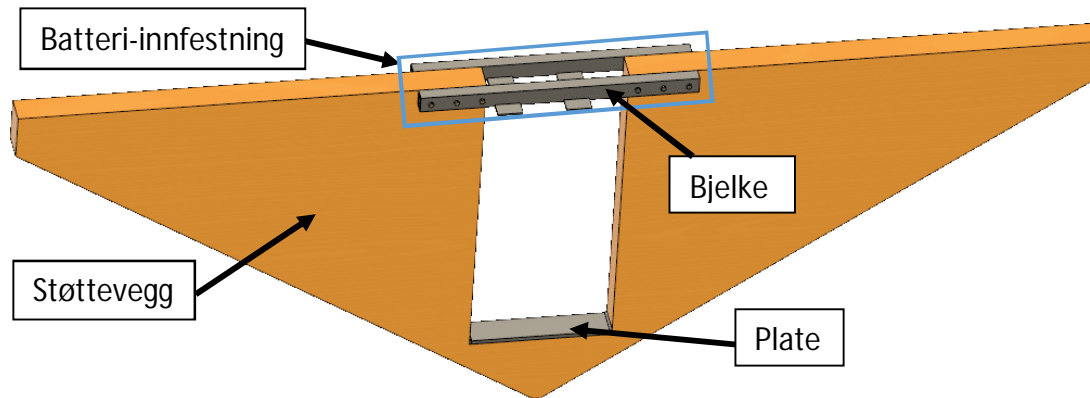
Platene i den forenklete modellen er opplagret ved ringspant 1, ringspant 2 og støttestøtten på midten. Oppplagringene ved ringspant 1 og 2 forenkles til å være fritt opplagret. Dette gjør at opplagerkraften fra støttestøtten vil være større og er derfor en konservativ forenkling med hensyn på dimensjonering av støttestøtten. På bakgrunn av symmetrien vil støttestøtten bære halvparten av kraften fra platen. Den totale kraften fra platene kan defineres som $F = P * A$, hvor $P = 155 \text{ kPa}$ og A er lik arealet til platen. Avstanden mellom ringspantene er lik 2,75 m og bredden på platen er tilnærmet lik 1,44 m. Arealet av platen blir derfor: $A = 1,44 * 2,75 = 3,96 \text{ m}^2$. Kraften på støttestøtten fra hver av platene kan beregnes ved følgende formel:

$$F_{\text{Støttestøtteveg}} = \frac{P * A}{2} = \frac{155 * 10^3 * 3,96}{2} = \mathbf{306,9 \text{ kN}}$$

Det antas at kraften fordeler seg likt over støttestøtten. I den modifiserte støttestøtten er det skåret hull til batteriene og batteri-innfestningen er festet til veggen med to kraftige bjelker. Veggen vil derfor også belastet av akselerasjonen/retardasjonen av batteriene. Det scenarioet som antas å være mest belastende, og som potensielt kan oppstå, vil være scenario 3 fra kapittel 7.2. Det ble derfor valgt å legge på belastningen fra dette scenarioet på innfestningen.

7.3.4 FEM-analyse

På grunn av kompleks geometri og den kombinerte lastevirkningen, ble det valgt å utføre styrkeberegninger av den modifiserte støttestøtten ved bruk av FEM-analyse. For å utføre analysen ble den forenklete modellen av støttestøtten satt sammen med batteri-innfestningen med M12 skruer som på Figur 66. Figuren viser den modifiserte støttestøtten.



Figur 66: Modifisert støttevegg.

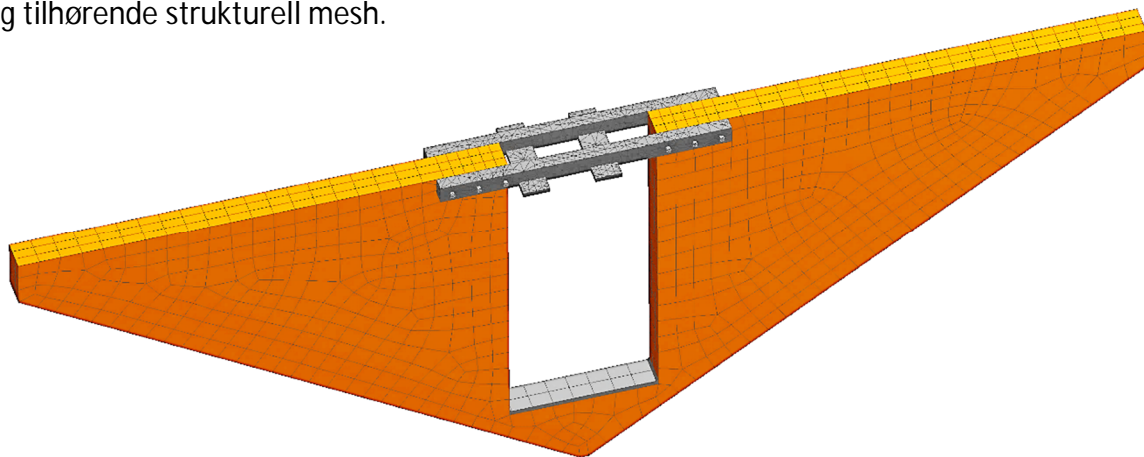
Modellen ble videre importert til ANSYS Workbench og komponentene ble tilegnet tilnærmende materialegenskaper. Hovedhensikten med å tilegne modellen ulike materialegenskaper er at stivheten til de ulike komponentene vil være avgjørende for hvordan de interagerer og dermed hvilke spenninger som oppstår. Materialene som ble benyttet i analysen er listet i Tabell 18.

Tabell 18: Oversikt hovedelementer og materialer.

Hovedelementer	Materiale	Elastitetsmodul (MPa)
Støttevegg	GRP	15 000
Batteri-innfestning	Konstruksjonsstål	$2 * 10^5$
Plate	Konstruksjonsstål	$2 * 10^5$
M12 skruer	Konstruksjonsstål	$2 * 10^5$

Mesh (Elementnett)

Meshingen av modellen ble utført ved å benytte automatisk meshing med elementstørrelse 0,02 m og en tilpasset størrelse funksjon. Videre ble det utført refinement (forbedring) av mesh til batteri-innfestningen. Meshet består av 8243 elementer med tilhørende 24 191 noder. Elementene i støtteveggen og plate er utformet i hovedsak som hexahedrer (kuber), og elementene i batteri-innfestningen er utformet som tetrahedrer. Figur 67 viser modellen og tilhørende strukturell mesh.



Figur 67: Modell med strukturell mesh.

Grensebetingelser

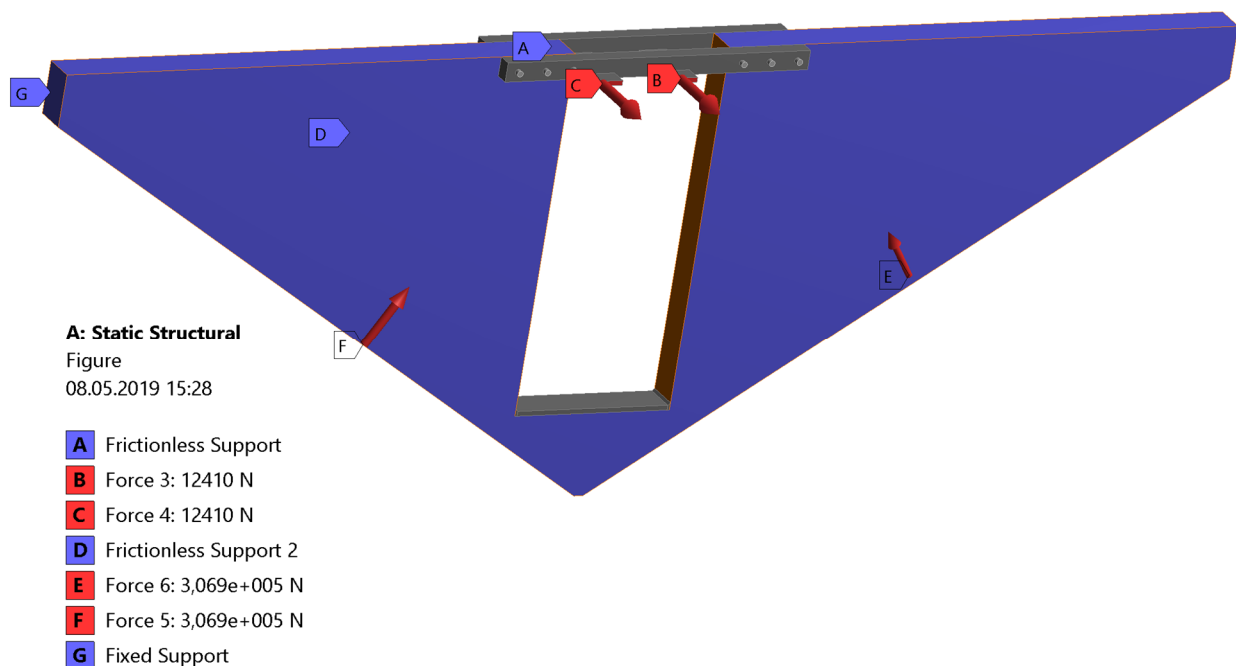
Støtteveggen er kun en liten del av livbåtenens struktur, og vil bli påvirket av den totale belastningen og deformasjon av båten. For å se på kun støtteveggen og batteri- innfestningen må det derfor gjøres forenklinger. Det antas at øvre halvdel av livbåten vil holde igjen toppen av støtteveggen i z-retning, denne blir derfor opplagret som et rullelager (Markert som A på Figur 68). For at modellen skal være låst mot bevegelse og rotasjon i alle frihetsgrader, ble modellen definert som fast innspent ved enden av støtteveggen (markert som G på Figur 68).

Kombinert lasttilfelle

Fra kapittel 7.3.3, ble det definert en kraft på hver side av støtteveggen på $306,9 \text{ kN}$. I tillegg belastes modellen i henhold til lasttilfellet fra scenario 3 fra kapitel 7.2:

$$\text{Belastning fra hvert batteri: } C = B = 12409,7 \text{ N}$$

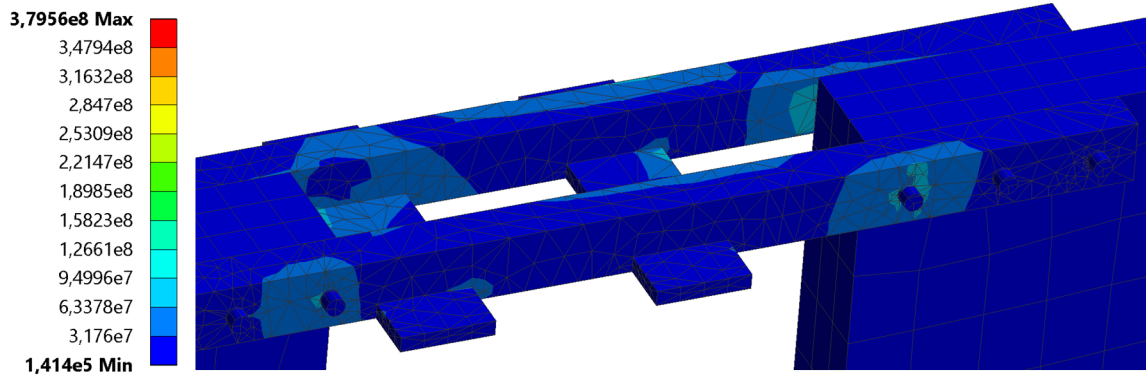
Belastningen fra scenario 3 er i x-retning, det ble derfor valgt å rullelagre støtteveggen i x-retning (markert som D på Figur 68) for å sørge for en realistisk modell. Figur 68 viser grensebetingelser og belastninger for det kombinerte lasttilfellet hvor B og C er kreftene fra scenario 3, og E og F er kreftene på støtteveggen ved maksimal neddykking.



Figur 68: Grensebetingelser og belastninger for kombinert lasttilfelle ved scenario 3.

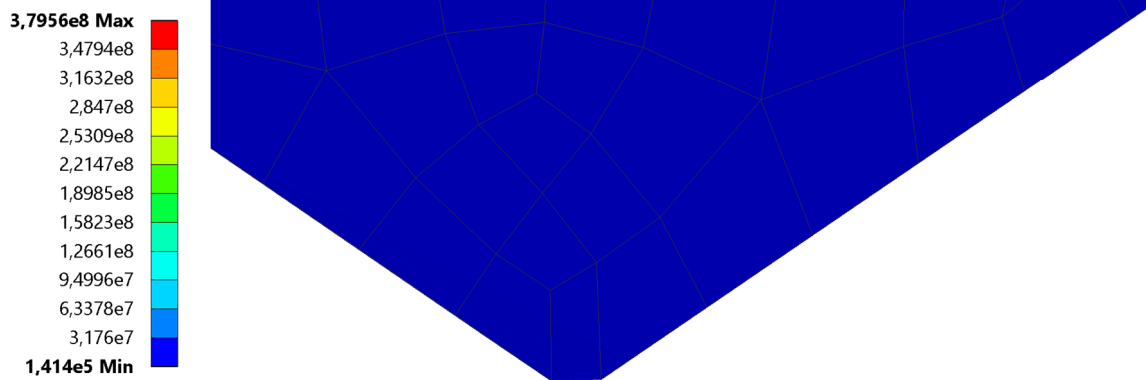
Videre ble simuleringen utført. Figur 69, Figur 70 og Figur 71 viser von Mises-spenning (jevnførende spenning) i modellen.

A: Static Structural
 Figure
 Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: Pa
 Time: 1
 08.05.2019 15:20

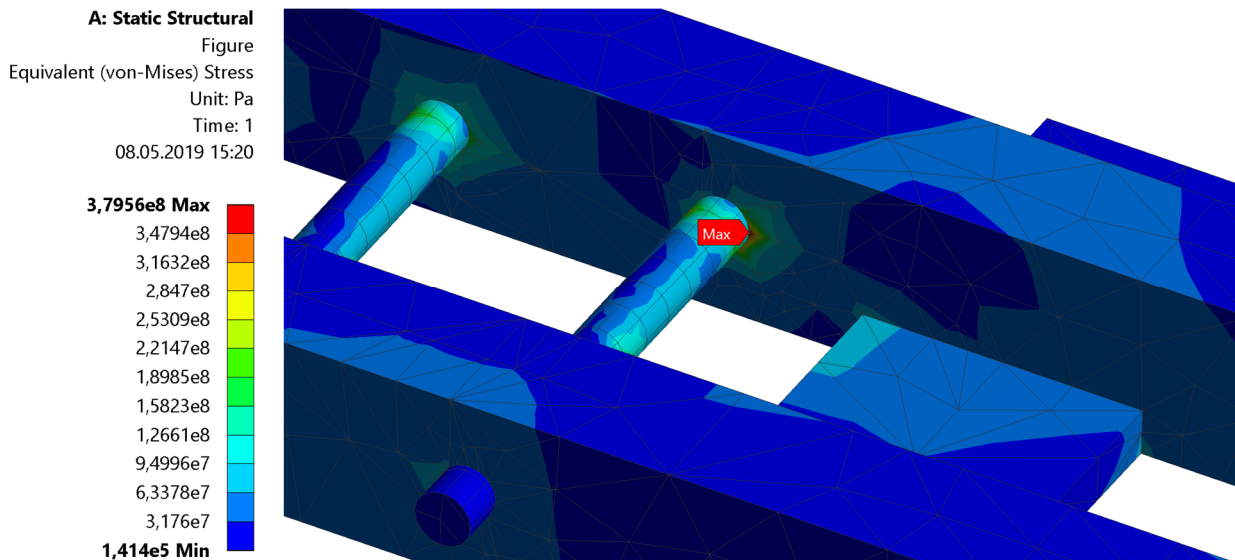


Figur 69: von Mises-spenning rundt batteri-innfestningen. Maksimal spenning= 379,6 MPa.

A: Static Structural
 Figure
 Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: Pa
 Time: 1
 08.05.2019 15:20



Figur 70: von Mises-spenning ved platen i bunn av støtteveggen. Maksimal spenning= 379,6 MPa.



Figur 71: von Mises-spenning ved skruene i batteri-innfestningen. Maksimal spenning= 379,6 MPa. Maksimal spenning vist på figur.

7.3.5 Drøfting av simuleringsresultater

Fra simuleringsresultatene ser vi at de største spenningene vil oppstå ved platen i bunn av støtteveggen og i skruene og hullene i bjelkene. Deformasjonen ble også kontrollert, men den var så lav at den ikke vil være av betydning.

Figur 70 viser at spenningene i platen i bunn av støtteveggen er høyest akkurat i overgangen til støtteveggen. Spenningene i dette området er på rundt 200 MPa og derfor innenfor den tillatte spenningen på 230 MPa. Det antas at disse spenningene kan reduseres med strukturoptimering i overgangen mellom plate og støttevegg.

De maksimale spenningene som registreres er i skruene og rundt skrueshullene i bjelkene. Disse skyldes mest sannsynlig at skruene er definert som fast innspent i bjelkene. De fungerer da som en del av bjelken, og de høye spenningene oppstår på grunn av overgangen fra stor dimensjon til liten og de kjervirkningen det skaper. Det antas derfor at de høye spenningene er singulariteter og kan ses bort fra. De maksimale spenningene er uansett under flytegrensen til bjelke- og skruematerialene.

Spenningene i støtteveggen er under den tillatte spenningen på 30 MPa og spenningene i resten av modellen er relativt lave. Det antas derfor at den foreslåtte løsningen kan benyttes til modifisering av støtteveggen. Den modifiserte støtteveggen vil da kunne opprettholde den nødvendige strukturelle funksjonen til den originale veggen.

7.4 Konklusjon og vurdering av resultater

Resultater fra håndberegninger og FEM-analysen viser at de maksimale spenningene, som kan oppstå i ekstreme lasttilfeller, er vel innenfor tillatt spenning fra dimensjoneringskriteriene. Det kan derfor antas at løsningen for batteri-innfestningene og modifisering av støtteveggen kan benyttes. Resultatene fra beregningene viser lave spenninger i de fleste lasttilfellene og viser at løsningen er kraftig dimensjonert. Videre optimering av designet, ved å for eksempel redusere dimensjoner og uthule bjelkene, kan derfor vurderes for å spare materialer.

8 ROBUSTHET OG KVALITETSKONTROLL

I dette kapitlet vil konseptets robusthet vurderes og det vil utføres kvalitetskontroll.

8.1 Robusthet

Robusthet kan forstås som evnen et system har til å tåle påkjenninger og stress. En fritt fall-livbåt er potensielt livreddende utstyr hvor det ikke er rom for teknisk eller mekaniske feil. Et robust design er derfor avgjørende. For å sørge for at dette opprettholdes i ombyggingen av GES 40 er det i dette prosjektet tatt følgende hensyn:

- Valg av komponenter er gjort på bakgrunn av tidligere utprøvde produkter og fra produsenter med høy ansiennitet og erfaring på de relevante områdene.
- Det ble valgt å benytte batteri-, alarm- og styringssystem fra ZEM. Systemene har gjennomgått omfattende tester og vist seg å fungere godt i en rekke ulike båter.
- Systemer til sprinkelanlegg, ventilasjon og gassevakuering er basert på løsninger benyttet og utprøvd i E-GES 45 og GES 40.

Resultatene fra styrkeberegningene viser at innfestningsløsningene og den modifiserte støtteveggen er kraftig dimensjonert til å tåle de forventede belastningene. Det kan derfor sies at designet er robust. For at designet skal opprettholde dette er det spesielt to faktorer som kan påvirke: korrosjon og utmatting.

8.1.1 Korrosjon

Livbåten er som regel plassert ved og benyttet i vann og luft med høyt saltinnhold. Dette er et sterkt korrosivt miljø og dette må tas hensyn til i valg av materiale og overflatebehandling.

Til innfestning av komponenter og forsterkning av støttevegg vil det benyttes syrefast stål av typen SS2377. For motorinnfestningen er det valgt å benytte aluminium av typen 6060-T6. Både aluminium og syrefast stål har svært høy motstandsdyktighet mot korrosjon og trenger ikke overflatebehandling.

Det kunne vært benyttet billigere materialer som for eksempel konstruksjonsstål og utført korrosjonsbeskyttende overflatebehandling, men for dette prosjektet er ikke pris på materialet det som er av størst betydning. Det viktigste er det opprettholder høy motstand mot korrosjon med minst mulig vedlikehold.

8.1.2 Utmatting

Livbåten vil normalt sett ikke bli brukt. Hvis den er plassert på skip så vil den bli utsatt for noe dynamisk belastning som følge av skipets bevegelse. Båten vil også bli utsatt for dynamisk belastning fra bølger under kjøring enten ved tester eller evakuering. Det antas at spenningene i innfestningene er så lave i disse tilfellene at dette ikke vil være avgjørende for dimensjoneringen. En potensiell avgjørende faktor er antall stup livbåten vil gjennomføre gjennom et livsløp. For å designe mot utmatting skal det ifølge DNVGL-ST-E406 standard [46] tas hensyn til forventede belastninger med påfølgende middel-spenning, spenningsvidde og antall sykluser slik at forventet levetid kan beregnes. Fra styrkeberegningene utført i kapittel

7, var det relativt lave spenninger som oppsto fra maksimal belastning under stup. Antall sykluser med disse belastningen vil også være svært lave, og det antas derfor at det ikke vil være fare for utmatting.

8.2 Kvalitetskontroll

Som et siste ledd av kvalitetssikringen, ble prosjektet presentert for Jakob Storjord Andersson fra Norsafe og Egil Mollestad fra ZEM for kontroll og evaluering. Fra presentasjonen kom det frem at de synes løsningene så bra ut, men at de ønsket at DC/DC skapet og kontrollskapet skulle bytte plass slik at DC/DC skapet kunne plasseres nærmere batteriene, da dette vil føre til kortere strekk med høyspenningskabler. De poengterte også at det var viktig at det var enkelt å komme til kontrollskapet og at det måtte sikres at det ikke kan komme inn vann i skapet.

På bakgrunn av tilbakemeldingen ble det valgt å bytte om på skapene og justere luka til motorrommet, slik at den vil være stor nok til at skapdørene kan åpnes. Det vil også påmonteres tetningslister for å sørge for at det ikke trenger vann inn. Figur 72 viser den modifiserte luka til motorrommet.



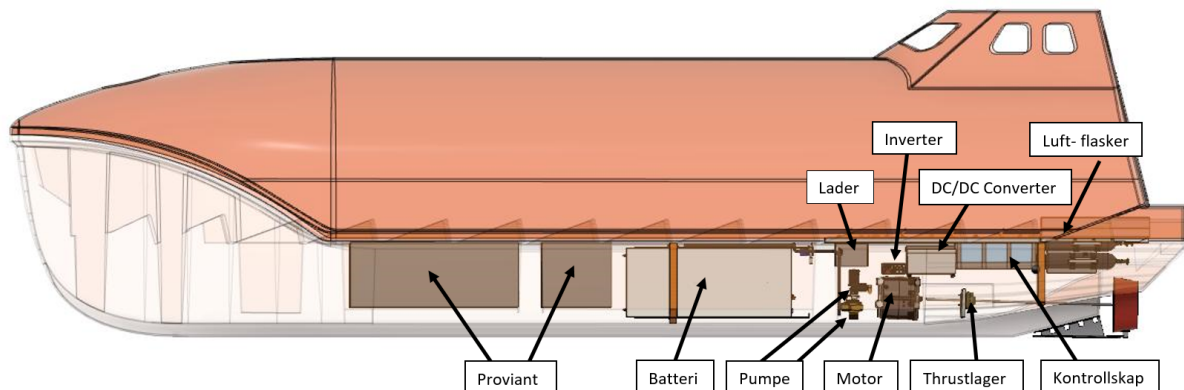
Figur 72: Lem med luka til motorrom.

Etter at disse endringene var utført ble det endelige konseptet presentert i en kort rapport som ble sendt til Norsafe og ZEM. Rapporten ble deretter benyttet til å presentere mulighetsstudien for Equinor i forbindelse med et bedriftsbesøk på Norsafe for å se på E-GES 45. Equinor synes det var en fin presentasjon og var positive til potensielt å ombygge GES 40 til elektrisk fremdrift i fremtiden.

Til slutt ble denne rapporten tilsendt Jakob Storjord Andersson ved Norsafe og Egil Mollestad ved ZEM for å kontrollere at informasjon som er oppgitt fra de er korrekt.

9 PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

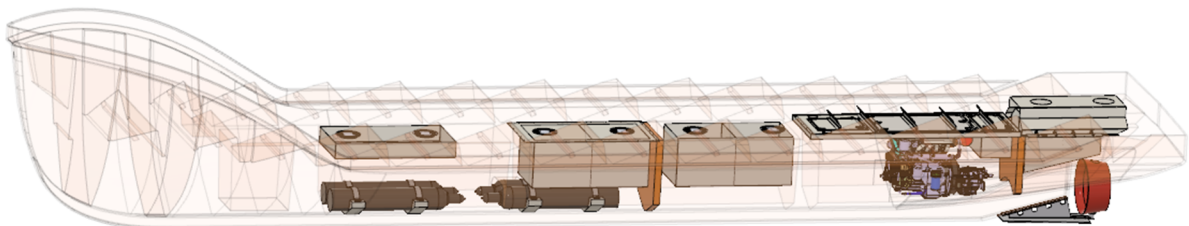
I dette kapitlet vises den endelige løsningen med plassering og innfestning av de ulike komponentene i båten. Figur 73 viser plassering av komponenter i E-GES 40.



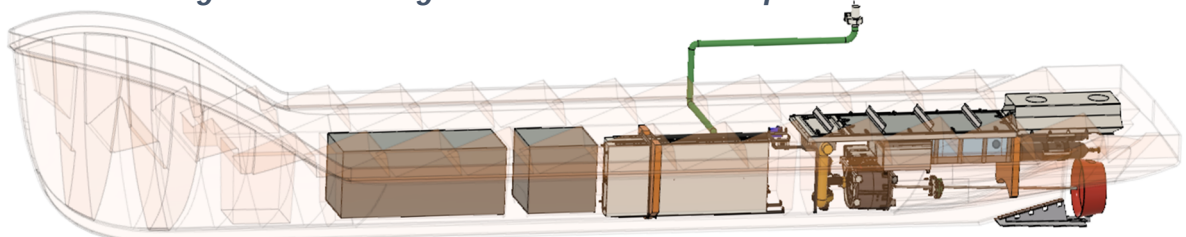
Figur 73: Plassering av komponenter EGES 40

For å sammenligne GES 40 med E-GES 40, er det vist på Figur 74 den originale plasseringen av de gamle komponentene. Figur 75 viser den ombygde versjonen E-GES 40. I hovedtrekk er følgende endringer utført:

- Fremdriftsmotoren er byttet ut med en elektrisk motor.
- Proviantboksene er flyttet lengre frem for å få plass til batteriene.
- Det er skåret hull i støtteveggen slik at batteriene kan plasseres.
- Kontrollskap, DC/DC skap, inverter, thrustlager, sprinkelpumpe, motor og lensepumper er plassert i motorrommet.
- Batterirommet utstyres med et eget ventilasjonssystem som detekterer og evakuerer gass, samt et sprinkleranlegg for slukning av brann.
- Innstallering av nytt ventilasjonssystem til luft og kjølesystem.
- Luftflaskene er byttet ut med mindre flasker og plassert i det bakerste skottet.
- Komponentene festes tilstrekkelig og den modifiserte støtteveggen forsterkes.
- HMI-skjerm, throttle og diverse knapper installeres i cockpit.



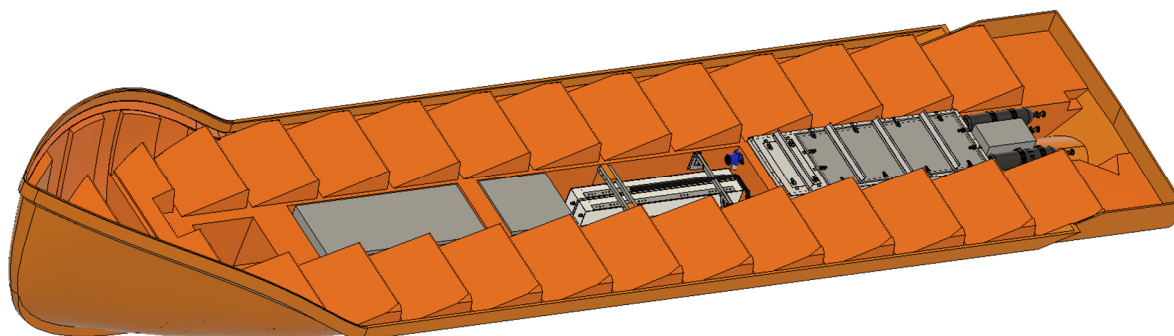
Figur 74: Plasseringsoversikt over hovedkomponenter i GES 40.



Figur 75: Plasseringsoversikt over hovedkomponenter i E-GES 40.

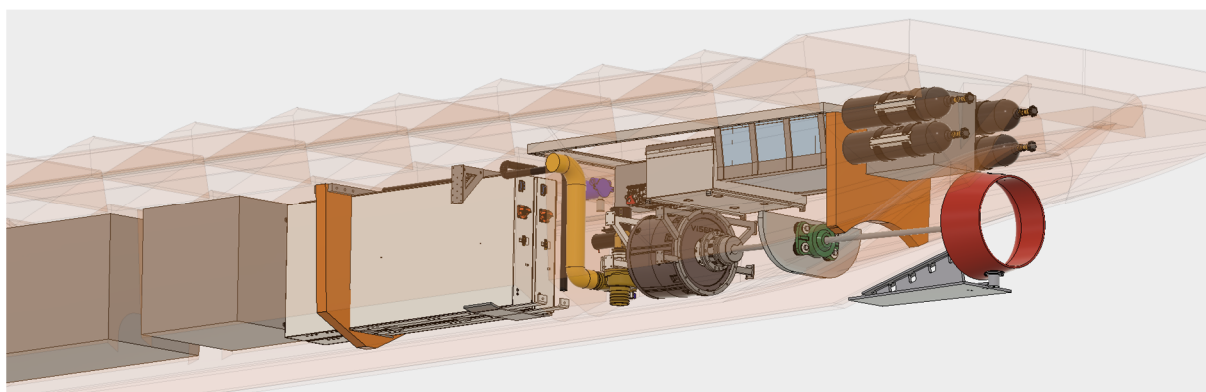
Detaljer av konseptet

Her følger detaljerte oversiktsbilder av E-GES 40. Detaljerte figurer for innfestningen av de ulike komponentene og løsninger for sprinkler-, kjøling- og ventilasjonssystem er vist i kapittel 6. Den modifiserte lemmen til batterirommet er vist på Figur 72 i kapittel 8.2 og kan ses på Figur 76.

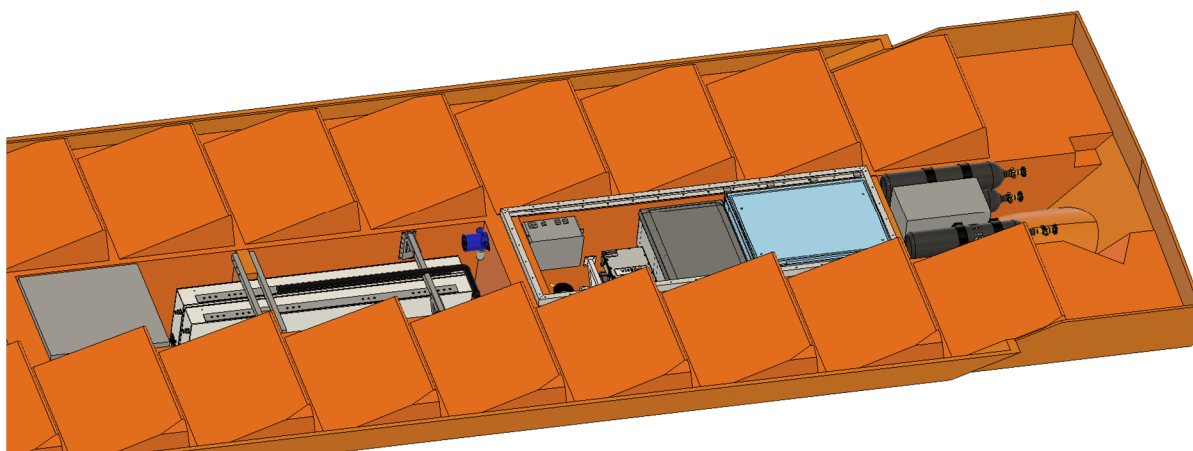


Figur 76: Proviantboks, batteri-innfestning og lem til motorrom.

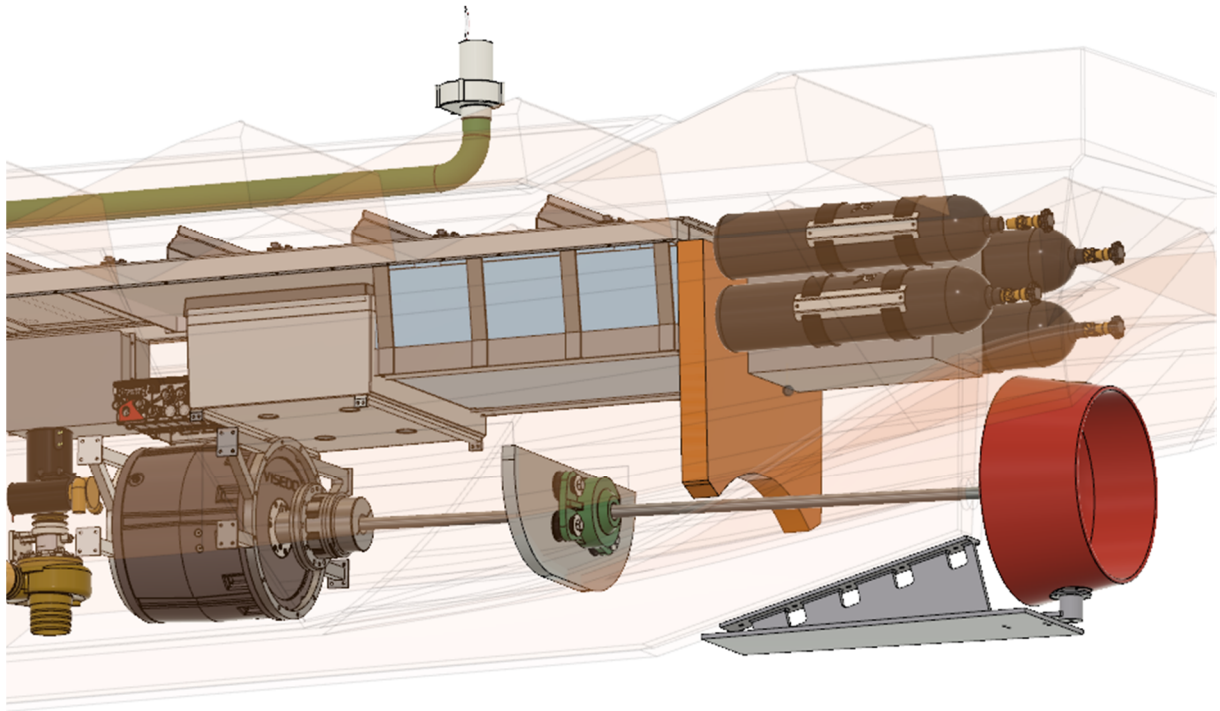
Figur 77, Figur 78 og Figur 79 viser den elektriske drivlinjen og øvrige komponenter i E-GES 40.



Figur 77: Den elektriske drivlinjen og øvrige komponenter i E-GES 40, sett nedentil.



Figur 78: Den elektriske drivlinjen og øvrige komponenter i E-GES 40, sett skrått ovenfra.



Figur 79: Plassering og innfestning av luftflasker, kontrollskap, DC/DC skap, motor og thrustlager.

10 KOSTNADSANALYSE OG MILJØREGNSKAP

Sentrale spørsmål i mulighetsstudien er hvor mye vil det koste og om det vil det være lønnsomt. Dette kapitlet viser en oversikt over kostnader forbundet med prosjektet og hvilke potensielle besparelser som muliggjøres ved ombygging, samt et grovt miljøregnskap.

En antagelse i kostnadsanalysen og miljøregnskapet er at transport av livbåten til og fra oljeplattformen kan utføres ved å benytte eksisterende transportløsninger, og at dette ikke vil medføre betydelige ekstraavgifter eller utslipp. Oljeriggene har som regel en eller flere livbåter i reserve i tilfelle det må utføres reparasjoner eller utskiftninger. Det antas derfor videre at oljeriggen kan fortsette normal drift uavhengig av utskiftningen.

10.1 Kostnadsanalyse

Kostnadsanalysen er delt opp i to deler: kostnadsoversikt for mulighetsstudien og kostnadsoversikt for ombyggingen.

Tabell 19 viser en kostnadsoversikt for mulighetsstudien. Tabell 20, Tabell 21, Tabell 22 og Tabell 23 viser en kostnadsoversikt over ombyggingen. Oversikten er laget i samarbeid med ZEM og Norsafe. Det ble tatt utgangspunkt i en kostnadsoversikt fra E-GES 45 og justert etter ulike komponenter og løsninger benyttet i E-GES 40. Ved bestilling av flere båter, kan det antas at kostnaden per båt kan reduseres som følge av potensielt økt effektivitet og mer lønnsomme avtaler med forhandlere av komponentene.

Tabell 19: Kostnadsoversikt mulighetsstudie.

Arbeid	Ant. Timer (avrundet)	Timesats(NOK)	Sum (NOK)
Utredning	120	550	44 000
Casestudiet E-GES 45	90	550	49 500
Valg av komponenter	60	550	33 000
Rangeberegning	50	550	27 500
Tyngdepunktregning og plassering	150	550	82 500
Design av innfestninger	90	550	49 500
Styrkeberegning	60	550	33 000
Standardisering	20	550	11 000
Prosjektrapport	266	550	146 300
Totalkostnad mulighetsstudie	906		498 300

Tabell 20: Kostnadsoversikt elektrisk drivlinje og installasjon i E-GES 40.

Produsent	Modell	Beskrivelse	Stykkpris	Valuta	Sum (NOK)
Akasol OEM 15		2 stk	13 725	EUR	260 775
TTC94		1 x 1320	1 650	EUR	15 675
HV Kabler		3 stk	960	EUR	9 120

Tabell 20 fortsetter: Kostnadsoversikt elektrisk drivlinje og installasjon i E-GES 40.

Produsent	Modell	Beskrivelse	Stykkpris	Valuta	Sum (NOK)
LV Kabler			7 125	EUR	67 687
Hydr coupl.		6 stk	12,8	EUR	730
Data logger			2 000	EUR	19 000
HVJunction box			18 750	EUR	178 125
		Trottle	2 500	USD	22 750
Danfoss	EM-PMI375-T500	Elektrisk motor 77 kW @ 1300 rpm	12 000	EUR	114 000
	EC-C1200-450	Inverter	10 000	EUR	95 000
Omron	NJ-101 series	PLS og tilhørende komponenter	7 500	EUR	71 250
Cables			6 250	EUR	59 375
HMI		Omron skjerm	1 500	EUR	14 250
ZEM	Engineering/management, 150 000 pr. skip		150 000	NOK	150 000
DNV-GL		Produkt sertifikat	50 000	NOK	50 000
		Margin	100 000	NOK	100 000
Totalt					1 227 746
Påslag 16 %					196 439
Totalt inkl. Påslag					1 424 185

Tabell 21: Kostnadsoversikt over øvrige komponenter til E-GES 40.

Produsent	Modell	Beskrivelse	Stykkpris	Valuta	Sum (NOK)
	MUX-6302	Motor til sprinkleranlegg	10 000	NOK	10 000
Jabsco	23920-2313	Pumpe til kjøling	6 500	NOK	6 500
Jabsco	35760-0094	Ventilasjonsvifte	2 500	NOK	2 500
	Water Puppy 12V	Lensepumper+ Sprinklerpumpe (batterier)	2 149	NOK	6 447
Maritim	4240-00	Motorromsvifte	650	NOK	650
Salwico	GD10	Gassdetektor(Pris monicon)	12 500	NOK	12 500
Aquadrive	B10	Thrustlager	15 000	NOK	15 000
Rotex		Div. Koblinger til aksel	6 500	NOK	6 500
JinDun		4*12 l Luftflasker	800	NOK	3 200
Norsafe		Deluge system for batterier	10 000	NOK	10 000
Div. utstyr			50 000	NOK	50 000

Tabell 21 fortsetter: Kostnadsoversikt over øvrige komponenter til E-GES 40.

Produsent	Modell	Stykkpris	Valuta	Sum (NOK)
Innfestning motor		5 000	NOK	5 000
Innfestning batterier		18 000	NOK	18 000
Innfestning luftflasker		4 000	NOK	4 000
Øvrige innfestninger		10 000	NOK	10 000
Totalt				160 297

Tabell 22: Kostnadsoversikt for montering av komponenter og testing av EGES 40

Arbeid	Beskrivelse	Ant.Timer	Timesats (NOK)	Sum (NOK)
Montering	Demontering av originale komponenter	150	500	75 000
	Endring i originale komponenter	20	500	10 000
	Montering av hovedkomponenter	50	500	25 000
	Montering av sprinkleranlegg	30	500	15 000
	Montering av gassventilasjon	20	500	10 000
	Montering av ventilasjonanlegg	50	500	25 000
	Montering i cockpit	40	500	20 000
	Montering av øvrige komponenter	30	500	15 000
Testing				
	Verifisering*			100 000
	Sjøprøver (kran, arbeidstimer)			50 000
	Drop- test (transport, leie av test-tårn, arbeidstimer)			800 000
Totalt				1 145 000

*Eget estimat

Tabell 23: Totalkostnad EGES 40.

Hovedelementer	Sum (NOK)
Elektrisk drivlinje og installasjon fra ZEM (inkl. margin)	1 424 185
Øvrige komponenter fra Norsafe	160 297
Montering og testing av Norsafe	1 145 000
Margin Norsafe (16%)	183 200
Totalkostnad pr. båt	2 912 682

Fra en sammenligning av vedlikeholdsarbeid for diesel- og elektriskdrift for GES 45 og E-GES45, ble det beregnet en vedlikeholdsbesparelse på ca 300 timer per år (dersom man tar utgangspunkt i identisk sikkerhetsnivå). Sammenligningen ble utført av Norsafe og Vedlegg 1 viser et utdrag fra denne.

Kostnadene forbundet med en time arbeid offshore kan grovt estimeres ifølge [6] til 10 000 NOK pr. time. Med utgangspunkt i besparelse på ca 300 timer vedlikeholdsarbeid og en estimert kostnad på 10 000 NOK per time, tilsvarer dette en total besparelse på ca 3 millioner NOK per år. Det vil si at investeringen vil være tilbakebetalt allerede etter et år, og sørge for en brutto besparelse på ca 3 millioner kr hvert påfølgende år.

10.2 Miljøregnskap

For å gjøre et overslag over miljøregnskapet for ombyggingen, ble det tatt utgangspunkt i de komponentene som er mest energikrevende å produsere. Disse komponentene er batterier, fremdriftsmotor og innfestninger. For de øvrige komponentene ble det kun utført et grovt estimat.

Batterier

Ifølge en livsløpsanalyse (LCA) [52], utført av ZEM vil produksjon, transport og resirkulering av AKAZEM batteripakke tilsvare 130 kg CO₂ ekvivalent/kWh. I EGES 40 vil det installeres to batteripakker med en total kapasitet på 48,8 kWh. Dette utgjør en CO₂ ekv. for batteriene lik: $48,8 \cdot 130 = 6344$ kg.

Fremdriftsmotor

For å gjøre et konservativt estimat på CO₂ ekv. for fremdriftsmotoren, ble det tatt utgangspunkt i en livsløpsanalyse av en 110 kW, 3 fase induksjon AC motor med effektklasse IE 1. Motoren benyttet i E-GES 40 er relativt lik i oppbygning og har samme effektklasse. Det ble derfor antatt at CO₂ ekv. ville være lignende. Ifølge livsløpsanalysen i [53] så er CO₂ ekv. for 110 kW motoren lik 4425 kg.

Innfestninger

Det estimeres at innfestningene av batterier, motor og elektriske skap vil bestå av ca 30 kg stål og ca 20 kg aluminium. Ved å gjøre en miljøanalyse ("ECO audit") i CES Edupack (kap.3.5) med de aktuelle materialtypene, ble CO₂ ekv. for produksjon og transport regnet ut. Som parametere i beregningen ble det definert en transportlengde på 2000 km med lastebil og produksjon ved støpning samt grov maskinering med et estimert materialtap på 10 % i hver prosess. Vedlegg 2 viser analysen og Tabell 24 viser resultatene for CO₂ ekv fra denne.

Tabell 24: Resultater fra miljøanalyse i CES Edupack for innfestningene.

Prosess	CO ₂ ekvivalent (kg)
Materialer	410
Produksjon	21
Transport	16
Totalt	447

Øvrige komponenter

De øvrige komponentene som inverter, thrustlager, lader, kontrollskap og diverse pumper, vil utgjøre en lignende vekt og kompleksitet som fremdriftsmotoren. Et grovt estimat er derfor at CO₂ ekv. vil være lik som for fremdriftsmotoren. Det vil si 4 425 kg.

Total miljøbelastning i forhold til CO₂ ekvivalent

Den totale CO₂ ekv. fra komponenter og innfestninger ble deretter satt opp og beregnet i Tabell 25.

Tabell 25: Total miljøbelastning i forhold til CO₂ ekvivalent for ombyggingsprosjektet.

Komponent	CO ₂ ekvivalent (kg)
Batterier	6 344
Motor	4 425
Innfestninger	447
Øvrige komponenter	4 425
Totalt	15 421

Miljøbesparelse med tanke på CO₂ ekvivalent

Livbåten blir helst ikke brukt, miljøbesparelsen ved å benytte elektrisk fremdrift vil derfor kun være når motoren blir testet. Testene blir utført hver 14 dag og motorene kjøres på tomgang i 10 minutter. Ifølge Norsafe tilsvarer dette et forbruk på ca 25 l diesel i året. CO₂ ekv. per liter diesel er 3,17 kg/l [52]. Total besparelse i utslipp blir derfor: 25 * 3,17 = 79,3 kg CO₂ ekv. per år. Dette er hvis man tar utgangspunkt i at den ombygde versjonen kun benytter 100 % ren elektrisk energi. Det vil også være miljøbesparelse på grunn av reduksjon av vedlikehold. Ombyggingen vil føre til en reduksjon på 300 offshoretimer i året. Det ble ikke funnet noe godt estimat på hvilken CO₂ ekv. dette vil medføre.

Resirkulering

GES 40 er bygget i stor grad av glassfiber og polyester. Dette er materialer som er vanskelige å resirkulere. En ombygging kan ses på som en form for resirkulering, forutsatt at det vil forlenge brukstiden. Batteriene og de elektriske komponentene kan også plukkes ut og brukes igjen.

Ved slutten av sitt livsløp kan batteriene resirkuleres ved å benytte pyrometallurgi og hydrometallurgi for å gjenvinne noe av materialene. Prosessen vil kunne effektiviseres ved at den standardiseres og utføres i en større skala. Det planlegges blant annet å bygge resirkuleringsanlegg for Li-ion batterier i Norge. [52]

Stål og aluminium benyttet i innfestningene vil enkelt kunne resirkuleres ved omsmelting. Delene i el-motoren består i stor grad av stål, kobber og noe magneter. Disse kan demonteres og resirkuleres. De øvrige komponentene antas å kunne resirkuleres, men et sentralt spørsmål vil være om det er bærekraftig med tanke på økonomi og miljø.

Konklusjon

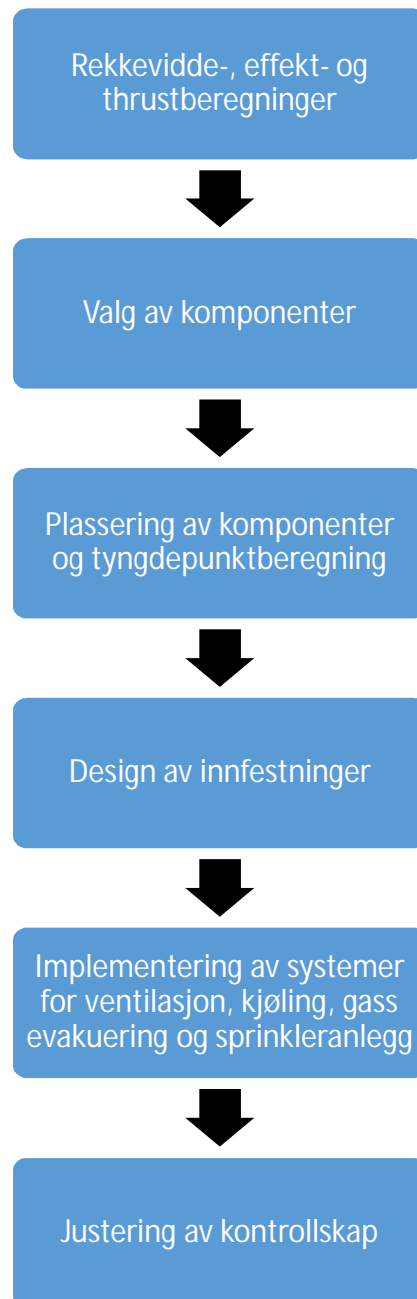
Resultatene fra denne miljøanalysen estimerer at ombyggingen av GES 40 til elektrisk fremdrift vil medføre utslipp av 15 421 kg CO₂ ekv., en besparelse på 79,3 kg CO₂ ekv. per år og CO₂ ekv. tilsvarende 300 offshore timer.

De fleste komponentene som blir installert kan gjenbrukes og resirkuleres. Ombyggingen kan ses på som en resirkulering av en gammel livbåt. Hvis denne resirkuleringen øker produktets levetid, så kan det potensielt gi en stor miljøbesparelse.

Den totale miljøbelastningen for ombyggingen er kompleks, og en netto CO₂ ekv. for ombygningsprosjektet er vanskelig å beregne eksakt. På bakgrunn av resultatene fra denne analysen kan det antas at ombyggingen ikke vil gi en gunstig miljøeffekt.

11 STANDARDISERING AV PROSEDYRE

På bakgrunn av prosedyren og komponentene benyttet i dette prosjektet, ble det valgt ut standard komponenter og utviklet en standardisert prosedyre som kan benyttes til å effektivisere fremtidige ombyggingsprosjekter. For å visualisere prosedyren ble det satt opp et flytdiagram (Figur 80) som viser de ulike trinnene. Trinnene blir beskrevet i detalj videre i dette kapitlet.



Figur 80 Standardisert prosedyre for mulighetsfase av ombyggingsprosjekt.

Beregninger

Det beregnes først nødvendig effektbehov, maks effekt, moment og thrust i Tabell 26.

Tabell 26: Beregning av nødvendig effektbehov, maks effekt, moment og thrust.

Effekt/Energi behov	Propulsion efficiency	Hull drag (N)	Air drag (N)	Effekt propell (kW)	Tap i drivverk	Effekt motor (kW)	Hotell load (kW)	Energi behov (kWh)
4 m/s i 10 h	48,00 %	583		1,20	4,0 %	2,60	0,5	30,99
8 m/s i 10/60 h	35,00 %	5004		20,59	4,0 %	61,19	0,5	10,28

Batterisystem	Kapasitet (kWh)	Antall	Totalt (kWh)
Akazem 15 OEM	24,4	2	48,8
Totalt Energi behov (kWh)	41,28		
Installert kapasitet (kWh)	48,8		
Ekstra range ved 4 m/s (h)	2,43		
Bollard pull(N)= 0,9*We	Moment(Nm)	Turtall(RPM)	Effekt(kW)
7965	536	1210	68

Standardkomponenter

Ut fra beregningene kan man velge motor og thrust lager fra kompatible standardkomponenter i Tabell 27 og Tabell 28.

Tabell 27: Oversikt over kompatible elektriske fremdriftsmotorer.

Motor (Danfoss)	Turtall (rpm)	Effekt (kW)	Moment (Nm)	Vekt (kg)	Diameter (mm)	Lengde (mm)
EM-PMI375-T500	1100	62	542	172	450	368
EM-PMI375-T500	1300	77	567	172	450	368
EM-PMI375-T500	1600	96	574	172	450	368
EM-PMI375-T800	1300	123	905	215	450	428
EM-PMI375-T800	1600	156	931	215	450	428
EM-PMI375-T1100-1200	1200	168	1340	296	450	548

Tabell 28: Oversikt over kompatible thrustlager.

Thrust lager	Maks turtall (rpm)	Moment (Nm)	Thrust (kN)	Motor-effekt(kW)	Aksel diameter
Aquadrive B 10*	2000	2068	11	96	20/22/25/30/32/35/40
Aquadrive B 20*	2000	1400	14	100	35/40/45/50
Aquadrive B 30*	1700	3000	21	240	40/45/50/60/65/70

*mulighet for CV ledd

Tabell 29 viser oversikt over de øvrige standard komponenter med tilhørende vekt og dimensjoner.

Tabell 29: Oversikt over øvrige standard komponenter.

Elektriske komponenter	Modell	Dimensjoner (mm)	Vekt (kg)	Ant.	Total vekt (kg)
Batteri	Akazem 15 OEM	1700*150*700	253	2	506
DC/DC Skap		693*495*280	65	1	65
Kontrollskap		825*626*260	25	1	25
Inverter	Danfoss: EC-C1200-450		15	1	15
Lader			15	1	15
Pumpe til kjøling	Jabsco 23920-2313		4,3	1	4,3
Motorpumpe			14	1	14
Pumpe til sprinkleranlegg	Sp.Pump 90-80 CPBJ 0		18	1	18
Ventilasjonsvifte	Jabsco 35760-0094		3,0	1	2,95
Gassdetektor	Salwico GD10		1,8	1	1,8
				Sum	667

Plassering og tyngdepunktberegninger

Når komponenten er valgt, må det lages en oversikt over hvilke komponenter som kan tas ut. Deretter gjøres tyngdepunktberegninger samtidig som man undersøker mulige plasseringer av komponenter med tanke på plassbegrensning og funksjon.

Implementering

Det er videre tre trinn som må gjøres individuelt for hvert prosjekt. Det er innfestning av komponenter, justering av kontrollskap og tilpasning av ventilasjons-, kjøling- og sprinkler-system. ZEMs drivlinje benytter et standard kontrollskap for drivlinjen som justeres til å implementere de øvrige elektriske systemene i båten. Systemene vil variere fra båt til båt, og det vil derfor være nødvendig med individuelle justeringer. De ekstra kravene til ventilasjons-, kjøling- og sprinklersystem kan sannsynligvis oppnås ved å benytte lignende systemer som beskrevet i E-GES 40 og E-GES 45 med enkle tilpasninger.

12 PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

I dette kapitlet reflekteres det over de viktigste arbeids- og utviklingsprosessene samt resultatene av disse. Hensikten er å gjøre en kritisk vurdering av eget arbeid slik at det er mulig å lære av, forbedre og videreutvikle prosessen.

Metodikk

- Benyttelse av utviklingsmetodikk på en systematisert måte har vært et nyttig verktøy i utviklingsprosessen. Det har hjulpet meg til å se prosjektet i et mer helhetlig perspektiv, og benytte dette i hvert prosessstrinn. Dette er noe jeg erfart og blitt mer bevisst på i løpet av prosessen.

Teori og teknologiutredning

- Fritt fall-livbåter er noe jeg hadde lite kjennskap til før dette prosjektet. Informasjonsinnhenting var derfor et avgjørende trinn for å skaffe meg den kunnskapen som var nødvendig for å utføre prosjektet.
- Batterier, elektriske motorer, elektriske systemer og rekkeviddeberegninger var også nye fagområder som jeg har måttet sette meg inn i. Teori og utredning delen av prosjektet har derfor vært svært lærerikt og nødvendig for arbeidet.
- På grunn av det store spennet av fagområder, ble det besluttet å fokusere på den grunnleggende og relevante teorien for å løse problemstillingen. Jeg tror dette var gunstig i forhold til tidsbruken, da teorien rundt disse fagområdene er svært omfattende.

Konseptgenerering

- Det kunne vært utarbeidet flere løsninger og gjort en grundigere analysefase av innfestningene, men grunnet prosjektets omfang ble det valgt å ikke bruke mer tid på å optimalisere designet. Dette vil være en naturlig del av det videre arbeidet.
- Erfaringer fra dette prosesstrinnet er at det er viktig å implementere grunnleggende styrkeberegninger tidlig i konseptfasen, slik at man kan oppdage feil/mangler ved løsningen så raskt som mulig.
- Design av ventilasjon-, kjøling- og sprinkelsystemer ble basert i stor grad på hva som var benyttet i E-GES 45, men ble modifisert for E-GES 40. Fordelen med å benytte disse systemene var at de allerede er utprøvd, noe som fører til mindre arbeid med verifisering og testing. Det kan også her jobbes videre med optimalisering og videreutvikling av systemene.

Styrkeberegning

- På grunn av kompleksiteten rundt belastninger og innfestninger, ble det valgt å gjøre en del forenklinger for å lette analyse- og beregningsarbeidet. Hensikten med styrkeberegningene var først og fremst å undersøke om løsningene ville fungere. Videre optimalisering av løsningene vil være en naturlig del av det videre arbeidet.
- FEM-analysen var et nyttig verktøy for å finne et overslag over spenningene i den modifiserte støtteveggen, men det var en utfordring å finne gode grensebetingelser som reflekterer hvordan geometrien til resten av livbåten ville påvirke. På grunn av kompleksiteten fant jeg heller ikke noen gode håndberegninger til å verifisere FEM-analysen. For det videre dimensjoneringsarbeid anbefales det å jobbe videre med dette.

Robusthet og kvalitetskontroll

- Det antas at det ikke er fare for utmatting av de innfestningene som er beskrevet i dette prosjektet. Dette bør allikevel undersøkes nærmere før endelig dimensjonering av løsningene. Det bør også utføres videre FEM-analyse og strukturoptimering av innfestninger og forsterkning av støtteveggen for å sørge for et enda mer robust design.
- Tett oppfølging av bedriftene har ført til kontinuerlig kvalitetskontroll gjennom hele prosessen. Det har vært en stor trygghet å kunne konsultere med bedriftene, og jeg tror den tette kommunikasjonen har medført en mer effektiv arbeidsprosess.

Kostnads- og miljøanalyse

- Det ble forsøkt å finne mer nøyaktige estimer for kostnader per offshore-arbeidstime fra Equinor, men det viste seg å være vanskelig å oppdrive. En grundigere analyse av den potensielle besparelsen kunne vært nyttig, men på en annen side er det kunden som er best kvalifisert til å gjøre en slik analyse.
- Miljøanalysen ble basert på tidligere livsløpsanalyser av batterier og en lignende elektrisk motor. Analysen ble utført ved en del grove estimer. En grundigere analyse av de øvrige komponenten, samt en optimering av produksjon og materialvalg kan være nyttig i det videre arbeidet med mulighetstudien.

Standardisering av prosedyre

- Standardisering av prosedyre og komponenter har vært en viktig del av prosjektet. Det er ikke beskrevet i stor grad i rapporten, med det har en gjennomgående del av tankeprosessen.
- Prosedyren er basert på arbeidet som er gjort i dette prosjektet. Det antas at den vil fungere godt på andre type livbåter, men den bør testes ut og eventuelt forbedres etter hvert prosjekt.
- Det vil være mulig å forbedre prosedyren videre ved å gjøre en grundig analyse av andre komponenter og hvordan de kan implementeres i ZEMs drivlinje.

13 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

Mulighetsstudien gir en oversikt over hvordan en ombygging av GES 40 til elektrisk fremdrift kan utføres ved bruk av ZEMs standard drivlinje og Norsafes tekniske løsninger benyttet i E-GES 45. Studien viser at ombyggingen er mulig å gjennomføre på en hensiktsmessig måte, og det antas at livbåten kan bygges til å oppfylle relevante krav, standarder og definerte produktmål. Studien viser også hvordan prosedyren for mulighetsfasen i et ombyggingsprosjekt kan standardiseres og potensielt effektiviseres.

13.1 Resultater

Fra beregnings- og analysefasen av dette prosjektet ble det funnet følgende resultater:

- Tyngdepunktbergingene viser at ombyggingen vil medføre en økning av den totale vekten på 235 kg og en forskyvning av tyngdepunktet på 0,18% i forhold til LOA.
- Styrkebergingene viser at innfestningen av batterier og forsterkning av støtteveggen vil kunne dimensjoneres til å tilfredsstille dimensjoneringskriteriene.
- Kostnaden ved ombyggingen vil være ca 3 millioner NOK, og det estimeres en årlig besparelse på ca 3 millioner NOK i vedlikeholdsutgifter. På bakgrunn av dette vil investering vil være lønnsom etter et års bruk.
- Ut fra overslagsberginger av miljøbelastningen vil ombyggingen sannsynligvis ikke kunne gi et positivt miljøregnskap i løpet av livbåtens levetid.

13.2 Videre arbeid

Dette prosjektet er utført som en mulighetsstudie. Det vil si at resultatet vil være avgjørende for om bedriften ønsker å jobbe videre med prosjektet. Studiet danner derfor et grunnlag som det videre arbeidet kan baseres på. Det videre arbeidet er delt opp i arbeid med henholdsvis mulighetsstudien, ombyggingsprosjektet og standardiseringen av prosessen.

Mulighetsstudie

- Innhente skrogsmodstandsdata fra Marin og utføre eksakte rekkeviddeberegninger.
- Grundig kostnad- og miljøanalyse.
- Designe innfestningsløsninger for øvrige komponenter.

Ombyggingsprosjekt

- Dimensjonering og strukturoptimering av innfestninger og modifisert støttevegg.
- Detaljering av de tekniske løsningene. Detaljeringen innebærer tekniske tegninger og detaljert system kart over ventilasjon, sprinkler-, kjøling- og styringssystem.
- Verifisering av innfestninger og modifisert støttevegg.
- Utforming av cockpit.
- Bygging av prototyp.
- Verifisering og testing av livbåt og systemer.

Standardisering av prosedyren

- Analysere andre aktuelle komponenter og hvordan de kan implementeres.

14 FIGURER

Figur 1: Koksing av eksosreguleringsventil [3].....	1
Figur 2: Koksing på stempel [4].....	1
Figur 3: USS Jupiter, det første skipet med elektrisk fremdrift [7].....	2
Figur 4: En av Norsafes fritt fall-livbåter, GES 52 [11].	3
Figur 5: Bilde av "Vision of the fjords" [16].	5
Figur 6: Prototypen E-GES 45 [17].....	6
Figur 7: Visualisering av nullpunkt GES 40 [22].....	15
Figur 8: Oversikt over positive retninger i koordinatsystemet. Positive dreieretninger.....	15
Figur 9: Prosesstrinn med forbedringsiterasjoner....	20
Figur 10: Egenskaper ved et "Octagon batteri" [30]. [25]...	21
Figur 11: Prinsippskisse av en Li-ion battericelle [29]	22
Figur 12: Forholdet mellom spesifikk energi og spesifikk effekt i ulike [32].....	23
Figur 13 Stator [36].....	25
Figur 14 Asynkronmotor [36].....	25
Figur 15: SynRM motor og Plassering av permanente magneter på en [37]	26
Figur 16a: Oversikt over battericelle [38]. Figur 16b: Oversikt over battericelle [38].....	27
Figur 17: Sammenstilling av en AKAZEM OEM 15 batteripakke [38]	27
Figur 18: GES 40 plassert på oljeplattform [39].....	29
Figur 19: GES 40 plassert akter på skip [39].....	29
Figur 20: Prototyp av E-GES 45 [17].....	30
Figur 21: Tegninger av GES 45 med tilhørende dimensjoner [40].....	30
Figur 22: Reduksjonsgir [4].	31
Figur 23: PDR-XS-3200 [38].....	31
Figur 24: Inverter [38].	32
Figur 25: System arkitektur i E-GES 45 [38]. Se fargekart for system nederst til venstre.....	33
Figur 26: Plasseringsoversikt over komponenter i E-GES 45 [33].....	34
Figur 27: Batteri-innfestning EGES 45 [4].....	34
Figur 28: Innfestning av motor og inverter [6].....	35
Figur 29: Brannslukning- og ventilasjonssystemet. Se fargekoding øverst [38].....	36
Figur 30: Ventilasjon- og vannlåsssystem.....	37
Figur 31: Motstand/fart-kurver for E-GES 45 og E-GES 40.....	41
Figur 32: Valgt fremdriftsmotor for E-GES 40, EM-PMI375-T500-1300 [43].....	43
Figur 33: Aquadrive B10 thrust lager [45].....	44
Figur 34: Bevegelsesmønstre ved stup [46].....	45
Figur 35: Plasseringsoversikt av komponenter i E-GES 40.....	48
Figur 36: Cockpit GES 40 sett aktenfra.....	49
Figur 37: Batteri-innfestning, Løsning 1.	50
Figur 38: Batteri- innfestning, Løsning 2.....	51
Figur 39: Batteri-innfestning, modifisert løsning.....	51
Figur 40: Batteri-innfestning og forsterkning av støttevegg sett skrått nedenifra.....	52
Figur 41: Batteri-innfestning og forsterkning av støttevegg sett skrått ovenfra.	52
Figur 42: Innfestning av tre batterier*	53
Figur 43: Motor- innfestning.....	53
Figur 44: Aksling, kobling og thrustlager.....	54
Figur 45: Kontrollskap-innfestning.....	54
Figur 46: Kontrollskap-innfestning.....	54

Figur 47: DC/DC skapinnfestning.....	54
Figur 48: Ventilasjonssystem for gassvakuumering i E-GES 40*	55
Figur 49: Oversikt over kjølesystem E-GES 40.....	56
Figur 50: Oversikt over sprinkleranlegg.....	56
Figur 51: Oversikt over batteri-innfestning og benyttet terminologi.....	59
Figur 52: Forenklet lasttilfelle ved scenario 1.	59
Figur 53: Bjelkene til batteri-innfestning ved opplager B.	61
Figur 54: Lasttilfelle på en av bjelkene ved opplager B.	61
Figur 55: Undersiden av batteri-innfestningen.	63
Figur 56: Bjelke ved opplager A.	63
Figur 57: Lasttilfelle for bjelke ved opplager A.	64
Figur 58: Fast innspent bjelke med vilkårlig punktlast [20].	65
Figur 59: Den sammensatte bjelken ved opplager B scenario 3.	67
Figur 60: Forenklet lasttilfelle for den sammensatte bjelken ved opplager B.....	67
Figur 61: Batteri-innfestningen sett ovenfra, hvor den sammensatte bjelken.....	70
Figur 62: Forenklet lasttilfellet av sammensatt bjelke ved scenario 4.	71
Figur 63 Spenningsretninger i kilsveisen. [56].....	73
Figur 64: Oversikt over ringspant og støttevegg.	75
Figur 65: Tverrsnitt av skrog som viser original skrog og forenklet modell.....	76
Figur 66: Modifisert støttevegg.	77
Figur 67: Modell med strukturell mesh.	77
Figur 68: Grensebetingelser og belastning fra lasttilfellet ved scenario 3.....	78
Figur 69: von Mises-spenning av batteri-innfestning.	79
Figur 70: von Mises-spenning ved forsterkningen av støtteveggen i bunn.	79
Figur 71: von Mises- spenning ved skruene i batteri- innfestningen	80
Figur 72: Lem med luke til motorrom.....	82
Figur 73: Plassering av komponenter EGES 40.....	83
Figur 74: Plasseringsoversikt over hovedkomponenter i GES 40.	83
Figur 75: Plasseringsoversikt over hovedkomponenter i E-GES 40.....	83
Figur 76: Proviantboks, batteri-innfestning og lem til motorrom.....	84
Figur 77: Den elektriske drivlinjen og øvrige komponenter i E-GES 40.	84
Figur 78: Den elektriske drivlinjen og øvrige komponenter i E-GES 40	84
Figur 79: Plassering og innfestning av luftflasker, kontrollskap, DC/DC skap.....	85
Figur 80: Standardisert prosedyre for mulighetsfase av ombyggingsprosjekt.	92

15 TABELLER

Tabell 1: Oversikt over Norsafes ulike GES modeller [14].	4
Tabell 2: Oversikt over milepeler i prosjektet.	8
Tabell 3: Tids og arbeidsplan, Gant-diagram.	9
Tabell 4: Følgende forkortelser og begreper benyttes i rapporten.	10
Tabell 5: Oversikt over symboler, betydning og enheter.	12
Tabell 6: Oversikt over basisformler som benyttes i teori og beregninger [18].	13
Tabell 7: Koordinatsystemets nullpunkt og positive retninger i forhold til livbåten.	14
Tabell 8: Oversikt over SCAMPERS syv trinn [26].	16
Tabell 9: Oversikt over hovedelementet i utviklingsmetodikken som vil bli	17
Tabell 10: Oversikt over fagpersonell og hvilke fagområder de vil kontrollere.	18
Tabell 11: Programvare som vil benyttes og deres nytteverdi.	19
Tabell 12: Battericelle [38].	26
Tabell 13: Metriske spesifikasjoner for GES 40 [22].	28
Tabell 14: Oversikt over komponenter i systemarkitekturen [38].	32
Tabell 15: Standarder og retningslinjer for fritt fall livbåter [5].	38
Tabell 16: Rekkeviddekalkulator basert på formel (3.1).	41
Tabell 17: Utdrag fra excel arket som benyttes til tyngdepunktberegningen.	47
Tabell 18: Oversikt hovedelementer og materialer.	77
Tabell 19: Kostnadsoversikt mulighetsstudie.	86
Tabell 20: Kostnadsoversikt elektrisk drivlinje og installasjon i E-GES 40.	86
Tabell 21: Kostnadsoversikt over øvrige komponenter til E-GES 40.	87
Tabell 22: Kostnadsoversikt for montering av komponenter og testing av EGES 40.	88
Tabell 23: Totalkostnad EGES 40.	88
Tabell 24: Resultater fra miljøanalyse i CES Edupack for innfestningene.	89
Tabell 25: Total miljøbelastning i forhold til CO ₂ ekvivalent for ombyggingsprosjektet.	90
Tabell 26: Beregning av nødvendig effektbehov, maks effekt, moment og thrust.	93
Tabell 27: Oversikt over kompatible elektriske fremdriftsmotorer.	93
Tabell 28: Oversikt over kompatible thrustlager.	93
Tabell 29: Oversikt over øvrige standard komponenter.	94

16 KILDEHENVISNING

16.1 Skriftlige kilder

- [1] C. S. Mellbye, A. Rialland, E. Ambros Holthe, E. W. Jakobsen og A. Minsaas, "MARITIM NÆRING I DET 21. ÅRHUNDRET – PROGNOSE, TRENDER OG DRIVKREFTER", Menon Economics, 06.03.2016, 49 s
- [2] International Maritime Organization (IMO), "616 Evaluation of Free-fall Lifeboats launch performance", Nederland, 22.06. 1993, 61 s.
- [5] Bedrifts internt dokument: "For delivery of new electric propulsion driven lifeboats-Equinor special requirements", ZEM Energy, Høvik, 2018, 2 s.
- [8] E. Skjong, R. Volden, E. Rødskar, M. Molinas, T. A. Johansen, and J. Cunningham, "Past, Present and Future Challenges of the Marine Vessel's Electrical Power System", IEEE Transactions on Transportation Electrification 2016, 16 s.
- [9] H. Budde-Meiwes, J. Drillkens, B. Lunz, J. Muennix, S. Rothgang, J. Kowal and D. U. Sauer, "A review of current automotive battery technology and future prospects", i *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile*, 2013, s 761-776.
- [18] K.Gieck, R.Gieck, *Engineering formulas, Seventh edition*, Germany: Gieck Publishing, 1997.
- [19] Teknisk rapport: MAN Diesel & Turbo, "Basic Principles of Ship Propulsion", København, Danmark, 2011, 45 s.
- [20] Forelesnings kompendium: G.Terjesen, Bøyetema 2, *Statisk ubestemte bjelker med Superposisjonsmetoden og Tremomentmetoden*, NMBU/REALTEK, 2017, 45 s.
- [21] Forelesnings kompendium: G.Terjesen, *Torsjon og vipping TMP301*, NMBU/REALTEK, 2017, 45 s.
- [23] S. Pugh, *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Pearson Education, Essex, United Kingdom, 1991, 296 s.
- [24] Forelesnings kompendium: J.E.Bøe, Temahefte 1 og 2 Industriell økologi og produktplanlegging. Ås, 2014, s 32.
- [27] E.H.Dill, *The Finite Element Method for Mechanics and Solids with ANSYS Applications*, Florida: CRC Press, 2012, 483 s.
- [34] "T.Genberg, "Motor Fundamentals E-learning course," Bacheloroppgave, Elektroteknik, University of applied science, Vaasa, 2017, 32 s.

- [35] S. Bua, M. Dalva og V. Thorsen, *Roterende elektriske maskiner*, Oslo: Universitetsforlaget, 2007, 319 s.
- [38] Bedriftsintern rapport: E. Mollestad, "Driveline for an Electric Free Fall Life Boat", ZEM Energy AS, Høvik, Norge, 2017, 24s.
- [42] Bedriftsinternt dokument: B.Skaala, H.Sturmer, "GES 40 Bollard pull test", Norsafe, Tromøy, Norge, 12.07.2010, 1 s.
- [46] *DESIGN OF FREE FALL LIFEBOATS*, DNVGL-ST-E406, 2016, 182 s
- [47] Bedriftsinternt dokument: "Comments to NEC IEC 61892-6:2013 Installation and IEC 61892-7:2013 Hazardous", ZEM Energy, Høvik, Norge, 2 s.
- [48] H.Hartvigsen, R.Lorentsen, K.Michelsen og S.Seljevoll, *Verkstedhåndboka*, Gyldendal Undervisning, Oslo, 2009, 254 s.
- [49] *Prosjektering av stålkonstruksjoner Beregnings- og konstruksjonsregler*, NS 3472, 03.11.2001, 131 s.
- [50] Forelesnings kompendium: G.Terjesen, Sveiste forbindelser Hovedfokus: Eurokode 3, NMBU/REALTEK. 2017, 31 s.
- [51] Bedriftsintern rapport: OLF lifeboat project, "Structural evaluation and reinforcement of GES40 and GES40MB", OLF, Norge, 07D9400264589, 03.20.2007.
- [52] Bedriftsintern rapport: E. Mollestad, "Moen Marin- Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries", ZEM Energy AS, Høvik, Norge, 2018, 4s.
- [53] Rapport: A.T. de Almeida, F. J. T. E. Ferreira, J. Fong og P. Fonseca, " EUP Lot 11 Motors", ISR- University of Coimbra, Coimbra, Portugal, 18.02.2008, 137 s.

16.2 Personlig kommunikasjon

- [6] J.S.Andersson, utviklings ingeniør Norsafe, personlig kommunikasjon, Bedrift og tekniske proudktopplysninger, sept-mai, 2018/2019.

16.3 Nettkilder

- [3] Figur: "Servicing modern 4WD diesels - the evils of carbon", Whitsunday Times, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://www.whitsundaytimes.com>. Lasted ned: 09.05.2019.
- [4] Figur: "Sabb 10hk - Sylindertopp og stempelringer", baatplassen.no, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://baatplassen.no>. lastet ned: 09.05.2019.
- [7] Figur: "NH 52365 USS Jupiter (Collier # 3)", 2019. Hentet fra: <https://www.history.navy.mil>. lasted ned: 09.02.2019.
- [10] Artikkel: "Verdens største hybridskip: 160 meter langt og plass til 2000 passasjerer", Tu.no, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://www.tu.no>. Lasted ned: 26.04.2019.
- [11] Figur: *GES 52 - Freefall totally enclosed lifeboat for ships / for ships by Norsafe | NauticExpo*, 2019. Hentet fra: <http://www.nauticexpo.com>. Lasted ned: 04.03.2019.
- [12] Artikkel: "Norsafe and VIKING join forces, Viking-life, 2018". [Online]. Hentet fra: <https://www.viking-life.com>. Lastet ned: 15.12.2018.
- [13] Bedrifts brosjyre: "main-brochure-english-10-2017", Norsafe, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://norsafe.com/media/1670/main-brochure-english-10-2017.pdf>. Lasted ned: 26.04.2019.
- [14] *Freefall lifeboats*, 2018. Hentet fra: <https://norsafe.com/lifesaving-systems/freefall-lifeboats/>. Lasted ned: 04.12.2018..
- [15] *VIKING Facts and figures*, 2018. Hentet fra: <https://www.viking-life.com>. Lastet ned: 15.12.2018.
- [16] Figur: *The fjords*, The Fjords. Hentet fra: <http://thefjords.no/>. Lasted ned: 20. 01. 2019.
- [17] Figur: *ELECTRIC GES FREE-FALL LIFEBOAT*, 2019. Hentet fra: <https://norsafe.com>. Lasted ned: 09.02.2019.
- [22] Produktkatalog: "GES-40 MKII - Free Fall Lifeboat. Norsafe AS". [Online]. Hentet fra: <https://norsafe.com>. Lasted ned: 03.02.19.
- [25] *The Principles of Integrated Product Development*. Hentet fra: <http://www.npd-solutions.com>. Lastet ned: 06.01.19.
- [26] *A Guide to the SCAMPER Technique for Creative Thinking*. Hentet fra: <http://www.designorate.com>. Lastet ned: 03.01.19.

- [28] Kappittel i e-bok: "BU-002: Introduction – Battery University", Batteryuniversity, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://batteryuniversity.com>. Lastet ned: 13.02.19.
- [29] Artikkel: "Slik fungerer batteriet som endret verden", Tu.no, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://www.tu.no>. Lastet ned: 13.02.2019.
- [30] Kappittel i e-bok: "BU-104c: The Octagon Battery – What makes a Battery a Battery – Battery University", Batteryuniversity, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://batteryuniversity.com>. Lastet ned: 13.02.2019.
- [31] Kappittel i e-bok: "Lithium-based Batteries Information", Batteryuniversity, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://batteryuniversity.com>. Lastet ned: 13.02.2019.
- [32] Kappittel i E-book: "Global Battery Markets Information – Battery University", Batteryuniversity, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://batteryuniversity.com>. Lastet ned: 13.02.2019.
- [33] Kappittel i e-bok: "Experimental Rechargeable Batteries – Battery University", Batteryuniversity, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://batteryuniversity.com>. Lastet ned: 13.02.2019.
- [36] *El motor de jaula de ardilla. La base de los coches eléctricos*. 2019. Hentet fra: <http://www.ticgalicia.com>. Lastet ned: 26.04.2019.
- [37] Figur fra rapport: M.Yilmaz, "Limitations/capabilities of electric machine technologies and modeling approaches for electric motor design and analysis in plug-in electric vehicle applications". *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 52, s80-99*, Des, 2015. [Online]. Hentet fra: <https://www.sciencedirect.com>. Lastet ned: 03.04.2019
- [39] Figur fra brosyre: B. Terjesen, C. Martinez and J. Martinez, "Norsafe Group", Norsafe AS, 2013. [Online]. Hentet fra: <https://www.norwep.com>. Lastet ned: 04.03.2019.
- [40] Produktdatablad: "GES-45 MKI". Norsafe AS. [Online]. Hentet fra: <https://norsafe.com>. Lastet ned: 04.03.2019.
- [41] Produktdatablad: Datasheet: PowerDRUM XS-Frame. APC Technology Group plc. [Online]. Hentet fra: <http://apcplc.com>. Lastet ned: 01.02.2019.
- [43] Produktdatablad: EM-PMI375-T500 Electric Machine Data Sheet. Danfoss AS. 2018. [Online]. Hentet fra: <http://www.danfoss.com>. Lastet ned: 01.02.2019.
- [44] Produktdatablad: PDD® Compact, High Torque Motors & Generators. Magnomatics. [Online]. Hentet fra: <http://www.magnomatics.com>. Lastet ned: 08.01.2019.

17 Vedlegg

Rapporten har følgende to vedlegg:

- **Vedlegg 1: Sammenligning av vedlikehold mellom diesel- og elektrisk- drift.**
- **Vedlegg 2: Miljøanalyse av innfestninger, CES Edupack.**

Vedlegg 1: Sammenligning av vedlikehold mellom diesel- og elektriskdrift

Top level propulsion related maintenance cost drivers: Lifeboats

Comparing Diesel installations with electrical systems time consumption / year.

	Diesel	Electrical	Note
Start/Stop - Crew change, training on board	2h/start up = 52 h	1 min/start up = 0,5h	Every other week - 26 times/year
Engine load generator, rigging for external cooling.	2h/start up = 52 h	0	Every other week - 26 times/year
Diesel top up, including process to supply EN-590 fuel on site	30 h	0	Estimation on administrative and transport involvement, as well as actual task offshore, storage offshore and handling
Diesel quality check	32 h	0	4 times / year, including analysis of diesel dyr, moisture etc. Estimated 8 hours pr. check if analysis needs to be send onshore.
Sprinkler pump maintenance	2 h	0	Sprinkler pump is not running in same frequency and length in electrical set up. Will not require maintenance due to that reason.
Air bottle checks	10 h	1 h	Pressure check, visual verification of manometers, including charging, rigging of compressor, hoses etc. (assumed possibly necessary every third year for a bottle) Electrical has one bottle, diesel has 6.
Air bottle replacement	10h	1 h	Demanding job to be executed every five years. Including administrative, material handling, storage and transport effort. Assumed generated hours for the task. Devided by 5 as the task only occurs very fifth year.
Engine visual inspection, level checks, fluids, conditions monitoring	24h	0	Once a month, including check list and system feedback

Engine oil and filter replacement.	40h	0	Including storage, material handling, administrative tasks and checked feedback to maintenance system, work order. Oil and oil filter. Including disposal after work and clean up, this is not easy in 35 degrees, 2 persons. Once a year is engine is started as assumed: 2 x per month including heat up and cool own procedure.
Coolant check, level, air, density	6h	1h	Small coolant system in electrical system but lower criticality of that system has reduced maintenance need. Is not started/stopped/used either.
Air filter	2h	0	
Propulsion axle/bend maintenance/grease	2h	0	
Verification of NAS/Autopilot	8h	0h	For electrical system: Part of onshore monitoring, standard "tilstands" dokumentasjon.
Visual inspection of corrosion/condensation in electrical cabinets	4h	4h	This includes replacing moisture control bags if these indicate replacement (colour codes)
Maintenance of over/underpressure valves	4h	2h	
Verify forced ventilation and Over/underpressure valves	not possible	1 min/start up = 0,5h	HMI started fan. Forced ventilation will increase safety level
Exhaust system check, including turbo performance and ability to perform as spark arrester	8h	0	Turbo condition can only be verified in combination with engine load generator. This also requires additional investments and installations. At the moment this is not available for all engine types, leaving a risk. The indicated use of time is therefore an indication if all was in place to maintain the same safety level as electrical systems would provide.
Maintenance system/status and feedback handling, including condition trends and evaluation of preventive maintenance/repairs	30h	2h	Part of standard monitoring system by supplier/producer for electrical system. This generates continuous standard reports, that can be used towards legislator.
Charging visual checks	2h	0h	Part of standard monitoring system and documentation

Mechanical wire maintenance between cockpit and enginebay	4h	1h	Lubrication and open close, as part of long "storage" For electrical only sprinkler pump is relevant. Hose inspection, throttle added focus for diesel
Dieselfilter exchange, bleeding, clear up	3h	0h	Yearly, clean up etc.
Gearbox oil and filter exchange	4h	1h	Every other year for diesel. Demanding work. Only every fifth year for electrical due to limited use. Simpler system, easy access
Timing belt exchange	2h	0h	Every fifth year
MAX TOTAL NEED FOR MAINTENANCE	319h	14h	

Other maintenance cost:			
Filters	100 %	0 %	No filters in electrical system
Air bottles	100 %	17 %	Only one air bottle in electrical system
Oil	100 %	5 %	Limited gir box only for electrical
Diesel EN-590	100 %	0 %	Difficult to get hold off.
Timing belt kit	100 %	0 %	
Additional investments			
Dyno for proper engine load	YES	NO	
Cost for administrateion, checking, analysis of diesel handling	YES	NO	
Charging consumption	YES: 12 volt system	YES: maintenance charge	

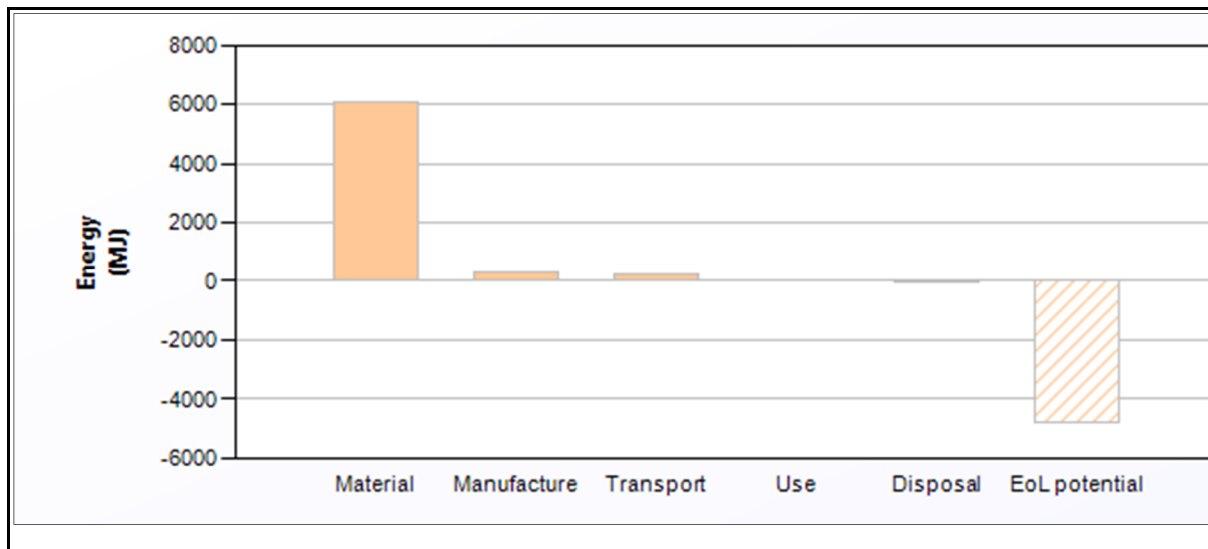
Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	6,04e+03	91,9	409	91,3
Manufacture	279	4,2	20,9	4,7
Transport	220	3,3	15,8	3,5
Use	0	0,0	0	0,0
Disposal	35	0,5	2,45	0,5
Total (for first life)	6,57e+03	100	448	100
End of life potential	-4,8e+03		-312	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 20 year product life):	329

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
Batteri-innfestning	Stainless steel, duplex, AISI 2205, annealed	Virgin (0%)	25	1	28	1,6e+03	27,3
Motorinnfestning	Aluminum, 6060, T6	Virgin (0%)	15	1	17	3e+03	50,4
Øvrige innfestninger Stål	Stainless steel, duplex, AISI 2205, annealed	Virgin (0%)	5	1	5,6	3,3e+02	5,5
Øvrige innfestninger Aluminum	Aluminum, 6060, T6	Virgin (0%)	5	1	5,6	1e+03	16,8
Total				4	56	6e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
Batteri-innfestning	Roll forming	-	28 kg	1,2e+02	44,2
Batteri-innfestning	Coarse machining	10	2,8 kg	3,1	1,1
Motorinnfestning	Forging	-	17 kg	93	33,5
Motorinnfestning	Coarse machining	10	1,7 kg	2,2	0,8
Øvrige innfestninger Stål	Roll forming	-	5,6 kg	25	8,8
Øvrige innfestninger Stål	Coarse machining	10	0,56 kg	0,62	0,2
Øvrige innfestninger Aluminum	Roll forming	-	5,6 kg	31	11,2
Øvrige innfestninger Aluminum	Coarse machining	10	0,56 kg	0,72	0,3
Total				2,8e+02	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
	Light goods vehicle	2e+03	2,2e+02	100,0
Total		2e+03	2,2e+02	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
Batteri-innfestning	25	1,1e+02	50,0
Motorinnfestning	15	66	30,0
Øvrige innfestninger Stål	5	22	10,0
Øvrige innfestninger Aluminium	5	22	10,0
Total	50	2,2e+02	100

Use:
[Summary](#)
Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:
[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
Batteri-innfestning	Recycle	100,0	18	50,0
Motorinnfestning	Recycle	100,0	11	30,0

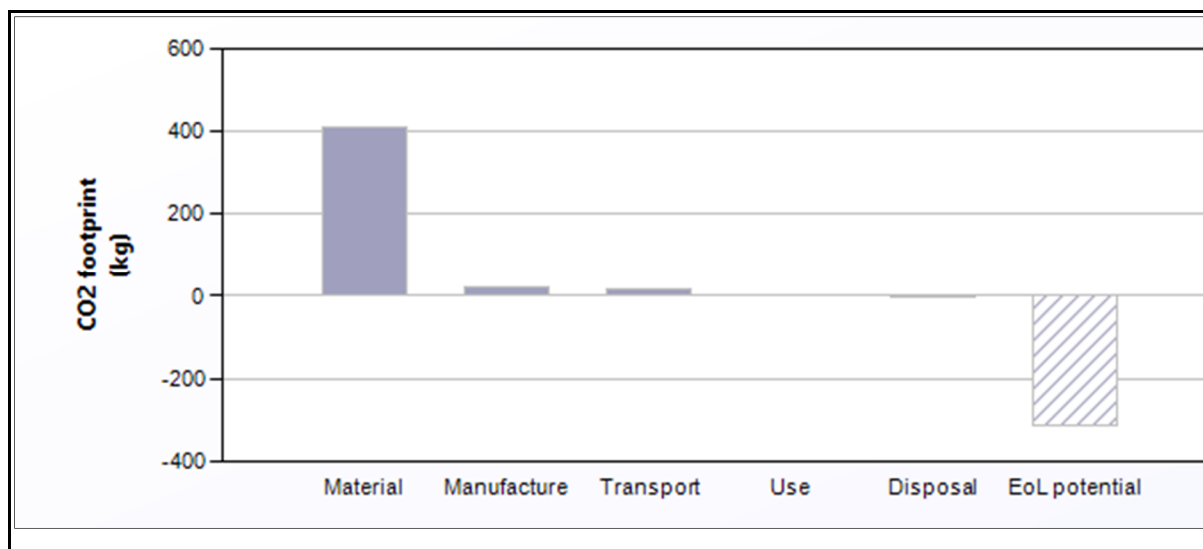
Øvrige innfestninger Stål	Recycle	100,0	3,5	10,0
Øvrige innfestninger Aluminium	Recycle	100,0	3,5	10,0
Total			35	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
Batteri-innfestning	Recycle	100,0	-1,2e+03	26,0
Motorinnfestning	Recycle	100,0	-2,5e+03	51,6
Øvrige innfestninger Stål	Recycle	100,0	-2,5e+02	5,2
Øvrige innfestninger Aluminium	Recycle	100,0	-8,3e+02	17,2
Total			-4,8e+03	100

Notes:

[Summary](#)

CO2 Footprint Analysis
[Summary](#)


	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 20 year product life):	22,4

Detailed breakdown of individual life phases
Material:
[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Batteri-innfestning	Stainless steel, duplex, AISI 2205, annealed	Virgin (0%)	25	1	28	1,2e+02	29,0
Motorinnfestning	Aluminum, 6060, T6	Virgin (0%)	15	1	17	2e+02	48,9
Øvrige innfestninger Stål	Stainless steel, duplex, AISI 2205, annealed	Virgin (0%)	5	1	5,6	24	5,8
Øvrige innfestninger Aluminium	Aluminum, 6060, T6	Virgin (0%)	5	1	5,6	67	16,3
Total				4	56	4,1e+02	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
Batteri-innfestning	Roll forming	-	28 kg	9,2	44,2
Batteri-innfestning	Coarse machining	10	2,8 kg	0,23	1,1
Motorinnfestning	Forging	-	17 kg	7	33,5
Motorinnfestning	Coarse machining	10	1,7 kg	0,16	0,8
Øvrige innfestninger Stål	Roll forming	-	5,6 kg	1,8	8,8
Øvrige innfestninger Stål	Coarse machining	10	0,56 kg	0,047	0,2
Øvrige innfestninger Aluminum	Roll forming	-	5,6 kg	2,3	11,2
Øvrige innfestninger Aluminum	Coarse machining	10	0,56 kg	0,054	0,3
Total				21	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
	Light goods vehicle	2e+03	16	100,0
Total		2e+03	16	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%

Batteri-innfestning	25	7,9	50,0
Motorinnfestning	15	4,8	30,0
Øvrige innfestninger Stål	5	1,6	10,0
Øvrige innfestninger Aluminium	5	1,6	10,0
Total	50	16	100

Use:

[Summary](#)

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
Batteri-innfestning	Recycle	100,0	1,2	50,0
Motorinnfestning	Recycle	100,0	0,74	30,0
Øvrige innfestninger Stål	Recycle	100,0	0,25	10,0
Øvrige innfestninger Aluminium	Recycle	100,0	0,25	10,0
Total			2,5	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%

Batteri-innfestning	Recycle	100,0	-87	27,9
Motorinnfestning	Recycle	100,0	-1,6e+02	49,9
Øvrige innfestninger Stål	Recycle	100,0	-17	5,6
Øvrige innfestninger Aluminum	Recycle	100,0	-52	16,6
Total			-3,1e+02	100

Notes:

[Summary](#)



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway