

Milkeyso A. Adam

Konseptutvikling av et integrert automatisk lade- og fortøyningsystem

Bacheloroppgave i Produkt- og systemdesign

Veileder: Lars Petter Bryne

Medveileder: Øivind Kåre Kjerstad

Mai 2023

Milkeyso A. Adam

Konseptutvikling av et integrert automatisk lade- og forføyningsystem

Bacheloroppgave i Produkt- og systemdesign
Veileder: Lars Petter Bryne
Medveileder: Øivind Kåre Kjerstad
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

0.1 Forord

Å få muligheten til å skrive denne bacheloroppgaven etter å ha jobbet med Grønn Kai prosjektet sommeren 2022 har gjort arbeidet ekstra betydningsfullt og givende. Gjennom arbeidet har jeg tilegnet meg mye relevant erfaring som jeg i høyeste grad vil ha nytte for i framtiden. Arbeidet har vært lærerikt og interessant men samtidig ganske krevende. Bacheloroppgaven er skrevet av undertegnede alene, noe som har vist seg å ha både positive og negative sider. Det å ikke ha en sparrepartner å kunne diskutere og dele tanker med har iblant blitt opplevd som utfordrende. Heldigvis har jeg fått god hjelp fra medstudenter når det har vært behov for det. I tillegg har jeg fått gode råd og god veiledning fra veilederne mine.

M. t. t

Milkeyso A. Adam

22. mai 2023

0.2 Sammendrag

Automatiske lade- og fortøyningsystemer ble først tatt i bruk for over 10 år siden men det er ikke før nå at anvendelsen har begynt utbre seg og teknologien utvikles raskt. Skipsfarten er på vei mot en elektrifisert og autonom framtid. Det økende behovet for fullautomatiserte systemer har bidratt til vekst i behovet for smarte lade- og fortøyningsløsninger, spesielt innenfor ferge- og hurtigbåtsektoren.

Gjennom arbeidet med prosjektet Grønn Kai har det oppstått et behov for å fortøye og lade opp en powerbarge. Denne powerbargen er planlagt til å seile i Geirangerfjorden med energi lagret i roterende svinghjul for å forsyne nullutslippsfartøy. I denne oppgaven har det blitt designet et konsept for et lade- og fortøyningsystem som er tilpasset powerbargen. Konseptet består hovedsakelig av vakuumteknologi som brukes til fortøyning og induksjonsteknologi som brukes til lading. I tillegg til de nevnte automatiske systemene brukes det statiske løsninger for stabilisering av fartøyet.

Etttersom denne oppgaven er en del av det større prosjektet Grønn Kai som skal realiseres er det blitt gjennomført en økonomisk analyse av konseptet. Som et alternativ for konseptet med induksjonslading og vakuumfortøyning har det også blitt utarbeidet en mer økonomisk løsning for ladesystemet hvor det benyttes konvensjonell kontakt kobling. Det alternative konseptet har lavere investeringskostnad men høyere driftskostnader. I den økonomiske analysen har konseptene blitt sammenlignet for å avgjøre hvem av dem som vil være det mest lønnsomme alternative i et større tidsperspektiv.

Abstract

Automatic charging and mooring systems were first introduced for over 10 years ago, but it is only now that their use has begun to increase, and the technology has started to develop rapidly. The vessel industry is moving towards an electrified and autonomous future. The increasing need for fully automated systems has contributed to growth of smart charging and mooring solutions, especially in the ferry and fast-boat sector.

Through the work on the Green Quay project, there has arisen a need to moor and charge a powerbarge. This powerbarge is planned to sail in the Geirangerfjord with energy stored in rotating flywheels to supply electric zero-emission vessels. In this thesis, a concept has been designed for a charging and mooring system that is customized for the powerbarge. The concept mainly consists of vacuum technology used for mooring and induction technology used for charging. In addition to the mentioned automatic systems, static solutions are used to stabilize the vessel.

As the thesis is part of the larger Green Quay project that is to be realized, an economic analysis of the concept has been carried out. As an alternative to the concept with induction charging and vacuum mooring, a more economical concept which applies the use of a conventional plug-in system has been developed. The alternative solution implies a lower capital expenditure but with a higher operating expenditure. In the economic analysis, the concepts have been compared to determine which of them is the most profitable alternative in a larger time perspective.

0.3 Oppgavebeskrivelse

Utdrag fra oppgavetekst (23) utarbeidet med Lars P. Bryne:

- 1. Undersøke hva som finnes av automatiske fortøyningsløsninger på markedet og lage en oversiktlig sammenligning av de ulike. Sette seg godt inn i gjeldende regelverk dersom det eksisterer for denne fartøystypen.*
- 2. Kritisk drøfting av de ulike fortøyningsløsningene som finnes og deretter velge en hensiktsmessige løsning. Den valgte løsningen må kunne integreres i båten som designes av skipsstudentene.*
- 3. Komme frem til flere konstruktive konsepter for utformingen av fortøyningssystemet med tanke på ordinær drift, vedlikehold og utskifting. CAD verktøy tas i bruk for å lage 3D-modeller og arbeidstegninger. I den grad tiden rekker til, lage konseptmodeller som kan testes i modelltanken.*
- 4. Utarbeide kostnadskalkyle for valgt forankringsløsning.*

Tidlig i arbeidet med oppgaven ble det avgjort, i dialog med veileder, at oppgaven skal inkludere ladeløsninger slik at det blir et integrert system med lading og fortøyning.

0.4 Begrepsforklaring

- *Foropå: Fremre del av fartøyet.*
- *Aktenfor: Bakre del av fartøyet.*
- *Forut: Foran fartøyet.*
- *Akterut: Bak fartøyet.*
- *Aktenfor tvers om babord: På babord side i bakre del av fartøyet.*
- *Aktenfor tvers om styrbord: På styrbord side i bakre del av fartøyet.*
- *Deplasement: Massen av vannet som blir fortrent av et fartøy.*
- *Dyppgang: Avstanden fra vannoverflaten og til bunnen av skroget*
- *Jaging, Sidejaging, Duving, Giring: Skipsbevegelser, se vedlegg 1*
- *PLA: (Polymelkesyre) Plastmateriale 3D modellene er printet i.*
- *EPDM: En type gummimateriale (ethylene propylene diene monomer)*
- *TPU: (Termoplastisk Polyuteran) Fleksibelt plastmateriale som modellene er 3D printet i.*

Innhold

0.1	Forord	i
0.2	Sammendrag	ii
0.3	Oppgavebeskrivelse	iv
0.4	Begrepsforklaring	v
1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for prosjekt	1
1.2	Hva?	2
1.3	Hvorfor?	2
1.3.1	Behov for lade- og fortøyningsystemer	3
1.4	Regelverk	5
1.5	Forutsetninger	6
1.5.1	Tilgjengelig effekt og areal i Linge	6
1.5.2	Kai utforminger	6
2	Metode	7
2.1	Befaring	7
2.1.1	Forberedelser til befaring	8
2.1.2	Befaring ombord MF Skopphorn	8
2.2	Eksisterende løsninger - Fortøyningsystem	10
2.2.1	Vakuu system	10
2.2.2	Magnetisk system	12
2.2.3	Gripearmsystem	13
2.3	Eksisterende løsninger - Ladesystem	14
2.3.1	Trådløs lading	14
2.3.2	Lading med kabel	15
2.4	Metode og valg av løsninger	16

2.4.1	Vurdering av ladesystem	16
2.4.2	Vurdering av fortøyningssystem - poengfordeling	17
2.4.3	Valgt lade- og fortøyningssystem	18
2.4.4	Kravspesifikasjoner	18
3	Teori	19
3.1	Vakuum - Fortøyningssystem	19
3.1.1	Ulike nivåer av vakuum	20
3.2	Induksjonslading	21
3.2.1	Historisk bakgrunn	21
3.2.2	Slik fungerer det	21
3.3	Styring- og kontrollsystem	22
4	Konsept og design	23
4.1	Konseptutvikling	24
4.2	Designprosess	24
4.3	Konsepter og løsninger	25
4.3.1	Konsept 1	25
4.3.2	Flere systemer	29
4.3.3	Konsept 2	29
4.3.4	Design forandringer på powerbargen	31
4.3.5	Konsept 3	32
4.3.6	Konsept 4 - Endelig konsept	35
4.3.7	Alternativt konsept	36
5	Kostnadsanalyse	37
5.1	Netto nåverdi metoden	38
5.1.1	Variierende kalkulasjonsrente	38
5.2	Kostnader	40
5.2.1	Investeringskostnader	40
5.2.2	Driftskostnader	41
5.3	Hvilket system er mest lønnsomt ?	42
6	Diskusjon	43
6.1	Konsept- og designutviklingsmetode	45
6.1.1	Bakgrunn for metoden	45
6.1.2	Svakheter ved metoden	46

6.2	Kostnadsanalyse	47
6.2.1	Utfordringer og svakheter med kostnadsanalysen	47
6.3	Utfordringer rundt regelverk	49
6.4	Teknologi utvikling innenfor ladesystem	50
7	Konklusjon	51
	Bibliografi	52
	Vedlegg	I
A	Skipsbevegelser	I
B	Stedsbetegnelser rundt båten	II
C	Optimalisert bevegelse - Løsning 3	III
D	Illustrasjon - Deler i endelig konsept	IV
E	Illustrasjon - Bevegelig arm endelig konsept	V
F	Endeplate med vakuum	VI
G	Endeplate for Geiranger - energioverføring	VII
H	Endeplate med induksjonsløsning	VIII
I	Endeplate med kontaktløsning	IX
J	Bevegelse 1 arm	X
K	Bevegelse 2 arm	XI
L	Utfrest katamaran skrog	XII
M	Test i vanntank 1	XIII
N	Test i vanntank 3	XIV
O	3D print - Fleksibel statisk del	XV
P	3D print - Statisk del	XVI
Q	Ny statisk del 1	XVII
R	Servicekostnader	XIX
S	Driftskostnader 1/2 - konsept med kontakt kobling	XX
T	Driftskostnader 2/2 - konsept med induksjon	XXI
U	Avdrag på lån	XXII
V	Oppgavetekst	XXIII
W	Miljøbilder - Enscape	XXIV
X	Skisser	XXVII
Y	Ansys Styrkeberegninger	XXX
Z	Skisser	XXXIV

Figurer

1.1	Fartøyulykker og personulykker	4
2.1	Vakuumteknologi anvendes innenfor flere industrier (Bilde). Bretteville - https://www.brettevilletaljer.no/vakuumlofter/loft-av-plater/vacuboy-vakuumlofter\ -for-plater-opp-til-2-tonn (Hentet: 28.04.2023).	11
2.2	Dock Lock magnetisk fortøyningsystem (Bilde). Mampaey - https://unece.org/DAM/trans/doc/2013/dgwp15ac2/Dock_lock_presentation_1.pdf (Hentet: 02.04.2023).	12
2.3	Automatisk gripearmløsning på lasteskipet Yara Birkeland (Bilde). Macgregor - https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/ 13	
2.4	Konvensjonell kabel med kontakt kobling (Bilde). Grenwave - https://www.greenwaves.no/no/nyheter/lading-av-elbt-er-lettere-enn-du-tror (Hentet: 26.03.2023).	15
3.1	Fire ulike nivåer av vakuum (Tabell). Vacaero - https://vacaero.com/information-resources/vac-aero-training/170466-the-fundamentals-of-vacuum-theory.html (Hentet: 03.05.2023).	20
4.1	Figuren viser et situasjonsbilde av konsept 1. Her inngår det en forenklet modell av kaien sammen med to like lade- og fortøyningsløsninger. Figuren illustrerer et av de to forskjellige systemene i Geiranger og Linge.	25
4.2	I denne figuren kan man se det første konseptet som ble modellert i NX .	26
4.3	Løsning 2 har sylindere for bevegelse og styrke i tillegg til en ny utforming.	27
4.4	Max bevegelige distanse før optimalisering: 173 mm	28
4.5	Max bevegelige distanse etter optimalisering: 553 mm	28
4.6	Figuren viser situasjonsbilde av konsept 2 sett ovenfra. Framme i kaien kan man se den nye løsningen.	29

4.7	Figuren viser den mekaniske gripearmløsningen. Utstikkerene på hver av sidene sørger for mekanisk lås når de er i inngrep.	30
4.8	Figuren viser et situasjonsbilde av konsept 3 sett ovenfra. Framme i kaien kan man se de nye statiske løsningene. Modellen av powerbargen har blitt laget av skipsstudentene og brukes kun for å illustrere konseptet.	32
4.9	Figuren viser den nye løsningen for lade- og fortøyningsystemet med induksjonsplate i midten og vakuumfortøyningsplater på sidene. Ladeplaten kan heves, senkes og i tillegg beveges til sidene. Se arbeidstegninger vedlagt for dimensjoner.	33
4.10	Figuren viser utformingen til den statiske løsningen i konsept 3. Se arbeidstegninger vedlagt for dimensjoner.	34
4.11	Figuren viser et situasjonsbilde av konsept 4 sett ovenfra. Framme på skrogene til powerbargen har delene som skal brukes til å stabilisere forapå blitt sammenføyd. Modellen av powerbargen har blitt laget av skipsstudentene og brukes kun for å illustrere konseptet.	35
4.12	Figuren viser den alternative løsningen som bruker kontakt kobling istedenfor induksjon. De svarte og gule delene mellom vakuumplatene skal illustrere kontaktoblingene.	36
5.1	Figuren illustrerer NNV for ulike verdier av kalkulasjonsrenten. Desto nærmere null desto bedre er NNV ettersom det innebærer mindre kostnader. Merk at y-aksen har negative beløp.	39
5.2	Tabellen viser oversikt over kostnadene for de ulike systemene samt total investeringskostnad for konsept A og B.	40
1	Beskrivelse av begrep for ulike skipsbevegelser (Bilde). NauticalCampus - https://naca.no/skip-i-sjogang-belastning-i-bolger/ (Hentet: 15.05.2023).	I
2	Stedsbetegnelser rundt fartøy (Bilde). Maritimstart - https://maritimstart.no/stedsbetegnelser-rundt-baten/ (Hentet: 15.05.2023).	II
3	Mekanismen for å styre bevegelsen ble optimalisert for å øke den bevegelige distansen.	III
4	Figuren viser den stasjonære delen og den massive sylindere den bevegelige armen er festet i.	IV
5	Figuren viser den bevegelige armen som består av tre deler.	V
6	Figuren viser endeplaten. Den består av vakuumplater på sidene og plass for ladesystem i midten.	VI

7	Figuren viser løsningen for endeplaten i Geiranger. Her skal det benyttes en kontaktkobling for å overføre energien fra powerbargen for tilførsel til nullutslippsfartøy.	VII
8	Nærbilde av induksjonsløsning i Linge	VIII
9	Nærbilde av kontaktløsning i Linge	IX
10	Figuren viser armens bevegelighet	X
11	Figuren viser flere av armens bevegelighet	XI
12	Figuren viser skrogformen til powerbargen. Denne skalamodellen ble ikke laget som en del av denne bacheloroppgaven og har kun blitt brukt for å teste løsninger i vanntanken.	XII
13	1 - Test av den statiske løsningen i vanntanken.	XIII
14	3 - Test av den statiske løsningen i vanntanken.	XIV
15	Figuren viser en 3D print av den statiske delen i det fleksible materialet TPU.	XV
16	Figuren viser en 3D print av den statiske delen i PLA materialet.	XVI
17	Figuren viser powerbargen med en av delene i den statiske løsningen sammenføyd til skroget.	XVII
18	Figuren viser hvordan utstikkerene sammenføyd til skroget og den statiske delen på kaien kommer i kontakt med hverandre i konsept 4	XVIII
19	Beregninger av servicekostnader	XIX
20	Driftkostnader for konsept A	XX
21	Driftkostnader for konsept B	XXI
22	Figuren viser de årlige avdragene for konsept A og konsept B.	XXII
23	Figuren viser oppgavebeskrivelsen utarbeidet sammen med veileder.	XXIII

Tabeller

2.1	Poenggivende vurdering - Fortøyningsystemer	17
2.2	Kravspesifikasjon	18

Kapittel 1

Innledning

Automatiske lade- og fortøyningsystemer blir stadig vekk et vanligere syn på kaianlegg rundt i landet. Siden 2019 har prosentandelen av elektriske ferger i Norge blitt mer enn femdoblet og ligger per dags dato på 24% (“Tilnull”, 2023). På vei mot en autonom framtid med krevende klimamål (Regjeringen, 2022) vil behovet for smarte ladesystemer og effektive fortøyningsystemer være høyere enn noen gang.

1.1 Bakgrunn for prosjekt

Grønn Kai prosjektet

Stortinget har vedtatt at det skal bli nullutslipp i de norske verdensarvfjordene i 2026. Dette vil være med på å påvirke cruisetrafikken i Norge betraktelig. Nye fartøy må bygges og gamle må tilrettelegges for elektrifisering. Kaier og infrastruktur i områdene må oppgraderes som følge av dette.

Som et resultat av dette ble prosjektet Grønn Kai satt i gang sommeren 2021 av Stranda Hamnevesen i samarbeid med NTNU og Møre og Romsdal Fylkeskommune. Prosjektgruppen består hovedsakelig av studenter som får tett oppfølging av prosjekteiere og veiledere ved NTNU. I tillegg til mye annet har prosjektarbeidet resultert i konsepter for kaier ved ulike lokasjoner, markedsanalyser og en løsning på strømproblemet i Geiranger. For å løse strømproblemet skal det brukes en powerbarge som vil være sentral i denne bacheloroppgaven.

Powerbarge

Direkte oversatt betyr powerbarge 'kraft flåte' eller 'kraft lekter'. Det er navnet på løsningen til strømmangelen i Geiranger. Powerbargen er et fartøy som er fylt opp med energibærere av typen svinghjul. Den fungerer som en gigantisk flytende nødlader. Powerbargen er designet for å hente strøm i Linge som ligger på Tafjord siden og levere strømmen i Geiranger hvor det er behov. Under arbeidet med utviklingen av konseptet for powerbargen har autonomitet vært et viktig fokusområde. På sikt skal powerbargen klare å hente strøm, seile over fjorden, levere strøm og seile tilbake uten menneskelig interaksjon. Hvis dette i det hele tatt skal være mulig er det nødvendig at fartøyet klarer å legge til og fra kai av seg selv. Det er nettopp her denne bacheloroppgaven kommer inn i bilde.

1.2 Hva?

I denne oppgaven skal det designes et konsept med et ladesystem og et fortøyningsystem som muliggjør autonom ferdsel for powerbargen. Lade- og fortøyningsystemet skal være integrert slik at lading og fortøyning både startes og avsluttes tilnærmet samtidig. I tillegg skal systemet være fullautomatisk slik at prosessen enkelt kan startes og avsluttes når powerbargen legger til og fra kai. Autonomitet er en sentral del av Grønn Kai prosjektet, noe som vil bli tatt hensyn til ved valg av løsninger for lade- og fortøyningsystemet.

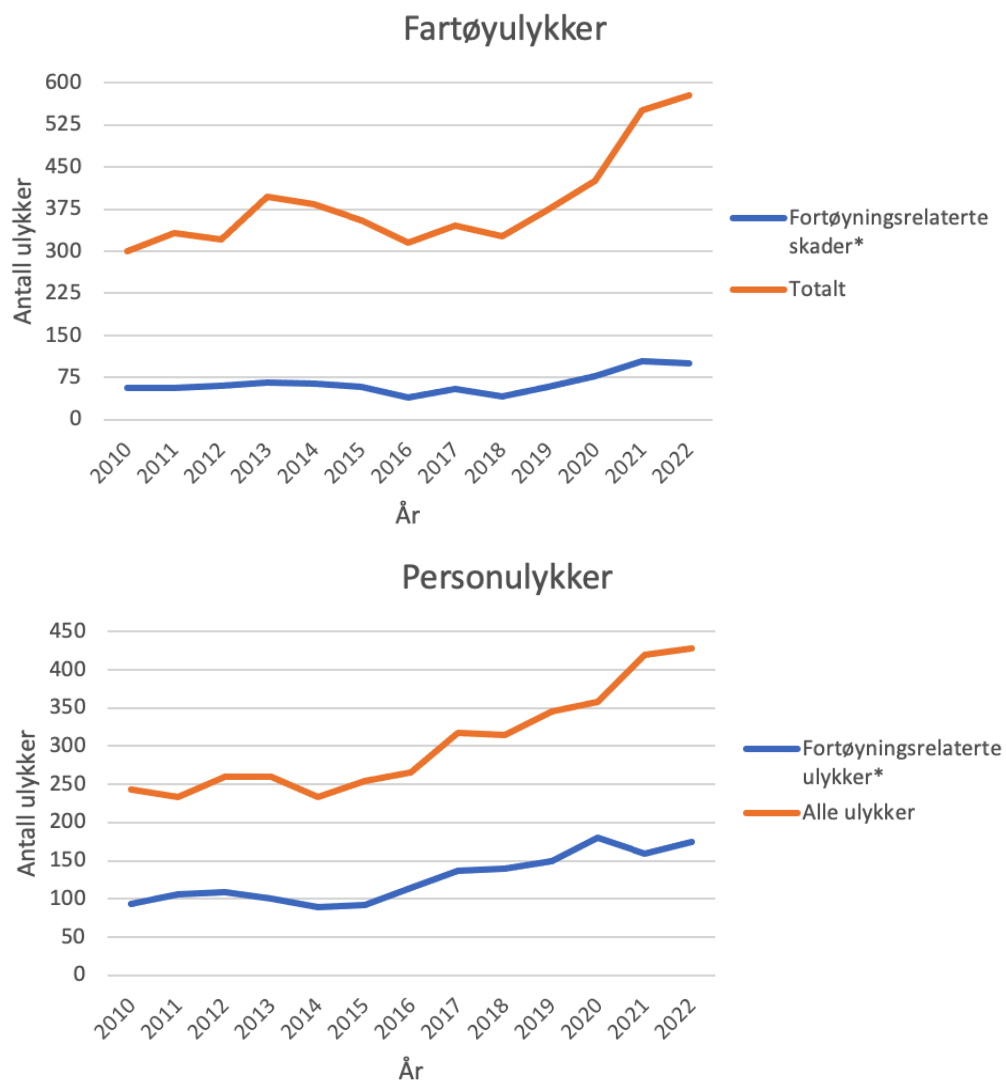
1.3 Hvorfor?

Sett i lys av Grønn Kai prosjektet, ettersom det er der oppgaven har utspringet seg fra, er powerbargen avhengig av å ha et ladesystem som vil være kompatibelt for nettopp dette fartøyet. For å klare å levere nok energi i tråd med driftsprofilen til powerbargen behøves det et system som kan levere høy effekt, høyere enn de fleste løsningene som brukes i dag. På et generelt basis har teknologien utviklet seg mye de siste årene og vil fortsette å utvikle seg for hvert år. Denne oppgaven vil også ha et fokus på hva som finnes av teknologiske løsninger innenfor lading og fortøyning i dag. I tillegg til hva slags nye løsninger som har kommet og vil komme i nær framtid. Teknologien utvikles i en rasende fart og det dukker stadig opp nye smarte løsninger. Det er viktig å holde seg oppdatert slik at man kan dra nytte av løsningene der det lar seg gjøre.

1.3.1 Behov for lade- og fortøyningsystemer

Automatiske fortøyningsystemer kan bidra til å både redde liv og spare penger. Sjøfartsdirektoratet mottar stadig vekkt informasjon om ulike skadehendelser hvor skaden som oppstår er relatert til fortøyning. Tradisjonell fortøyning ved hjelp av trosser innebærer høy risiko for arbeidere som manuelt må feste og løsne trossene. Ved bruk av automatiske fortøyningsystemer vil det ikke være behov for arbeidere som er direkte innblandet i prosessen. Avhengig av valgt system vil det være ulik risiko avlastning, men risikoen vil utvilsomt være langt mindre enn ved bruk av manuelle systemer. Ved fortøyning med bruk av trosser oppstår det en del ulykker hvor materiell kommer til skade. Dette kan både være forårsaket av menneskelige feil eller uheldige situasjoner. Likevel resulterer det i behov for store reparasjonskostnader. Sjøfartsdirektoratet lager en 'læring av hendelse' rapport etter ulykker og hendelser som brukes til å føre ulykkesstatistikk for fartøy i Norge. Databasen til sjøfartsdirektoratet inneholder informasjon om alle ulykkene i tillegg til årsak, ulykkessted, ulykkesetid, skadeomfang m.m.. I figur 1.1 er det illustrert en oversikt over alle personulykker og fartøyulykker sammen med andelen av disse ulykkene som er relatert til fortøyning i tidsperioden 2010 - 2022. Utifra dataene er andelen i snitt 17% for fartøyulykker og 42% for personulykker. I tillegg viser begge grafene en økende trend de siste fem årene. Figuren understreker behovet for en løsning som kan snu denne trenden. Fartøygruppene som inngår i statistikken er: *fiskefartøy, lasteskip, passasjerskip og flyttbare innretninger*.

Et automatisk lade- og fortøyningsystem bidrar til å redusere både tidsbruk og energiforbruk. Mange av fergene som opererer i Norge har et stort potensialet for effektivisering. Ved bruk av manuelle trosser går det lang tid fra fartøyet legger til kai og inntil det er fortøyd. På lik linje vil et manuelt ladesystem kreve lang tid siden det er behov for personell til å gjennomføre av- og påkoblinger. Disse manuelle metodene er relativt tidskrevende og fører til økt liggetid. Mange fergesamband i Norge har fjernet hele prosessen med den tidskrevende fortøyningsstiden ved å holde fartøyet motorkraft gående. Istedenfor å fortøye bruker fergene nytte av egen motorkraft for å holde seg inntil kaien under lossing og lasting. Denne løsningen effektiviserer tidsbruken til fergene men fører til et unødvendig høyt energiforbruk og miljøskadelig utslipp. Et automatiske lade- og fortøyningsystem er en effektiv og bærekraftig løsning som sørger for kortere liggetid for fartøyet.



Figur 1.1: Fartøyulykker og personulykker

*Det er antatt at ulykkene illustrert i blått er relatert til fortøyning. Dataene for personulykker inkluderer støtskader og klemskader. Dataene for fartøyulykker inkluderer kontaktskader og kaiskader. Disse typene skader er ofte relatert til fortøyningsulykker. Det anerkjennes at noen av ulykkene i realiteten kanskje ikke er relatert til fortøyning og tas høyde for dette i videre arbeid.

1.4 Regelverk

Konstruksjoner på både land og på vann må følge lover og retningslinjer som blir satt av statlige direktorater. Dessverre oppstår det veldig mange ulykker årlig i forbindelse med sjøfart. Det er lovpålagt å rapportere alle ulykker som oppstår på sjøen, både store og små. Ulykkene samles i rapporter som publiseres offentlig slik at andre kan ta lærdom av tidligere hendelser.

Automatiske fortøyningsystemer har blitt mer og mer vanlig på kaier i Norge, men det har ikke tatt markedet med storm helt enda. Etter samtaler med Kystverket og Sjøfartsdirektoratet viser det seg at det er store mangler når det kommer til lover og retningslinjer gjeldende automatiske landbaserte lade- og fortøyningsystemer. I følge skipssikkerhetsloven er det krav om å "...trygge liv og helse, miljø og materielle verdier ved å legge til rette for god sikkerhet og sikkerhetstyring..." ("Lov om skipssikkerhet (skipssikkerhetsloven) - Lovdata", 2007). Hvordan dette kravet skal oppfylles for et automatisk lade- og fortøyningsystem har det enda ikke blitt laget grundige retningslinjer for.

Normer som gjelder for slike systemer er en god pekepinn på hva som kan settes som krav. Forsikringsselskapene ønsker ikke å betale forsikringspenger og vil derfor lage retningslinjer som man må følge for å unngå å dekke skadene selv. I tillegg har tidligere rettsavgjørelser gode kilder på lover og regler rundt de gjeldende temaene. Et utgangspunkt i rettsavgjørelser fra stortinget, retningslinjer satt av forsikringsselskapene og skipssikkerhetsloven vil gi en god indikasjon på normene som gjelder. For denne oppgaven vil dette brukes for å danne et bilde av hensiktsmessige retningslinjer for et automatisk lade- og fortøyningsystem.

1.5 Forutsetninger

I Grønn Kai prosjektet har det blitt gjort en del nødvendige forutsetninger slik at prosjektet blir realiserbart og at det er mulig å løse problemstillingene uten å basere seg alt for mye på spekulasjoner (“Grønn Kai sluttrapport”, 2022). Det finnes ofte veldig mange alternative metoder å utarbeide løsninger på, spesielt når konseptet er nytt, innovativt og framtidsrettet slik det er i dette prosjektet. Siden det ikke finnes mange løsninger for et integrert automatisk lade- og fortøyningsystem finnes det heller ikke mye tilgjengelig data og eksempler som man kan lene seg på. På lik linje med Grønn Kai prosjektet har det blitt gjort en del forutsetninger i dette prosjektarbeidet for å kunne jobbe innenfor en ramme uten for mange variable faktorer.

1.5.1 Tilgjengelig effekt og areal i Linge

Den nye elektrifiserte fergekaien som bygges ut i Linge er planlagt å være ferdigstilt i 2024 (“Ny fergekai”, 2022). I dette prosjektarbeidet antas det at det vil være tilgjengelig effekt for å lade powerbargen og at det gis tillatelse til et påbygg med lade- og fortøyningsystem på den nye fergekaien. Om nettene vil det være færre fergeavganger og dermed en mindre trafikkert sjøvei. Siden det er planlagt at powerbargen skal seile om nettene vil dette løse en del problemstillinger. Linge ligger på Tafjord-siden og henter strøm fra kraftlinjene som går i dette område. Det vil altså være stor tilgang til energi i Linge i tillegg til at det vil være få avganger fra kaien når powerbargen skal lade. Det vil derfor være hensiktsmessig å anta at effektkapasiteteten på den nye fergekaien vil være tilstrekkelig.

1.5.2 Kai utforminger

Gjennom arbeidet med prosjektet Grønn Kai ble det utarbeidet flere løsninger for hvordan kaiene i Geiranger og Linge skal være utformet. Likevel er ikke disse endelige og det kan forekomme forandringer. Slik det er lagt fram i sluttrapporten til Grønn Kai skal det bygges en hesteskoformet kai hvor powerbargen kan seile inn og legge til (Grønn Kai, 2022). Det forutsettes at kailøsningene for lade- og fortøyningsystemene på Linge og Geiranger får den samme utformingen som er planlagt i Grønn Kai prosjektet.

Kapittel 2

Metode

Under arbeidet med dette prosjektet har det blitt gjort mange vurderinger og det har blitt tatt viktige beslutninger. Blant annet har det blitt gjennomført befaringer, vurderinger av systemer og det har blitt laget kravspesifikasjoner. I dette kapittelet skal de ulike lade- og fortøyningsystemene presenteres, i tillegg til at fordelene og ulempene nøye vil drøftes. Deretter skal de ulike metodene som har blitt tatt i bruk for å ta de nødvendige konklusjonene legges fram. Til slutt skal det begrunnes og gjøres rede for hvilket av systemene som blir mest hensiktsmessig å fokusere videre på, i tillegg til at kravspesifikasjonene presenteres.

2.1 Befaring

I forkant av prosjektarbeidet var det lite kjennskap til automatiske lade- og fortøyningssystemer som anvendes på fartøy. For å få inspirasjon og se hvordan et slikt system fungerer ble det bestemt at det skal gjennomføres en befaring. Fjord1 er en stor ferge- og hurtigbåtsreder som operer langs vetkysten av Norge. Flere av fergesambandene som opereres av Fjord1 bruker automatiske lade- og fortøyningsystem. Med hjelp fra en kontaktperson i Stranda Hamnevesen ble det opprettet en dialog med nøkkelpersoner i Fjord1. Etter å ha forklart litt rundt oppgaven og interessen rundt automatiske lade- og fortøyningsystemer var Fjord1 villige til å samarbeide. Kort tid senere ble det avtalt å gjennomføre et besøk på Magerholm - Sykkylven fergesambandet for å gjøre nærmere undersøkelser og lære mer om systemene som brukes der.

2.1.1 Forberedelser til befaring

I tillegg til å se hvordan automatiske lade- og fortøyningsystemer fungerer var hensikten med befaringen å lære om de ulike styrkene og svakhetene ved slike systemer. Hvilke sider av systemene fungerer bra og hvilke som kan forbedres. Før befaringen var det meste av informasjon om lade- og fortøyningsystemer som var opparbeidet hovedsakelig mottatt fra bedriftene som leverer løsningene eller hentet fra troverdige kilder på internett. Ved å utføre denne befaringen blir det mulighet for å hente informasjon direkte fra bruker.

Spørsmål laget i forkant av befaring:

- Hvilke løsninger brukes for fortøyning og lading her ?
- Er lade- og fortøyningssystemet integrert?
- Hvilke bedrifter har levert systemene ?
- Hvordan takler systemene hardt vær?
- Hvor mye energi leverer ladesystemet ?
- Hva er de største fordelene med automatiske lade- og fortøyningsystemer ?
- Hva er de største ulempene med automatiske lade- og fortøyningsystemer ?

2.1.2 Befaring ombord MF Skopphorn

En av fergene på Sunnmøre som bruker automatiske fortøyningsystem og ladesystem er MF Skopphorn. Denne elektriske bilfergen trafikkerer ruten mellom Magerholm og Sykkylven. Systemene er utstyrt i begge lokasjonene. Driftsprofilen til en bilferge vil være noe annerledes enn driftsprofilen til powerbargen. Likevel vil det være mange fellestrekk som kan brukes til å dra nytte av erfaringene som har blitt gjort på dette sambandet.

Befaringen ble gjennomført delvis på egenhånd og delvis sammen men kaptein Noralf og overstyrmann Jan Sindre. Til å begynne med ble det foretatt visuelle undersøkelser på systemene for å se hva slags løsninger som blir brukt og hvordan de blir anvendt. Løsningene som brukes til å fortøye og lade MF Skopphorn er henholdsvis vakuumenteknologi og kontakt kobling. Disse løsningene brukes hver for seg og systemene er dermed ikke integrert. Begge systemene er levert av den internasjonale bedriften Cavotec. Ladesystemet bruker et automatisert koblingssystem med navnet FerryCHARGER. Dette systemet kobles automatisk til fergen etter fortøyningsprosessen. Til å fortøye fergen

brukes vakuumsystemet AutoMoor. AutoMoor bruker sugekoppløsninger til å feste seg på skrogsiden og holde fergen i ro under lasting og lossing av biler. Ladesystemet Ferry-CHARGER lader fergen på Magerholm i omtrent i 3 - 5 minutter før den seiler videre til Sykkylven og gjentar syklusen. Ladeeffekten systemet leverer reguleres ut ifra hvor mye energi som må leveres ved enhver situasjon. Under befaringen leverte systemet en ladeeffekt på 3 MW. På værtunge dager velger kaptein Noralf og holde motoren i gang mens fergen lossing og laster biler på kaiene. Om fortøyningsystemet skulle svikte er det kapteinen som har ansvaret for fergen. Derfor velger han å være beredt i tilfelle det skulle gå galt, på bekostning av økt energiforbruk. MF Skopphorn bruker opptil 40-50% mer energi på seileruten ved utfordrende værforhold. I følge kapteinen kan effektforbruket øke fra 140 kW, som er normalt på dager med rolige værforhold, til 220 kW. På slike dager er de få lademinuttene viktige for at fergen skal ha tilstrekkelig kapasitet.

I følge kapteinen og overstyrermannen er det mange fordeler med lade- og fortøynings-systemene, men det er også noen forbedringspotensialer. Fordelene med et slikt system fremfor bruk av manuelle trosser er at det eliminerer behov for personell som skal operere med trossene. Det er også veldig tidseffektivt, noe som fører til at fergene rekker flere turer i løpet av en dag. Når det gjelder forbedringspotensialene ved systemene gikk det hovedsakelig ut på effektivisering og sikkerhetssystemer. Ladesystemet blir manuelt startet av kapteinen først etter at fortøyningsystemet har koblet seg til. Ulempen med dette er at det går 1-2 minutter mens fergen står klar til å lade uten at ladingen kan starte. I tillegg kan det automatiske kontrollsystemet forbedres. Ved ekstreme værforhold må kapteinen manuelt koble fra ladesystemet. Det har oppstått noen hendelser hvor store bølgebevegelser har ført til skade på ladesystemet.

2.2 Eksisterende løsninger - Fortøyningsystem

Cavotec er en bedrift som jobber med løsninger innenfor for koblinger og elektrifisering (“Cavotec”, 2023). De er blant de fremste aktørene innenfor automatiske fortøyningsystemer og har levert flere løsninger rundt i hele verden. Norge var blant de første landene til å utforske og ta i bruk denne teknologien. Dette var i samme periode som den første fullelektriske bilfergen MF Ampere begynte å seile i Sognefjorden i 2015 (News, 2015).

Blant de systemene som finnes i dag har vi 3 hovedgrupper:

- Vakuum system
- Magnetisk system
- Gripearmsystem

2.2.1 Vakuum system

En av de mest utbredte løsningene innenfor automatiserte fortøyningsystemer er sugekoppløsningen. Denne løsningen bruker vakuumtrykk for å få et godt feste på skrogsiden. Å bruke vakuum til å holde fast eller flytte på objekter er ikke en ny anvendelse av teknologien. Anvendelsen er spesielt utbredt når det kommer til større objekter hvor det er problematisk og få et godt tak på grunn av ugunstige holdepunkter. Når det skal foretas løft av store og flate objekter, som for eksempel plater på byggeplasser eller glass ved installasjoner, brukes det ofte vakuum.

Fordelen med bruk av vakuum til fortøyning er at det er kompatibelt uavhengig av materialet til skipsskroget. De fleste større fartøy er laget i stål eller aluminium (“Exploring the Hull Material Used in Modern Boat Design”, 2018). Likevel blir det stadig mer normalt å ta i bruk ulike materialer som GRP (Glass Reinforced Plastic) og karbonfiber. Ved bruk av vakuum er forutsetningene til skrogmaterialet at de er relativt slette og har en jevn overflate. Da vil kontaktflaten mellom fortøyningsystemet gi god forsegling og vakuumet blir mest mulig effektivt.

For å laget et vakuum som er sterkt nok til å holde igjen et fartøy på mange titalls tonn kreves det mye energi og det påføres store krefter. Skroget er vanligvis ikke dimensjonert deretter, men dette er avhengig av materialet. Ved bruk av vakuum fortøyning kan det være nødvendig å forsterke de områdene som blir påført vakuumtrykk for å unngå deformasjoner i materialet.

Det er et høyt energiforbruk i direkte sammenheng med å lage et kraftig vakuüm. Peri-oden systemet bruker på dette vil derimot være kortvarig. Det er ikke nødvendig å bruke kontinuerlig sugeskraft for å opprettholde vakuümet. Når systemet har nådd det önskede vakuüetrykket vil en ventil låses. Dette gjør at trykket forblir konstant.



Figur 2.1: Vakuümenteknologi anvendes innenfor flere industrier (Bilde). Bretteville - <https://www.brettevilletaljer.no/vakuümløfter/loft-av-plater/vacuboy-vakuümløfter/-for-plater-opp-til-2-tonn> (Hentet: 28.04.2023).

2.2.2 Magnetisk system

Et magnetisk fortøyning system er på mange måter ganske likt fortøyning ved bruk av vakuum. Ved magnetisk fortøyning brukes det elektromagneter istedenfor vakuumtrykk. En ulempe ved bruk av et slikt system er at det gir begrensninger på skrogmaterialet fartøyet kan ha. For at det systemet skal kunne fortøye må det være et magnetisk materiale. Det er vanlig å bruke magnetiske materialer ved bygging av skipsskrog men som tidligere nevnt har det blitt mer og mer vanlig å bruke andre ikke-magnetiske materialer. I et slikt tilfelle er man nødt til å sammenføye en plate til fartøyet som består av et magnetisk materiale. Fordelene med et magnetisk system er at det gir rask til- og avkobling. I tillegg vil det ikke ha noen innvirkning av et eventuelt strømtap i følge den nederlandske bedriften Mampaey ("DockLock", 2017) .



Figur 2.2: Dock Lock magnetisk fortøyningsystem (Bilde). Mampaey - https://unece.org/DAM/trans/doc/2013/dgwp15ac2/Dock_lock_presentation_1.pdf (Hentet: 02.04.2023).

2.2.3 Gripearmsystem

Fortøyningmetoden hvor en bruker gripearms skiller seg ut fra de to tidligere nevnte løsningene. Gripearmsystemer består av alt fra enkle mekaniske løsninger til avanserte automatiserte løsninger. Noen av de avanserte løsningene som finnes bruker en automatisert robotarm til fortøyning. Gripearmen kan både være integrert i en kai, eller på selve fartøyet. Denne automatiserte gripearmen fortøyer ved at den griper tak i designerte holdepunkter, eller ved at den brukes til å feste trosser på pullerter på kaiområdet. Den sistnevnte metoden har god bevegelighet og brukes på det autonome og fullelektriske containerskipet Yara Birkeland (“Automated mooring system”, 2021).

I tillegg til denne type løsninger finnes det enkle systemer som utnytter mekanisk kraft. Ved å bruke en mekanisk gripearms kan det være store fordeler når det kommer til energibesparelse. Likevel er det en del begrensninger på slike systemer. Noen mekaniske løsninger tillater liten bevegelighet. Dette gjelder de enkle statiske løsningene som også ofte er laget i stålmaterialer som bråker og forårsaker store bevegelser når det støter borti fartøyet under fortøyning. Disse løsningene er i tillegg lite kompatible for autonomitet.



Figur 2.3: Automatisk gripearmløsning på lasteskipet Yara Birkeland (Bilde). Macgregor - <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/> (Hentet: 28.03.2023).

2.3 Eksisterende løsninger - Ladesystem

Innenfor skipsfartsindustrien bygges det stadig flere elektriske fartøy. Den økte elektrifiseringen fører til behov for smarte ladesystemer. Powerbargen som skal seile i Geirangerfjorden er på sikt planlagt til å kunne gjennomføre hele prosessen uten menneskelig interaksjon. For å få en smidig overgang til den framtidige autonome driften er det nødvendig med automatiserte løsninger.

Eksisterende løsninger for lading:

- Trådløs lading
- Lading ved bruk av kabel

2.3.1 Trådløs lading

Trådløs lading er en av de automatiske lademetodene som anvendes på fartøy i dag. Den vanligste formen for trådløs lading er induksjonslading. Finske Wärtsilä er en av bedriftene som har levert slike ladesystemer til bruk på ferger. En stor fordel med et slikt system er at det ikke er nødvendig med fysisk kontakt mellom dele som sender og mottar energi. Fartøyet vil kunne starte ladingen med en avstand på opptil 500 mm unna strømkilden (“Charging – Marine vessel charging systems”, 2021). Systemet vil da kunne både starte og avslutte ladingen tidligere.

Den største ulempen med induksjonslading er energieffektiviteten til systemet. Generelt er det flere faktorer som størrelse og utforming som spiller en rolle for graden av energitap. Når energien overføres gjennom luften oppstår det varmetap og hysteresetap. Avstanden mellom den energioverførende delen og den energimottakende delen av systemet har stor påvirkning på graden av energitapet. Uansett om et slikt system tillater lading med en avstand på opptil 500 mm er det mer effektivt jo kortere distansen er. Nøyaktig hvor effektivt et slikt system er vil være avhengig av flere faktorer men effektiviteten ligger på omkring 75% - 80% med dagens løsninger (“Battery University”, 2021). Flere aktører påstår at trådløse systemer som er under utvikling kan oppnå en høyere effektivitet enn ladekabel med kontakt kobling. Resonans er en annen form for trådløs lading som også er under utvikling og egner seg godt til lading ved høy frekvens (“New technology”, 2023). Teknologien bak trådløs lading er i stadig utvikling. For skipsindustrien er bruken av trådløs lading en god tilrettelegging for overgangen til helautonome systemer. Et slikt system kan bli ansett å være en del av den nye teknologiske fremtiden som samfunnet er på vei mot.

2.3.2 Lading med kabel

De aller fleste ladesystemene i skipsindustrien bruker konvensjonell kabel med kontakt kobling. Disse kablene skal levere en effekt på flere megawatt og har derfor relativt store dimensjoner. Å koble sammen kablene til fartøyet manuelt vil være tungt og upraktisk for kaiarbeidere og det vil i tillegg overskride anbefalingene til arbeidstilsynet gjeldende manuelle løft (“Tungt arbeid”, 2023). Mange av disse ladesystemene har blitt utviklet til et automatisert system. Det automatiske systemet løfter denne kabelen til riktig høyde og avstand fra båten, ut ifra hvor kontakten skal kobles til. Når kabelen har nærmet seg brukes det ofte en magnetløsning for å forsikre at kabelen kobles til riktig og ladingen kan begynne. Den største fordelen med lading ved bruk av kabel er at det innebærer lite tap. Avhengig av hvor mange ulike tapsledd som inngår kan effektivitet ha et gjennomsnitt opp mot 95% (“Wired Charging”, 2022). I tillegg til at det begynner å bli en utdatert løsning er ulempen med denne type lading at delene blir utsatt for slitasje på grunn av gjentagende av- og tilkoblinger. Dette innebærer økte kostnader for drift.



Figur 2.4: Konvensjonell kabel med kontakt kobling (Bilde). Grenwave - <https://www.greenwaves.no/no/nyheter/lading-av-elbt-er-lettere-enn-du-tror> (Hentet. 26.03.2023).

2.4 Metode og valg av løsninger

De nevnte fortøyningsystemene og ladesystemene har både fordeler og ulemper. Når det skal tas et valg for hvilke systemer som skal brukes videre i prosjektet blir det nødvendig å velge de systemene som passer til powerbargen og Grønn Kai prosjektet. Dette systemet skal plasseres i et av Norges mest besøkte turistattraksjoner (“Geirangerfjorden”, 2023). Lade- og fortøyningsystemet og powerbargen som frakter energi vil trolig bli en form for turistattraksjon i seg selv. Uansett om aspekter som utforming og anvendelse av fremtidsrettet teknologi ikke vil være avgjørende for valget, vil det likevel bli noe vektlagt i vurderingene.

2.4.1 Vurdering av ladesystem

Ladesystemet som skal anvendes står mellom trådløs lading i form av induksjon og lading med kontakt kobling. Uansett om sistnevnte har høyere effektivitet per dags dato er det flere indikasjoner på at trådløs lading er på vei til å bli den mest effektive løsningen i markedet. Trådløs lading har fordeler som raskere av- og tilkobling, mindre behov for vedlikehold og anvender fremtidsrettet teknologi som vil være godt egnet for en fullautonom drift i framtiden. I tillegg vil det være mindre kostnader relatert til drift av et slikt system.

2.4.2 Vurdering av fortøyningsystem - poengfordeling

For å velge mellom de 3 forskjellige fortøyningsløsningene ble det anvendt en metode for poengfordeling som er illustrert i tabell 2.1. Utifra hvor godt systemene scorer i ulike valgte kategorier ble det utdelt mellom 1-5 poeng, hvor 1 gir lavest uttelling og 5 gir høyeste uttelling. Deretter ble det beregnet et snitt som ble brukt til å vurdere systemene opp mot hverandre. Kategoriene har blant annet blitt formet ut ifra tilbakemeldingene etter befaringen som ble foretatt på MF Skopphorn. Likevel er det ikke tilstrekkelig å kun ta hensyn til ytringene til kaptein og overstyrmann på MF Skopphorn. En ferge har hektiske avgangsplaner noe som gjør at effektivt tidsbruk er sentralt. Powerbargen derimot skal være kailagt i flere timer av gangen. Det vil altså være vesentlige ulikheter for kravene som stilles for et system på en fergekai og systemet i denne oppgaven. Utviklingen av de endelige kategoriene til det poenggivende systemet har derfor også basert seg på driftsprofilen til powerbargen. Fortøyningsløsningen som kom best ut av poengfordelingen var vakuumsystemet. Kategoriene og resultatet er illustrert i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Poenggivende vurdering - Fortøyningsystemer

	<i>Magnetisk</i>	<i>Vakuum</i>	<i>Gripearm</i>
<i>Kompatibilitet</i>	3	5	2
<i>Arm-rekkevidde</i>	4	4	5
<i>Energiforbruk</i>	2	3	2
<i>Støy</i>	3	3	2
<i>Tidsbruk</i>	5	5	2
Sum	2,8	3,3	2,2

2.4.3 Valgt lade- og fortøyningsystem

De valgte løsningene for dette prosjektarbeidet er trådløs lading ved induksjon og vakuumbortøying. Ved bruk av vakuumbortøying kan systemet benyttes på alle skrog uavhengig av materialet og uten behov for store modifikasjoner på fartøyet. Induksjonslading er en teknologi i utvikling. Ettersom powerbargen er planlagt for fullautonom drift i framtiden vil induksjonsløsningen være med på å gjøre denne overgangen smidig.

2.4.4 Kravspesifikasjoner

For lade- og fortøyningsystemet har det blitt laget en enkel oversikt over de viktigste forhåndssatte kravene. Disse skal brukes underveis i design- og konseptarbeidet for å utvikle systemer for de valgte løsningene. Kravspesifikasjonene som er illustrert i tabell 2.2 har hovedsakelig blitt utarbeidet med bakgrunn i eksisterende løsninger og befaringen på MF Skopphorn.

Tabell 2.2: Kravspesifikasjon

Ladeeffekt	Total 5 MW
Holdekraft	20 tonn pr modul
Bevegelighet	Bevegelig til og fra skrog Heve- og senkebevegelse Til og fra skrog: 500 mm
Styringsystem	Automatisk (Kontroll inkludert) Avkobling ved overbelastning Varslingsalarm (Visuell og hørbar)

Kapittel 3

Teori

Automatiske fortøyningsystemer og ladesystemer har blitt brukt innenfor den maritime sektoren i flere år. Disse systemene gjør at fortøyning av fartøy blir tryggere og raskere. For ferger og andre fartøy med hyppige avganger er dette en stor fordel da ladingen kan starte tidligere og energiforbruket reduseres ettersom det ikke er nødvendig å ta i bruk motorkraft for å holde seg i posisjon.

I dette kapitlet skal teorien bak induksjonsteknologi og vakuumenteknologi presenteres. Det skal også presenteres litt teori rundt styring- og kontrollsystem i tillegg til behovet for dette.

3.1 Vakuum - Fortøyningsystem

Ordet vakuum stammer fra det latinske ordet *vacuus* som betyr tom på norsk. Per definisjon er et perfekt vakuum et rom hvor det ikke eksisterer noen materiepartikler (“Vacuum theory”, 2022). Dette er ansett som umulig å oppnå i praksis. Likevel brukes ordet vakuum stadig vekk i ulike sammenhenger. For å forstå hva som menes med vakuum når man snakker om fortøyningsystemer er man nødt til å se på den hverdagslige definisjonen ordet har fått. Når trykket i et rom befinner seg under det atmosfæriske trykket er det vanlig å kalle det for et vakuum.

3.1.1 Ulike nivåer av vakuum

Vakuum kan deles inn i 4 nivåer. Lav vakuum, medium vakuum, høy vakuum og veldig høy vakuum. Figur 3.1 viser det opptredende trykket og antall partikler som befinner seg i det gjeldende rommet ved de ulike nivåene. Trykket som oppstår er gitt av formelen

$$P = \frac{nmv^2}{3V} \quad (3.1)$$

der:

n : antall molekyler

m : massen til molekylene

v : gjennomsnittshastigheten til molekylene

Videre kan vi bruke trykket P sammen med en arealflate A til å regne oss fram til den opptredende kraften med formelen

$$N = P \cdot A \quad (3.2)$$

Pressure Range	Pressure, mbar	Molecules per cm ³
Low Vacuum:	10 ⁵ to 10	2.65 x 10 ¹⁹ to 2.65 x 10 ¹⁶
Medium Vacuum:	10 to 10 ⁻³	2.65 x 10 ¹⁶ to 2.65 x 10 ¹³
High Vacuum:	10 ⁻³ to 10 ⁻⁷	2.65 x 10 ¹³ to 2.65 x 10 ⁹
Ultra-High Vacuum:	10 ⁻⁷ to 10 ⁻¹²	2.65 x 10 ⁹ to 2.65 x 10 ⁴

Figur 3.1: Fire ulike nivåer av vakuum (Tabell). Vacaero - <https://vacaero.com/information-resources/vac-aero-training/170466-the-fundamentals-of-vacuum-theory.html> (Hentet: 03.05.2023).

Jo lavere trykket er i vakuumet, jo mer energi vil det kreve å oppnå. På lik linje vil sugekraften til et vakuumsystem øke proporsjonalt med produktet mellom trykket og arealflaten. Ved å øke arealflaten på sugekoppen til et fortøyningsystem som bruker vakuum kan man dermed øke den resulterende sugekraften uten å øke energiforbruket. Forholdet mellom trykket og arealet bør optimaliseres for enhver situasjon ut ifra tilgjengelig plass og energikapasitet. Det er vanskelig å vite nøyaktig hvor mye sugekraft som er nødvendig for å holde et fartøy i ro uten fare for ulykker.

Hvis man ikke tar hensyn til at fartøyet vil bli påvirket av eksterne krefter vil det ikke være nødvendig med stor sugekraft. Et fartøy på sjøen blir derimot påvirket av mange ulike faktorer som bølger, vær og vind som gjør det nødvendig med store krefter for å holde fartøyet på plass.

3.2 Induksjonslading

De siste årene har det blitt mer og mer vanlig å lade ulike mobile enheter uten å måtte ta i bruk en ledning. Disse enighetene kan være alt fra mindre gjenstander som telefoner og smartklokker, til større innretninger som blant annet elektriske biler, motorsykler og båter. Å slippe å bruke ledning ved lading har vært revolusjonerende innenfor ladeteknologien. Dette er med på å gi teknologien en større bruksgruppe. Eldre mennesker og mennesker med nedsatte funksjonsevner kan ha stor nytte av denne teknologien. For de større enhetene som biler og båter er en av fordelene økt effektivisering. Da det ikke er nødvendig å gå av kjøretøyet/fartøyet for å koble til og starte ladingen kan man starte og avslutte prosessen tidligere.

3.2.1 Historisk bakgrunn

Induksjonsteknologi har opp igjennom årene blitt anvendt til andre ting før lading. Allerede i 1916 ble det brukt induksjon for å varme opp metaller (“History of the Induction Heating & Melting Process”, 2017). Spesielt under andre verdenskrig ble denne teknologien utbredt. Det store behovet for omsmelting av metaller, i tillegg til fordelene ved å bruke induksjon kontra andre metoder, førte til satsing på denne teknologien. En innretning basert på den samme teknologien som begynner å bli en standard i alle norske hjem er induksjonstopper. Når det kommer til lading av batterier var det ikke før på slutten av 1900-tallet at M. Hutin og M. Le-Blanc sin gjenglemte metode, fra 1894, begynte å bli anerkjent og utbredt blant forskere (“The History of Wireless Charging”, 2020). Siden har metoden blitt videreutviklet og er i dag ansett som en av de mest pålitelig lademetodene.

3.2.2 Slik fungerer det

Teorien bak induksjon baserer seg på Michael Faraday sin lov om elektromagnetisk induksjon. Loven sier at ‘...når en magnetisk fluks gjennom en strømkrets forandres, blir det induert en elektromotorisk spenning i kretsen’ (Skaar & Grøn, 2023). Faraday observerte dette ved å føre en magnet igjennom en leder formet som en ring.

Ved induksjonslading brukes Faradays lov til å overføre energi fra en primærspole til en sekundærspole. Det vil flyte strøm igjennom primærspolen når det kobles til en strømkilde som gjør at det oppstår et magnetfelt rundt spolen. Når sekundærspolen er nærme nok vil den endre magnetfeltet og det blir induisert en spenning. Et batteri koblet til sekundærspolen vil da begynne å lade (Tiwari, 2016).

3.3 Styring- og kontrollsystem

Gode kontrollsystemer og styringssystemer er viktige for ubemannede operasjoner. Automatiske systemer er programmert til å utføre bestemte handlinger for ulike gitte scenarier. I blant oppstår det uvanlige situasjoner som kan føre til feil i systemet. Disse feilene kan igjen føre til skader eller uventede reaksjoner fra systemet som kan få alvorlige konsekvenser.

Styring- og kontrollsystem fører til at maskiner i mange ulike industrier øker sikkerhet og effektivitet. I tillegg brukes disse systemene for å sørge for at maskinene oppfører seg som planlagt og at de er forberedt på å avverge farlige hendelser. Hovedsakelig finnes det to typer kontrollsystem. Den ene varianten kalles for *åpen sløyfe system* (*open loop system*) og er avhengig av menneskelig bistand. Den andre varianten kalles for *lukket sløyfe system* (*closed loop system*) og kan regulere seg selv uten menneskelig interaksjon (“What is control system?”, 2023).

Et lade- og fortøyningsystem er dimensjonert og programmert for å takle en bestemt kraft og levere en bestemt effekt. Hvis kreftene som påføres eller effekten som leveres ved hjelp av systemet avviker fra normen kan styringssystemene brukes for å gjøre at maskinene avbryter prosessen. Disse systemene tar over kontrollen og styrer maskinene. Ved bruk av styringssystemer kan hendelser som potensielt kunne ført til farlige situasjoner og dyre reparasjoner avverges.

Kapittel 4

Konsept og design

I dette kapitlet vil det legges fram en grundig gjennomgang av konsepter og designprosesser for de ulike løsningene. Gjennom prosjektet har det blitt utarbeidet flere konsepter. Disse har blitt utviklet progressivt etterhvert som nye avgjørelser har blitt gjort på grunn av designutviklingen til powerbargen. Powerbargen blir utviklet av to skipsstudenter samtidig som lade- og fortøyningsystemet utvikles i dette prosjektet.

Samtlige konsepter og design har til å begynne med blitt skissert og deretter modellert i 3D modellerings programmet Siemens NX. Ved hjelp av simuleringsprogrammet Ansys har det blitt gjennomført styrkeberegninger av de kritiske delene i de forskjellige designløsningene. For å fremkalle realistiske miljøbilder (se vedlagt) av de 3D modellerte løsningene har visualiseringsprogrammet Enscape blitt benyttet.

4.1 Konseptutvikling

Under konseptutviklingen har det blitt utarbeidet 4 konsepter i tillegg til et alternativt konsept. Etterhvert som skipsstudentene gjør forandringer på designet til powerbargen utvikles det nye konsept for lade- og fortøyningsystemet.

Det som er felles for alle konseptene er at det både skal designes et system i Linge og et system i Geiranger. Systemet i Linge skal fortøye og lade opp powerbargen slik at den kan frakte med seg energi. Systemet i Geiranger skal fortøye og videreføre denne energien. Det skal altså ikke inngå lading i systemet i Geiranger. For å unngå unødvendig tap av energien som fraktes skal det benyttes en kabel med kontakt kobling for energioverføringen i Geiranger.

Lade- og fortøyningsystemene som utarbeides i konseptene skal plasseres på flytende kaier. Det er forutsatt at kaiene på begge lokasjonene skal være hesteskoformede. Powerbargen som designes av skipsstudentene vil alltid ha et konstant deplasement. Det vil si at dypgangen til powerbargen alltid er den samme, noe som forenkler løsningene som inngår i konseptet. På grunn av den store masseforskjellen mellom kaien og powerbargen vil bevegelsene i vannet ha variert innvirkning på disse to. Kaien vil få liten innvirkning mens powerbargen kan få stor innvirkning. Det blir derfor viktig å ta hensyn til bevegelser i vannet under konseptarbeidet .

4.2 Designprosess

Designprosessen i dette prosjektet har utviklet seg dynamisk. Etter regelmessige møter med skipsstudentene har konseptet vært igjennom flere revideringer. Revideringene har resultert i at noen av løsningene lenger ikke er tilpasset powerbargen og det må lages nye design. Dette har ført til at designprosessen har gjennomgått en iterasjonsprosess som har resultert i mange ulike løsninger, hovedsakelig for fortøyningsystemet.

Under arbeidet har det i tillegg vært fokus på å utvikle løsninger med hensyn til vedlikehold, drift og utskiftning. For et system som skal være i daglig drift vil det være behov for jevnlig vedlikeholdsarbeid. Vedlikehold fører til at delene både yter bedre og får økt levetid slik at det blir minimalt med perioder hvor systemet er ute av drift. Under designarbeidet vil det dermed være viktig å ta hensyn til hvordan denne vedlikeholden skal gjennomføres på en best og enklest mulig måte for servicearbeiderene.

4.3 Konsepter og løsninger

I denne delen vil alle konseptene i prosjektet gjøres rede for. De ulike konseptene presenteres sammen med de ulike løsningene som anvendes. Utover i konseptarbeidet har noen av de forskjellige løsningene blitt videreført til neste konsept. Dermed har det ikke blitt utarbeidet nye løsninger for hvert konsept.

4.3.1 Konsept 1



Figur 4.1: Figuren viser et situasjonsbilde av konsept 1. Her inngår det en forenklet modell av kaien sammen med to like lade- og fortøyningsløsninger. Figuren illustrerer et av de to forskjellige systemene i Geiranger og Linge.

Konsept 1 består av to forskjellige systemer. Det ene systemet skal brukes i Linge og det andre skal brukes i Geiranger. På begge lokasjonene skal løsningene plasseres på hver av sidene til den hesteskoformede kaien. I konsept 1 brukes det dermed to ulike, men totalt fire løsninger.

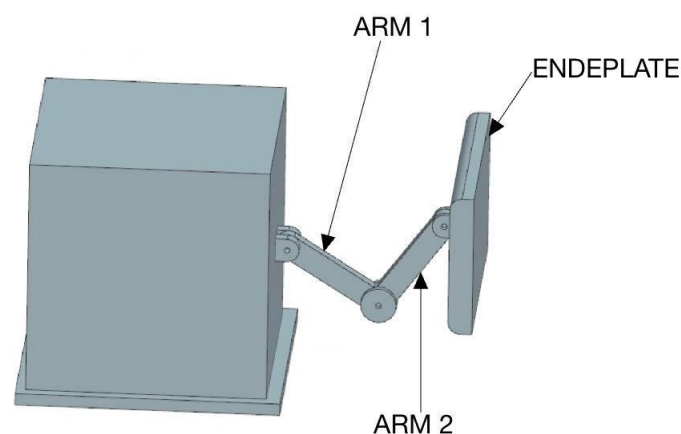
I Geiranger er det to like fortøyningsløsninger. Ett av de to løsningene skal integreres til en kabel med kontakt kobling for å tappe energi fra powerbargen samtidig som den blir fortøyd. I skrogsiden til powerbargen vil det implementeres en sekundærspole som gjør at det oppstår en elektromagnetisk spenning og systemet får tilførsel av energi når den legger til kaien i Linge.

For å beskytte skroget til powerbargen skal det plasseres fenderer på langs med de to sidene til kaien. Fenderene gjør at bevegelsen til powerbargen blir dempet slik at det ikke oppstår kraftige og brå bevegelser under fortøyning. I tillegg beskytter fenderene skroget mot støt og andre kosmetiske skader.

Løsning 1

Den første løsningen i konsept 1 ble designet med enkle former for å danne et helhetlig og visuelt bilde. Hovedsakelig består løsning 1 av en stasjonær modul, en bevegelig arm og en endeplate. Alle delene lages hovedsakelig i et syrefast stålmateriale. Løsningen til systemet i Geiranger og Linge har samme utgangspunkt. Siden det ikke er behov for et ladesystem i Geiranger vil endeplaten her være forenklet, men det skal være en kontaktløsning for energioverføring som integreres til endeplaten. Uavhengig av disse forskjellene på systemene i Geiranger og Linge vil løsningene ha samme designpreg og utforming.

I begynnelsen ble det hovedsakelig fokusert på å lage en god løsning til den bevegelige armen. Den stasjonære delen fikk en enkel og illustrerende form. Den bevegelige delen består av arm 1 og arm 2 som er koblet sammen ved hjelp av et bevegelig ledd. Arm 1 er festet til den stasjonære modulen og arm 2 er festet til endeplaten som brukes til lading og fortøyning.



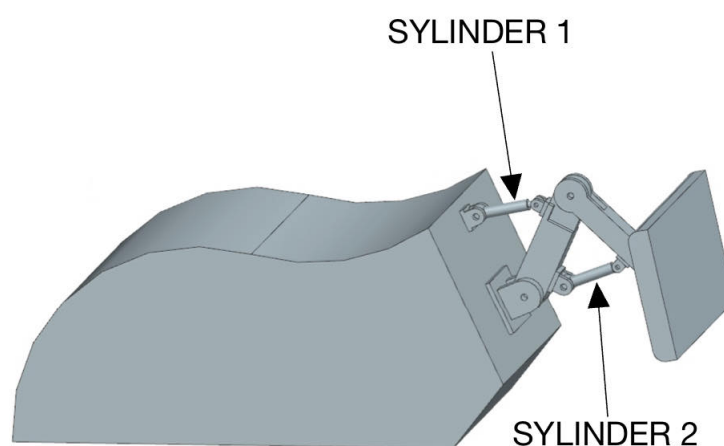
Figur 4.2: I denne figuren kan man se det første konseptet som ble modellert i NX

Ved å bruke ledd og hengselsystemer i koblingspunktene tillates det bevegelse i både horisontal og vertikal retning (i det planet vi ser i figur 4.2) for endeplaten. Etter å ha gjennomført styrkeberegninger i simuleringsprogrammet Ansys viser det seg at det kritiske punktet til løsningen overskrider materialets flytegrense.

For å simulere situasjonsbilde i styrkeberegnings programmet Ansys ble arm 1 opplagret i den ene enden og endeplaten ble påført krefter i den andre enden. Resultatet (se vedlegg) viser at Von-Mises spenningene på stålkonstruksjonen overskrider materialets flytegrense. Konstruksjonen har et kritisk punkt i festet mellom lade- og vakuumpalten og arm 2. Nedover langs armen oppstår det også spenninger som gir lav bruddsikkerhet.

Løsning 2 - Forsterkninger og bevegelighet

Utifra styrkeberegningene i Ansys må den mekaniske løsningen redesignes. For å styrke opp konstruksjonen og styre bevegelsen til armen ble det implementert to elektriske sylindere. Sylinder 1 er festet til den stasjonære modulen og arm 1. Denne sylindere styrer bevegelsen om punktet hvor arm 1 er festet til den stasjonære modulen. Sylinder 2 har det ene festepunktet i arm 1 og det andre festepunktet i arm 2. Denne sylindere styrer bevegelsen om festepunktet mellom arm 1 og arm 2. Sylindere er også med på å avlaste stålkonstruksjonen ved å fordele kreftene. I denne løsningen har den stasjonære modellen også fått en alternativ utforming.

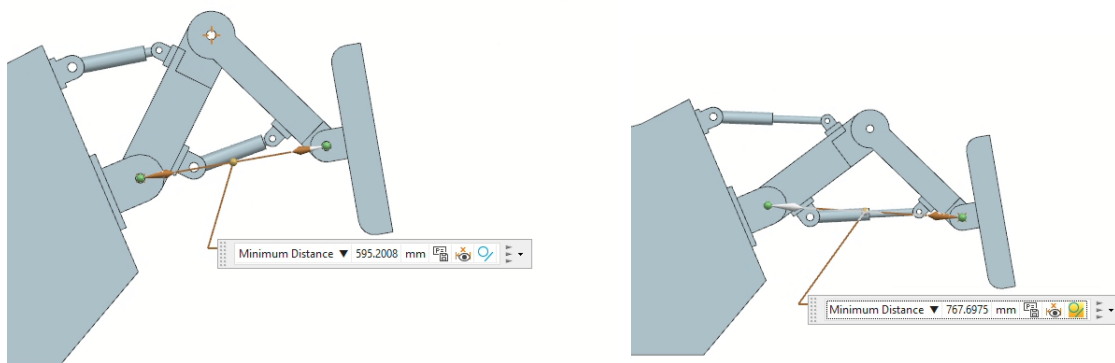


Figur 4.3: Løsning 2 har sylindere for bevegelse og styrke i tillegg til en ny utforming.

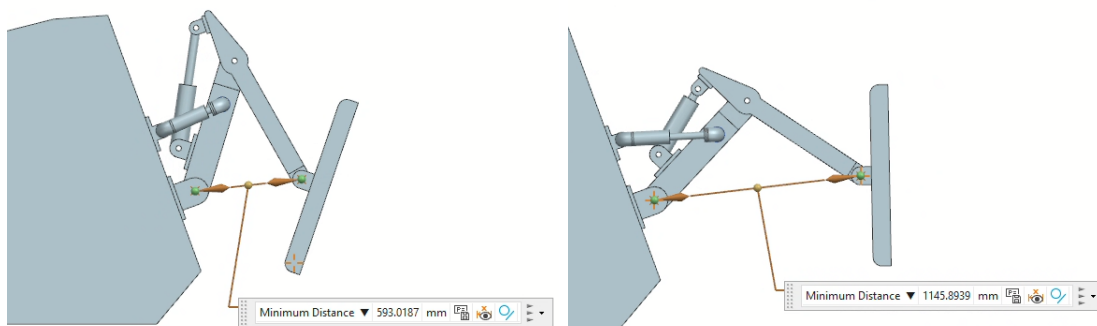
Armen til systemet er avhengig av å ha en god bevegelighet. Den skal klare å strekke seg helt ut til skrogsiden av powerbargen. Utifra kravspesifikasjonene er det gitt at den bevegelige distansen skal være 500 mm. Slik det er illustrert i figur 4.4 har designet en bevegelig horisontal distanse på under 200 mm, noe som ikke er tilstrekkelig.

Løsning 3 - Økt bevegelighet

For å oppnå en større bevegelighet ble det hentet inspirasjon fra gravemaskiner. Bevegeligheten optimaliseres ved å bruke et festepunkt for sylindren som ligger enda høyere opp på arm 2 (se vedlegg 3). Den relative bevegelsen på endeplaten blir da større enn det hadde vært et lavere festepunkt, slik det er i løsning 2. For å oppnå tilstrekkelig bevegelig distanse har begge delene i armen og festepunktet til sylindrene blitt redesignet i denne løsningen.



Figur 4.4: Max bevegelige distanse før optimalisering: 173 mm



Figur 4.5: Max bevegelige distanse etter optimalisering: 553 mm

4.3.2 Flere systemer

Etter et møte med skipsstudentene ble det avgjort at den mest ideelle plasseringen for kontakt mellom lade- og fortøyningsystemet og powerbargen vil være aktenfor tvers om babord og styrbord. Et fortøyningspunkt aktenfor kan gjøre at det oppstår utfordringer med stabilitet. Vær og vind fører til bevegelser både under og over vannflaten. Store bevegelser på powerbargen mens det er fortøyd vil resultere i hyppigere skader og behov for vedlikehold, både for powerbargen og lade- og fortøyningsystemet. Problemstillingen med stabilitet kan løses ved bruk av en ekstra løsning framme på kaien.

4.3.3 Konsept 2



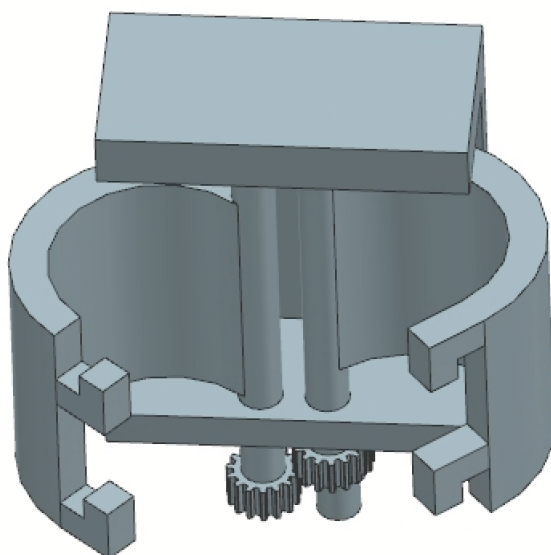
Figur 4.6: Figuren viser situasjonsbilde av konsept 2 sett ovenfra. Framme i kaien kan man se den nye løsningen.

Dette konseptet består av en ny mekanisk løsning i tillegg til lade- og fortøyningssystemene i Geiranger og Linge. Den nye løsningen skal brukes for å stabilisere forapå. Den består av et mekanisk systemet som skal gripe tak i powerbargen. Powerbargen får et lite påbygg som sammenføres til skroget. Dette påbygget skal brukes som et kontaktpunkt som den mekaniske løsningen kan gripe seg fast i.

Løsning 1 - Mekanisk gripefortøyning

For å stabilisere forut har det blitt designet en mekanisme som skal gripe seg fast i powerbargen. De to vakuumsystemene som har fortøyningspunkt aktenfor sørger for at det oppstår minimalt med jaging. Den mekaniske gripemekanismen vil sørge for at det heller ikke oppstår sidejaging på powerbargen. Løsning er designet slik at bevegelsen til gripemekanismen styres av en motor koblet til tannhjulforbindelser. Når mekanismen griper tak i powerbargen vil det oppstå mekanisk lås ved at utstikkerene som er illustrert i figur 4.7 går i inngrep.

Det mekaniske fortøyningsystemet består hovedsakelig av to deler. Selve gripemekanismen og en del som sammenføres til powerbargen. Den sistnevnte delen er festepunktet til gripemekanismen som dimensjoneres for å takle kreftene som påføres. I tillegg til at utformingen til sylindren tilpasses gripemekanismen vil det bygges på med et gummi materiale. Dette fører til at det oppstår klem i festepunktet når gripemekanismen griper rundt sylindren. For å ta hensyn til vertikale bevegelser som følge av duving vil gripemekanismen festes på en bevegelig skinne.



Figur 4.7: Figuren viser den mekaniske gripearmløsningen. Utstikkerene på hver av sidene sørger for mekanisk lås når de er i inngrep.

For å forsikre at den mekaniske gripemekanismen har blitt dimensjonert riktig ble det utført styrkeberegninger i Ansys (se vedlegg). Beregningene er gjennomført med en antagelse om holdekraft på 20 tonn.

Dette mekaniske systemet består av mange bevegelige deler som vil ha behov for vedlikehold for at det skal fungere optimalt og med sikker drift over en lengre periode. Miljøet systemet befinner seg i er meget korrosjons utsatt ettersom det vil ligge nært vannoverflaten og være eksponert for sjøvann. For å motvirke korrosjon vil det i tillegg være krav for jevnlig overflatebehandling. Tannhjulforbindelsene vil også kreve vedlikehold for å minske risiko for skader som kan påvirke driften.

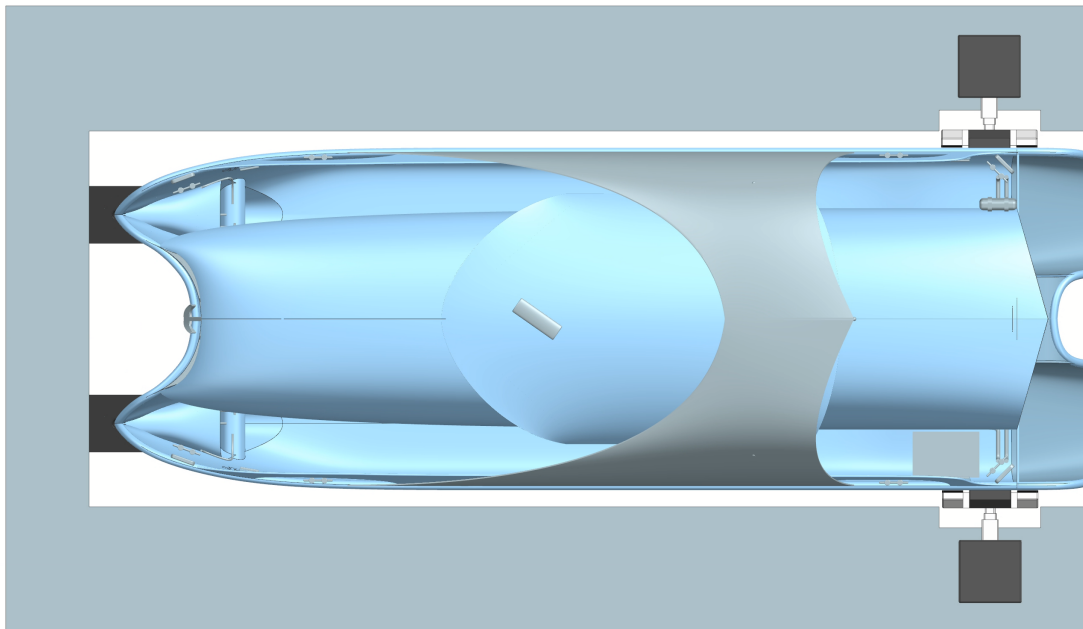
4.3.4 Design forandringer på powerbargen

Etter nye møter med skipsstudentene viste det seg at det må gjennomføres ytterligere forandringer på konseptet. Skroget til powerbargen skal være av typen katamaran (se vedlegg 12). Endringene på powerbargen gjør at løsningen med gripemekanismen fra konsept 2 ikke lenger er kompatibel.

For å unngå ulempene med bevegelige deler vil det være fordelaktig med et statisk system. Siden lade- og fortøyningsystemet aktenfor sørger for at det ikke oppstår jaging, behøver systemet forut kun å ta i mot powerbargen og stabilisere den ved å forhindre sidejaging. I neste konsept skal det designes et statisk system som kan ta i mot powerbargen på en trygg og sikker måte.

I tillegg til en ny løsning for den mekaniske delen forut skal det utarbeides en ny løsning for lade- og fortøyningsystemet. En induksjonsplate som kan levere en effekt på 5 MW vil være større enn først antatt. Istedenfor å dimensjonere opp og jobbe videre med løsningen fra de tidligere konseptene lages det et nytt design. Denne løsningen vil takle en større belastning. For å ta hensyn til drift og vedlikeholde vil den også designes med færre kritiske punkt og bedre tilgang til serviceoperasjoner.

4.3.5 Konsept 3



Figur 4.8: Figuren viser et situasjonsbilde av konsept 3 sett ovenfra. Framme i kaien kan man se de nye statiske løsningene. Modellen av powerbargen har blitt laget av skipsstudentene og brukes kun for å illustrere konseptet.

Dette konseptet består av to ulike fortøyningsystemer. Det ene systemet er en ny løsning for lade- og fortøyningsystemet. Det andre er et nytt statisk system som stabiliserer foropå. Lade- og fortøyningsystemet skal som tidligere plasseres aktenfor tvers om babord og styrbord. Den statiske løsningen skal festes i kaien slik at den ligger på linje med skrogene til katamaranen. Det vil altså benyttes to av den statiske løsningen og to av lade- og fortøyningsystemet. Løsningene skal benyttes på samme måte i Geiranger og Linge. Forskjellen blir som for de andre konseptene. I Geiranger skal ikke powerbargen lades men energien skal videreføres. Lade- og fortøyningsystemet vil dermed være noe forenklet i Geiranger i tillegg til at det implementeres en kontaktkobling (se vedlegg 9).

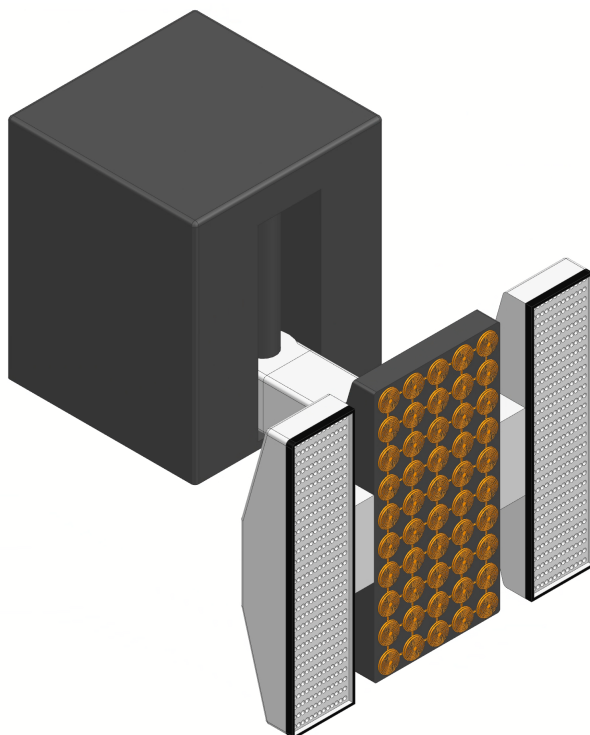
Løsning 1 - Nytt lade- og fortøyningsystem

Den nye løsningen består hovedsakelig av en stasjonær modul (4), en bevegelig arm (5) og en endeplate (6). Den bevegelige armen i denne løsningen består av tre deler som kan trekkes inn i hverandre, og skyves ut fra hverandre slik at armen får en horisontal lengdejustering. Armen er festet i en massiv sylinder (4) som ligger på innsiden av den stasjonære modulen. Den bevegelige armen kan både heves og senkes i tillegg til at det tillates bevegelse om sylindren. Armen har dermed tre frihetsgrader (11). Bevegelsen

om cylinderen vil være forholdsvis liten, hensikten med den er å tillate jagebevegelser som følge av bølger.

Endeplaten i Linge består av en stor induksjonsplate i midten og to vakuum plater på hver side slik det er illustrert i figur 4.9. Endeplaten til systemet i Geiranger har ikke ladeplate i midten og det er integrert en kabel på siden 9 for videreføring av energi.

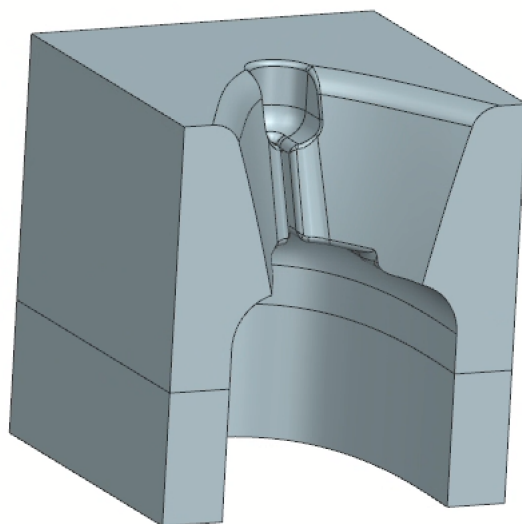
Den stasjonære modulen er den største delen i systemet og skal ha plass til mange komponenter. Ved service og vedlikehold bør den derfor ha god tilgjengelighet. For å gjøre vedlikeholdsarbeidet så enkelt som mulig skal sideveggene bestå av plater som er festet i modulen med skrueforbindelser. Disse kan enkelt fjernes slik at delene på innsiden blir lett tilgjengelige. Det at den bevegelige armen til lade- og fortøyningsystemet er delt i tre deler gjør det mulig å skifte ut delene enkelthvis om det skulle være nødvendig.



Figur 4.9: Figuren viser den nye løsningen for lade- og fortøyningsystemet med induksjonsplate i midten og vakuumfortøyningsplater på sidene. Ladeplaten kan heves, senkes og i tillegg beveges til sidene. Se arbeidstegninger bedlagt for dimensjoner.

Løsning 2 - Statisk del

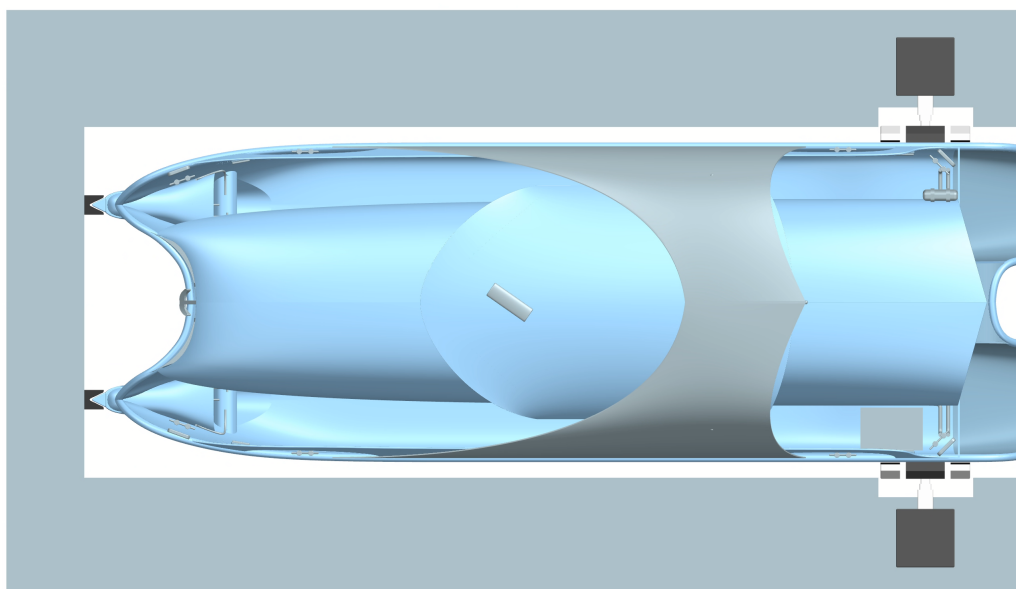
Denne løsningen har blitt inspirert av ulike fendersystemer som benyttes på fergekaier. Der brukes det ofte store plater kledd i et gummi materiale som kommer i kontakt med fergene og bremses opp bevegelsen. I denne løsningen har den statiske delen blitt designet som en negativ form av skrogene til katamaranen. Dette gjør at framdelen av skrogene og den statiske delen er tilpasset hverandre som hånd i hanske. Ettersom det skal brukes én løsning for hvert skrog i den statiske fortøyningen forut vil powerbargen ligge stabilt. For å få den bremsende effekten på powerbargen er den statiske delen nødt til å kunne være noe elastisk. Derfor skal den lages i et gummi materiale. Etter samtaler med bedriften Rubber Style ble det anbefalt å bruke gummi materialet EPDM. For å teste konseptet ble det laget flere skalerte 3D modeller (16). Skalaen ble satt til 1:21 ettersom skipsstudentene brukte samme skala for katamaran skroget. For å få det mest mulig realistisk ble de statiske modellene også printet i et fleksibelt materiale og konseptet ble deretter testet i vanntanken på NTNU.



Figur 4.10: Figuren viser utformingen til den statiske løsningen i konsept 3. Se arbeidetegninger vedlagt for dimensjoner.

4.3.6 Konsept 4 - Endelig konsept

I dette konseptet brukes det en ny løsning for den statiske delen forut. For lade- og fortøyningsystemene i Geiranger og i Linge skal løsningene fra konsept 3 videreføres i sin helhet. Bedriften Rubber Style så på tegningene for den statiske løsningen i konsept 3 og konkluderte med at delen vil bli veldig dyr å lage i EPDM gummi ettersom den har en vanskelig geometri (16) og er relativt stor. Derfor ble det laget et nytt konsept for den statiske løsningen. Designet vil være forenklet og ha mindre preg av detaljerte kurvaturer for å redusere kostnadene til støpeprosessen.



Figur 4.11: Figuren viser et situasjonsbilde av konsept 4 sett ovenfra. Framme på skroge- ne til powerbargen har delene som skal brukes til å stabilisere foropå blitt sammenføyd. Modellen av powerbargen har blitt laget av skipsstudentene og brukes kun for å illust- rere konseptet.

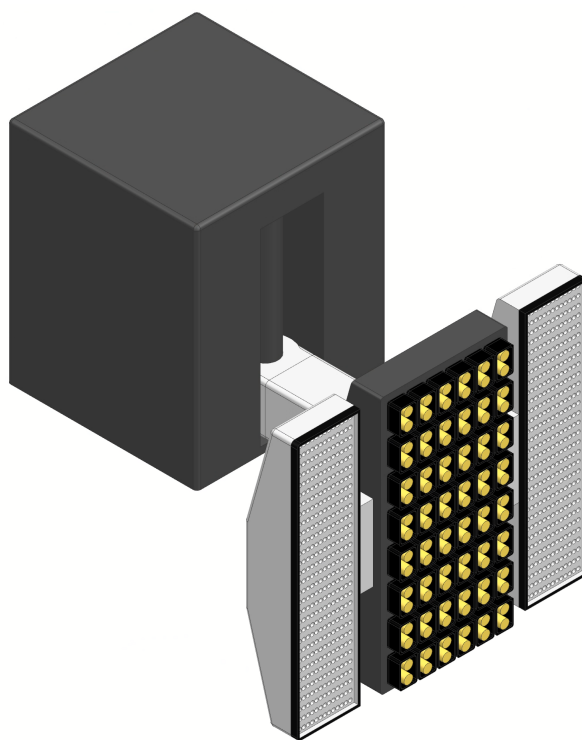
Løsning 1 - Ny statisk del

I denne løsningen har ideen bak den statiske løsningen fra konsept 3 blitt videreført, med bruk av nye deler 17. Denne løsningen består av to forskjellige deler som skal brukes til å stabilisere katamaranen. Den ene delen i løsningen skal implementeres i kaien og brukes til å ta i mot powerbargen slik som i konsept 3. Den andre delen skal integreres til hver av skrogene til katamaranen 18. Denne løsningen gjør at utformingen til den mottakende delen blir uavhengig av den detaljerte utformingen til skroget.

4.3.7 Alternativt konsept

Anvendelse av vakuum og induksjon i et lade- og fortøyningsystem er et høyteknologisk konsept som medfører store investeringskostnader. Grønn Kai prosjektet er avhengig av å få med seg investorer som kan dekke utgiftene. I dette konseptet skal det presenteres et økonomisk alternativ.

Ladesystemet skal få en alternativ løsning. På kaien i Geiranger skal det ikke brukes et ladesystem. Derfor vil det ikke foretas noen forandringer i systemet på denne lokasjonen. Den eneste forandringen blir en ny ladeløsning. På kaien i Linge skal det implementeres konvensjonelle kontaktløsninger i bytte mot induksjonsystemet. I stedetfor å bruke kobberspoler i ladeplaten skal det brukes ladekontakter som kobles til powerbargen. På lik linje med induksjonsystemet må det implementeres et mottakende system på skrogsiden til powerbargen. I dette konseptet vil det være viktig at denne delen er godt skjermet for å unngå at sjøvann trenger inn og ødelegger systemet. For å beskytte delen mot væske vil den bygges inn i skroget og stenges av med en automatisert luke.



Figur 4.12: Figuren viser den alternative løsningen som bruker kontakt kobling istedenfor induksjon. De svarte og gule delene mellom vakuumplatene skal illustrere kontaktoblingene.

Kapittel 5

Kostnadsanalyse

Dette kapitlet skal inneholde en analyse av kostnadene til det endelige konseptet og det alternative konseptet. Hovedforskjellen mellom disse to konseptene er at det alternative konseptet bruker kontakt kobling for lading istedenfor et induksjonsystem. Lade- og fortøyningsystemene i konseptene er høyteknologiske systemer som innebærer høye kostnader. Løsningene i Grønn Kai prosjektet er avhengig av å bli finansiert for å kunne bli realisert. Dersom ingen velger å investere i prosjektet vil byene som lever av cruise-trafikken være nødt til å skaffe nye inntektskilder på en urealistisk kort tidsperiode. Å øke investeringsvilligheten rundt prosjektet er dermed viktig for innbyggerne i og rundt Geiranger. For å øke investeringsvilligheten rundt prosjektet har det blitt gjennomført en kostnadsanalyse som sammenligner det endelige konseptet og det alternative konseptet. I tillegg presenteres investeringene som er nødvendige for å realisere prosjektet. For enkelthetskyld vil det alternative konseptet og det endelige konseptet henholdsvis bli referert til som konsept A og konsept B.

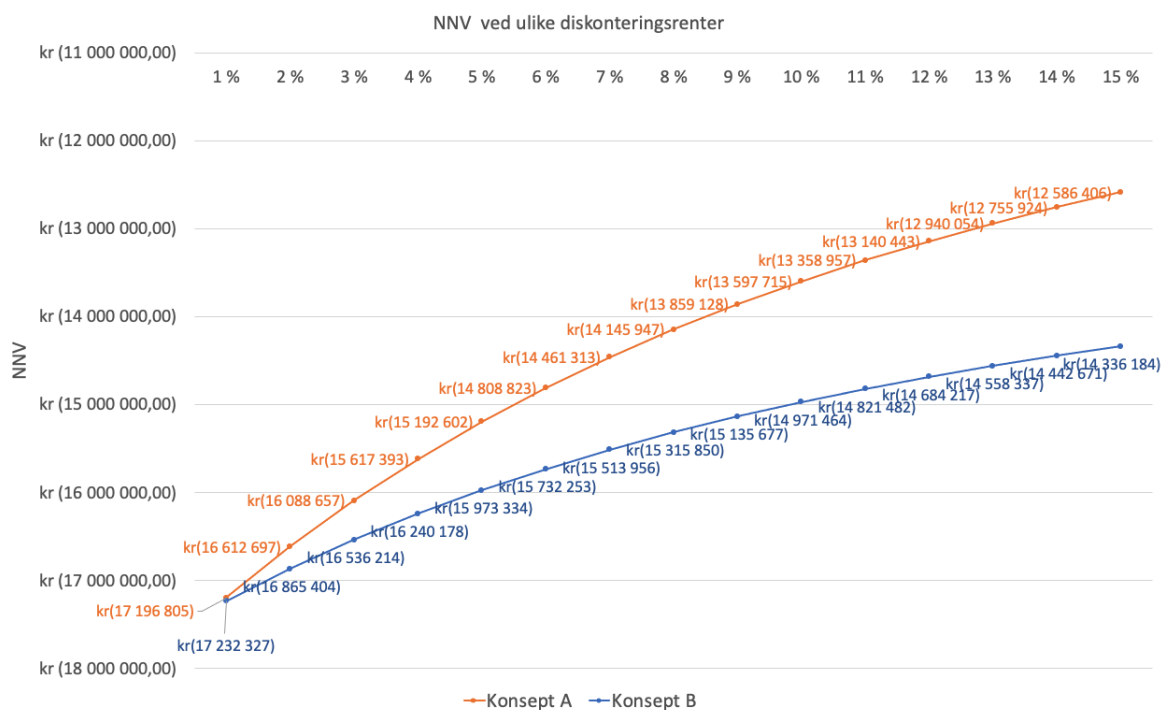
5.1 Netto nåverdi metoden

For å sammenligne lønnsomheten til konsept A og konsept B benyttes netto nåverdi-metoden (NNV). I dette tilfellet tilsvarer lønnsomhet minimering av kostnader. NNV metoden benyttes for å estimere nåverdien til en investering som har påløpende kostnader utover levetidsperioden. På grunn av faktorer som økt risiko og inflasjon over tid synker kjøpekraft og penger taper verdi. Med en antagelse om inflasjon på 4% og nominell rente på 8% vil en utbetaling på 100 000 kr om et år ha en verdi på 95 238 kr i dag. For å ta hensyn til denne faktoren diskonteres de påløpende kostnadene for lade- og fornyingsystemene.

5.1.1 Varierende kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrente, også kjent som diskonteringsrente, brukes for å beregne nåverdien av framtidige kostnader og er avhengig av realrenten. Realrenten er igjen avhengig av inflasjonen og den nominelle renten. Å komme fram til riktig verdi for kalkulasjonsrente er utfordrende fordi den avhenger av flere ulike faktorer som er i stadig forandring. I denne kostnadsanalysen vil NNV beregnes ved å utføre en scenarioanalyse. Scenarioanalysen er illustrert i figur 5.1. Den viser hvordan NNV til konsept A og B varierer for ulike verdier av kalkulasjonsrenten.

Med en kalkulasjonsrente på mellom 1% og 15% er de avrundede NNV kostnadene i beste fall 12,6 og i værste fall 17,2 millioner kroner for konsept A. For konsept B er NNV kostnadene i beste fall 14,3 og i værste fall 17,2 millioner kroner. Med kalkulasjonsrente på omtrent 1% er begge systemene like økonomisk lønnsomme med den antatte levetidsperioden på 15 år. Grafen viser at for en stigende kalkulasjonsrente reduseres kostnadene for begge konseptene. Det ser vi ved at grafene i figur 5.1 stiger mot null. Konsept A har den mest positive trenden ettersom den gir størst reduksjon i kostnadene. Jo høyere kalkulasjonsrenten er, jo større effekt vil den ha på de høye driftskostnadene til konsept A. Ettersom driftskostnadene til konsept B er lavere vil ikke den økende kalkulasjonsrente ha like stor innvirkning på de framtidige kontantstrømmene.



Figur 5.1: Figuren illustrerer NNV for ulike verdier av kalkulasjonsrenten. Desto nærmere null desto bedre er NNV ettersom det innebærer mindre kostnader. Merk at y-aksen har negative beløp.

5.2 Kostnader

Konsept A og B består hovedsakelig av én stor investeringskostnad og påløpende driftskostnader. Driftskostnadene er inndelt i 15 perioder som tilsvarer den antatte levetiden til systemene. Realistisk sett er ikke levetiden på alle delene i konseptene 15 år ettersom den statiske delen vil ha en kortere levetid. Det har blitt antatt en levetid på 15 år for at diskonteringen skal ha samme innvirkning på alle kostnadene. De ekstra utgiftene for delene som eventuelt har behov for reinvesteringer er så små at de neglisjeres i analysen. På bakgrunn av at juridisk prosjekteier er den norske stat vil også skatteeffekter som blant annet avskrivninger bli ignorert i denne analysen.

5.2.1 Investeringskostnader

Investeringskostnadene for konsept A og B i dette prosjektet innebærer stor usikkerhet. Et ladesystem med kontakt kobling har en lavere investeringskostnad enn et tilsvarende ladesystem med induksjon, men nøyaktig hva disse kostnadene ligger på er uvisst. På grunn av konkurranse i markedet velger bedriftene å ikke gå ut med noen nøyaktige priser. Bedriftene som leverer løsningene bestemmer pris ut ifra geografisk lokasjon, gjeldende materialpriser, størrelse på prosjekt i tillegg til flere faktorer. I denne kostnadsanalysen brukes det omtrentlige kostnader som er hentet fra samtaler med ulike bedrifter. For å danne et estimat på investeringskostnadene for konsept A og konsept B har bedriftene Cavotec, Enrx og Rubber Style vært behjelpelige. I figur 5.2 nedenfor er det illustrert et estimat på investeringskostnadene for de ulike systemene. Disse kostnadene innebærer alle systemene som skal brukes både i Linge og i Geiranger, i tillegg til nødvendige modifikasjoner på powerbargen for ladekoblingen.

Konsept A		Kostnader		Konsept B		Kostnader	
Satisk del	kr	100 000	Satisk del	kr	100 000		
Kontaktladesystem	kr	7 000 000	Induksjonsladesystem	kr	10 000 000		
Vakuumsystem	kr	2 000 000	Vakuumsystem	kr	2 000 000		
Frakt og installering	kr	124 000	Frakt og installering	kr	124 000		
Totalt	kr	9 224 000	Totalt	kr	12 224 000		

Figur 5.2: Tabellen viser oversikt over kostnadene for de ulike systemene samt total investeringskostnad for konsept A og B.

5.2.2 Driftskostnader

Kontantstrømmene som inngår i konsept A og konsept B har en del forskjeller. Låneperioden på lånet er likt for begge systemene, men ettersom lånesummene er forskjellige betales det ulike avdrag og renter. Den årlige kostnaden av lånet beregnes ved hjelp av formelen 5.1. I kostnadsanalysen benyttes det årlige avdrag og renter.

$$\text{Månedlig avdrag} = \frac{P \cdot r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (5.1)$$

der:

P : Lånebeløp

r : Renten per måned

n : Antall måneder lånet løper over

Med et lån for å dekke investeringskostnadene illustrert i figur 5.2 og en nedbetalingstid på 15 år blir de årlige avdragene inklusive renter for konsept A og B henholdsvis 68 229,- og 90 419,- kroner (22). Generelt har konsept B større driftskostnader enn konsept A. Kontantstrømmene relatert til service og reparasjon er hentet ved hjelp av data samlet fra serviceingeniører. Utifra dataene kreves det full service hvert kvartal for vakuum systemet og ladesystemet med kontakt kobling. For induksjonsystemet behøves det full service hvert halvår. Det tilsvarer årlige service kostnader på 76 800,- og 60 800,- kroner henholdsvis for konsept A og B 19. I tillegg påløper det kostnader for kursing av personell som må gjennomføre daglig service i form av visuelle kontroller. Uheldige situasjoner som fører til skader på systemene er unngåelige og vil føre ytterligere kostnader. Kostnadene for reparasjon og nye deler er estimert til å være en del høyere for ladesystemet med kontaktkobling i forhold til de andre systemene. Alle driftskostnadene for konsept A og B er illustrert i vedlegg 20 og 21.

5.3 Hvilket system er mest lønnsomt ?

I den økonomiske analysen har de nødvendige investeringene og driftskostnadene for konsept A og B blitt presentert. Et induksjonsystem krever en høyere investering enn et ladesystem med kontakt kobling, samtidig som det er et billigere system å drifte. Ut ifra scenarioanalysen er det tydelig lagt fram at de reduserte driftskostnadene til konsept B blir mindre betydelige jo høyere kalkulasjonsrenten er. Konsept B, som er 3 millioner kroner dyrere, blir nesten like lønnsomt som konsept A om kalkulasjonsrente ligger på omkring 1%. Får å sette kalkulasjonsrenten i et virkelig perspektiv kan vi sammenligne med realistiske tall som er gitt av Finansdepartementets Rundskriv R-109 gjeldende fra 25.06.2021 ("Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser", 2021). Der er det lagt frem at gjeldende kalkulasjonsrente er på 4% som tilsvarer NNV for konsept A og B henholdsvis lik 15,6 og 16,2 millioner kroner. Med bakgrunn i de samfunnsøkonomiske analysene fra Rundskriv R-109 er konklusjonen at konsept A er det mest lønnsomme alternative.

Kapittel 6

Diskusjon

Etter sammenligning av de ulike eksisterende løsningene for det integrerte og automatiske lade- og fortøyningssystemet endte valget til slutt på et vakuumsystem for fortøyning og et trådløst system ved bruk av induksjon for lading. Fortøyning ved bruk av vakuum har fordelen av at det er kompatibelt med omtrent alle skrogtyper, i motsetning til magnetiske og gripearmsystemer. I tillegg har det fordelen av at det er et forhåndsvis enkelt system som anvender kjent teknologi. For lading stod valget mellom induksjon og den konvensjonelle kontaktløsningen som er utbredt i blant annet elbil-industrien. Valget endte til slutt på et induksjonsystem med bakgrunn i to årsaker. Den ene årsaken var at Grønn Kai prosjektet, som denne oppgaven har utspringet seg fra, har som tidligere nevnt autonomitet som et av fokusområdene. Et ladesystem som bruker induksjon vil være det systemet som kan flettes best inn i en fullautonom drift ettersom det har muligheten til å foreta lading uten fysisk kontakt. Den andre årsaken er at økt behov som følge av elektrifisering har ført til at teknologien bak trådløs lading og induksjon utvikles raskt. Uansett om lading ved kontakt kobling er det mest effektive alternative i dag skal man ikke se bort ifra at induksjonslading overtar tittelen i nær framtidig. I tillegg til induksjon- og vakuumsystemet har det ble blitt benyttet statiske løsninger i EPDM for å stabilisere powerbargen aktenfor. EPDM gummi er godt egnet i varme og kalde miljøer (“EPDM rubber”, 2023) og er dermed en løsning som passer godt til det sunnmørske været. Designet for lade- og fortøyningssystemet derimot er mer utsatt for den kalde norske vinteren. Dette gjelder hovedsakelig det alternative konseptet, men vil også påvirke det endelige konseptet. Endeplaten er eksponert for vann og andre fremmede partikler som kan fryse fast og lage komplikasjoner ved lading og fortøyning av powerbargen. Dette er en av svakhetene med systemet. Heldigvis finnes det en løsning

som enkelt kan implementeres. Ved å bygge et hus rundt endeplaten som automatisk åpnes og lukkes når powerbargen kobles til og fra systemet vil delene være bedre beskyttet. Dette er en forholdsvis enkel løsning som ikke vil kreve store modifikasjoner.

Løsningene som utarbeides gjennom Grønn Kai prosjektet er avhengig av investorer. Å lage et nytt lade- og forføyningsystem innebærer store kostnader så det er viktig å presse ned kostnadene der det er mulig. I tillegg er framtiden uforutsigbar. Framtiden for induksjonslading ser lys ut men det kan vise seg at den ikke er det. Det alternative konseptet ble utarbeidet for å vise at det er mulig å få ned kostnadene i tillegg til å bruke de beste løsningene i markedet per dags dato. Den økonomiske analysen viser at det alternative konseptet med kontakt kobling istedenfor induksjonslading er mest lønnsomt. For konseptet med induksjonslading utveier den høye investeringskostnaden de reduserte driftskostnadene som påløper over levetiden. I et scenario hvor den økonomiske analysen tar for seg et større tidsperspektiv og en høy diskonteringsrente kan det være at konseptet med induksjonslading er det mest lønnsomme alternativet.

6.1 Konsept- og designutviklingsmetode

I dette prosjektet har det blitt utarbeidet flere ulike konsept for et lade- og fortøyning system. Konseptene har hatt som mål å være tilpasset til powerbargen. Dette har medført til at konseptene har gjennomgått forandringer etterhvert som de har utviklet seg. Løsningene i noen av konseptene har blitt videreført ved at de har blitt gjenbrukt i nye konsept der det har vært hensiktsmessig. I andre tilfeller har det blitt designet nye løsninger. Konseptene i dette prosjektet har blitt utarbeidet progressivt, noe som har ført til at løsningene også gradvis har utviklet seg. De første konseptene i prosjektet var i et ganske tidlig stadiet hvor tekniske løsninger ikke var ferdig utviklet og dimensjonering av delene ikke hadde blitt optimalisert. Etterhvert som løsningene ble forbedret og videreutviklet ble konseptene også forbedret.

Ved noen tilfeller ble det laget nye løsninger og konsepter med bakgrunn i anbefalinger fra spesialister. Etter at det ble avgjort at den statiske modellen skal lages i et gummi materiale ble det opprettet kontakt med bedriften Rubber Style. De reviderte modellen av den statiske løsningen og anbefalte at denne delen redesignes. På grunn av detaljene og størrelsen ble det estimert en total kostnad på omtrent 500 000,- kroner. For å få ned kostnadene ble det laget et nytt konsept hvor den statiske delen ble mindre og fikk en enklere utforming.

6.1.1 Bakgrunn for metoden

Konseptene ble utarbeidet progressivt med bakgrunn i to årsaker. Det ene årsaken var å effektivisere designarbeidet. Avgjørelsene for designet til powerbargen som påvirker lade- og fortøyningssystemet blir tatt av skipsingeniørene. Det var en del av designavgjørelsene for powerbargen som ikke hadde blitt avgjort i et tidlig stadiet. Dermed ville det vært ugunstig å investere mye arbeid i en løsning tidlig i prosjektet som muligens ikke kan realiseres. Etterhvert som de største og viktigste beslutningene i designarbeidet til powerbargen ble bestemt av skipsingeniørene gikk det mer tid til å fokusere på detaljene i konseptet. Den andre årsaken var prioritering av tidsbruk. Etersom dette prosjektarbeidet utføres av én student har det blitt prioritert å bruke tiden til å lage færre gjennomførte konsepter fremfor mange mindre gjennomførte konsepter.

6.1.2 Svakheter ved metoden

Denne metoden innebærer noen svakheter. En ulempe med den progressive metoden i konseptarbeidet i dette prosjektet er at vi kun sitter igjen med to realiserbare konsepter. I all hovedsak er det kun det endelige og det alternative konseptet som vil være kompatible med powerbargen. Alle de andre konseptene har løsninger som er tilpasset en utdatert versjon. For å få et mest mulig representativt utvalg av konsepter og løsninger ville det vært optimalt å lage flere ulike gode konsept hvor det blir besluttet å gå videre med den beste av dem. På grunn av omstendighetene i dette prosjektarbeidet hadde tiden ikke strukket til for denne metoden.

En annen bemerkningsverdig utfordring har vært å formulere tanker og ideer på en best mulig måte i designdelen. Å forklare med tekst hvilke retninger en del er bevegelig i eller hvilken bevegelse de ulike festepunktene tillater kan fort bli litt krunglete. I designdelen har det blitt referert til mange figurer vedlagt i rapporten. Dette er på grunn av at bilder er ofte gir en mye bedre forklaring enn tekst.

6.2 Kostnadsanalyse

For å prøve å gi en god prismessig sammenligning av de to alternative konseptene spiller den økonomiske analysen en viktig rolle. Hensikten med kostnadsanalysen er å avgjøre hvilket av konseptene som virkelig er det mest lønnsomme alternativet. Det er viktig å huske på at investeringskostnadene kun er én del av likningen. Den største investeringskostnaden går til induksjons ladesystemet. Et av kravene for prosjektet er at systemene skal være automatiserte slik at de på sikt kan bli fullautonome. Det er mulig å bruke et billigere alternativ som oppfyller dette kravet. Et ladesystemet med kontakt kobling vil redusere investeringen, men det har en høy driftskostnad sammenlignet med induksjonsystem. Koblingsdelene vil påføres uunngåelige slitasje som gjør at det jevnlig påløper utgifter relatert til service og nye deler. Det vil si at systemet med høyest investeringskostnad potensielt kan være det mest lønnsomme alternative. Resultatet fra NNV beregningene viser at konseptet med kontakt kobling og induksjonslading innebærer like mye kostnader med en diskonteringsrente på omtrent 1%. En realistisk verdi for diskonteringsrenten vil være høyere enn dette. Med bakgrunn i Finansdepartementets Rundskriv R-109 er kalkulasjonsrenten for statlige tiltak satt til 4% for en periode på 40 år. Med disse tallene er konsept A det mest lønnsomme alternativet. Men om vi ser på fordelene for konsept B med autonomitet, anvendelse av en teknologi som er i stor utvikling og i tillegg mulighet for reinvestering som vil øke levetiden kan konsept B vise seg og et mer lønnsomt alternativ.

6.2.1 utfordringer og svakheter med kostnadsanalysen

For å finne priser på de ulike systemene har det blitt forsøkt å kontakte mange bedrifter som leverer ladesystemer og fortløyningsystemer. Den første utfordringen var å opprette kontakt med utbredte bedrifter som leverer slike systemer ettersom et fåtall av disse er norske. Cavotec, Wärtsilä, Enrx og Corvus Energy er bedriftene som ble kontaktet. I tillegg ble det opprettet kontakt med Rubber Style angående den statiske løsningen i EPDM gummi. Ingen av disse valgte å bidra med nøyaktige tall for kostnadsanalysen. Bedriftene har forklart at prisene kan variere med bakgrunn i mange faktorer og at de iblant leverer ulike pakkespriser. På grunn av dette, i tillegg til konkurranse i markedet har noen av bedriftene vært villige til å dele estimater. Det er estimatene fra disse bedriftene som har dannet grunnlaget for de økonomiske beregningene.

Det at prisene i den økonomiske analysen er basert på estimater svekker dens kredibilitet. Estimaterne er hentet fra telefonsamtaler med serviceingeniører og salgingeniører i de

nevnte bedriftene. Det er realistisk å tro at prisene som er oppgitt innebærer feilkilder. Det kan være at prisene er utdaterte ettersom teknologien er i stadig utvikling eller at vedkommende har oppgitt feil informasjon. Ettersom samtalene har blitt foretatt med ingeniører som jobber tett med systemene og sannsynligvis har mye kunnskap i de respektive feltene ble det bestemt å gå videre med de tallene som ble oppgitt. Uansett om prisene er et estimat vil de likevel være nyttige.

6.3 Utfordringer rundt regelverk

Å finne regelverk knyttet direkte til lade- og fortøyningsystemene har vært utfordrende. Til å begynne med ble det opprettet dialog med Kystverket. Det viste seg at de ikke har noen regelverk eller retningslinjer som omhandler automatiske lade- og fortøyningsystemer ettersom det ikke er en flytende innretning. Videre ble det tatt kontakt med sjøfartsdirektoratet. Her var det heller ikke noen retningslinjer som direkte tar for seg automatiske lade- og fortøyningsystemer. Sjøfartsdirektoratet anbefalte bruk av deres egne generelle retningslinjer som omhandler liv, helse, liv og fartøy til sjøs for videre arbeid med utvikling av lade- og fortøyningsystem. I tillegg oppfordret de til å se på tidligere høyesterettsdommer med ulykker hvor fortøyningsystemer er et sentralt tema. Dommene inneholder ofte en informasjon om hva som gikk galt, hvorfor det gikk galt og hvordan det kunne blitt forhindret. Etter gjennomgang av flere dommer og de generelle retningslinjene var konklusjonen klar. Lade- og fortøyningsystemet skal utvikles med utgangspunkt i "Lov om skipssikkerhet (skipssikkerhetsloven) - Lovdata", 2007. Siden systemet er helautomatisert vil det være lite direkte kontakt med mennesker ved normal drift. For framtidig service har det blitt tatt hensyn til personell som utfører arbeidet ved hjelp av service vennlig arbeid. For trygging av miljø og materielle verdier har det blitt tatt hensyn til design som minimerer miljøpåvirkende skader ved ulykker. Dette var blant annet en av argumentene for bruk av elektriske sylindere fremfor hydrauliske.

6.4 Teknologi utvikling innenfor ladesystem

Induksjonsteknologien utvikles i en rasende fart. Per i dag finnes det ingen kommersielle ladeløsninger som bruker induksjon med like lave energitap som en tilsvarende konvensjonell kontakt kobling. Det har allerede blitt utført mange spennende forsøk hvor det har blitt bevist at induksjonslading kan være minst like effektivt som lading med kontakt kobling. Ved Chalmers tekniske høyskole i Gøteborg har det blitt gjennomført et forsøk hvor det benyttes høyere frekvens enn normalt takket være utvikling innenfor strømledende materialer (“New technology”, 2023). Når Grønn Kai prosjektet rundes av i 2024 og løsningene er klare til å bli realisert er det fullt mulig at induksjonsteknologien allerede har blitt videreutviklet og er klar for markedet. Det ser ut som utviklingen av teknologien går i denne retningen, men det bør likevel alltid tas hensyn til at ting ikke går som forventet.

Kapittel 7

Konklusjon

Et integrert automatisk lade- og fortøyningsystem er med på å redusere økonomiske utgifter og spare menneskeliv. Konseptet med vakuumfortøyning og induksjonslading passer utmerket for det framtidsrettede Grønn Kai konseptet hvor powerbargen seiler i Geirangerfjorden full av energi i form av roterende svinghjul. Både det endelige konseptet med induksjonslading og det alternative konseptet med kontaktkobling oppfyller kravene for framtidig autonomitet, kompatibilitet og bidrar til å løse strømproblemet i Geiranger. Med dagens kalkulasjonsrente er det alternative konseptet det mest lønnsomme. Den objektive konklusjonen for denne oppgaven er at konseptet med lading ved bruk av kontakt kobling og vakuumfortøyning er den mest hensiktsmessige løsningen i skrivende stund. Likevel blir det viktig å følge nøye med på teknologiutviklingen innenfor trådløse ladesystemer.

Videre arbeid

For videre arbeid anbefales det å gjøre grundige undersøkelser relatert til kostnadene for de ulike systemene i samarbeid med aktuelle bedrifter for å komme fram til nøyaktige kostnader. I tillegg anbefales det å kontakte forskere og teknologiutviklere som jobber innenfor trådløse ladesystemer for å avdekke hva som er realistisk å forvente av teknologien fram mot 2026.

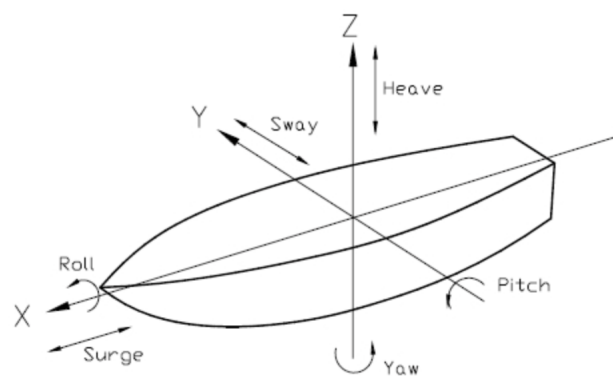
Bibliografi

- All About EPDM Rubber - Properties, Applications and Uses.* (2023). Hentet 18. mai 2023, fra <https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/all-about-epdm-rubber-properties-applications-and-uses/>
- Automated mooring system.* (2021). Hentet 26. mars 2023, fra <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>
- BU-412: Charging without wires* [Battery university]. (2021, 27. oktober). Hentet 11. april 2023, fra <https://batteryuniversity.com/article/bu-412-charging-without-wires>
- Cavotec* [Cavotec SA]. (2023). Hentet 8. mai 2023, fra <https://www.cavotec.com/en/about>
- Charging – marine vessel charging systems* [Wartsila.com]. (2021). Hentet 27. mars 2023, fra <https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shore-power/charging>
- Exploring the hull material used in modern boat design* [SHM blog] [Section: Boat Manufacture]. (2018, 30. april). Hentet 10. mai 2023, fra <https://www.shmgroup.com/blog/exploring-hull-material-used-modern-ship-design/>
- Geirangerfjorden* [Fjord Tours]. (2023). Hentet 6. april 2023, fra <https://www.fjordtours.com/no/ting-aa-gjoere-i-norge/norske-fjorder/geirangerfjorden/>
- Grønn Kai Sluttrapport 2022. (2022).
- History of the induction heating & melting process.* (2017, 27. desember). Hentet 2. april 2023, fra <https://www.ambrell.com/blog/the-evolution-and-history-of-induction-heating-part-1>
- The history of wireless charging* [Aurora]. (2020, 20. august). Hentet 2. april 2023, fra <https://auroracharge.com/blogs/news/the-history-of-wireless-charging>
- Innovative mooring systems. (2017). <https://mampaey.com/wp-content/uploads/2017/01/Mampaey-Brochure-Automatic-Mooring-Systems-Docklock.pdf>

- Lov om skipssikkerhet (skipssikkerhetsloven) - Lovdata.* (2007, 16. februar). Hentet 3. april 2023, fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2007-02-16-9>
- Møre og Romsdal får nye ferger i 2024, og skal bygge ny fergekai til 81 mill* [Veier24.no]. (2022, 18. mai). Hentet 15. mai 2023, fra <https://www.veier24.no/artikler/more-og-romsdal-far-nye-ferger-i-2024-og-skal-bygge-ny-fergekai-til-81-mill/519538>
- New technology makes wireless charging of electric vehicles and ferries attractive* [TechExplore]. (2023, 3. juli). Hentet 11. mai 2023, fra <https://techxplore.com/news/2023-03-technology-wireless-electric-vehicles-ferries.html>
- News, W. M. (2015, 19. mai). *World's first electric car ferry enters service* [Offshore energy]. Hentet 27. mars 2023, fra <https://www.offshore-energy.biz/worlds-first-electric-car-ferry-enters-service/>
- Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser. (2021, 25. juni). https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2021.pdf
- Regjeringen. (2022, 3. november). *Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent* [Regjeringen.no] [Publisher: regjeringen.no]. Hentet 9. mai 2023, fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/>
- Skaar, J., & Grøn, Ø. (2023, 21. januar). Faradays induksjonslov. I *Store norske leksikon*. Hentet 2. april 2023, fra https://snl.no/Faradays_induksjonslov
- tilnull.* (2023). Hentet 9. mai 2023, fra <https://www.tilnull.no/ferger>
- Tiwari, A. (2016, 16. desember). *How does wireless inductive charging work?* [Science ABC]. Hentet 2. april 2023, fra <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-qi-wireless-inductive-charging-work-samsung-charger.html>
- Tungt arbeid.* (2023). Hentet 21. mai 2023, fra <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/ergonomi/manuelt-arbeid/tungt-arbeid/>
- What Is a Perfect Vacuum? Is It Possible?* (2022). Hentet 19. mai 2023, fra <https://sciencenotes.org/what-is-a-perfect-vacuum-is-it-possible/>
- What is control system? | definition from TechTarget* [WhatIs.com]. (2023). Hentet 9. mai 2023, fra <https://www.techtarget.com/whatis/definition/control-system>
- Wireless vs wired charging for EVs: Why the efficiency is comparable* [WiTricity]. (2022, 23. februar). Hentet 16. mai 2023, fra <https://witricity.com/newsroom/blog/what-is-efficiency-how-do-you-measure-it-and-why-should-you-care/>

Vedlegg

A Skipsbevegelser



Bevegelser langs aksene:

X = surge (jaging)

Y = sway (sidejaging/svaiing)

Z = heave (duving/hiving)

Bevegelser om aksene:

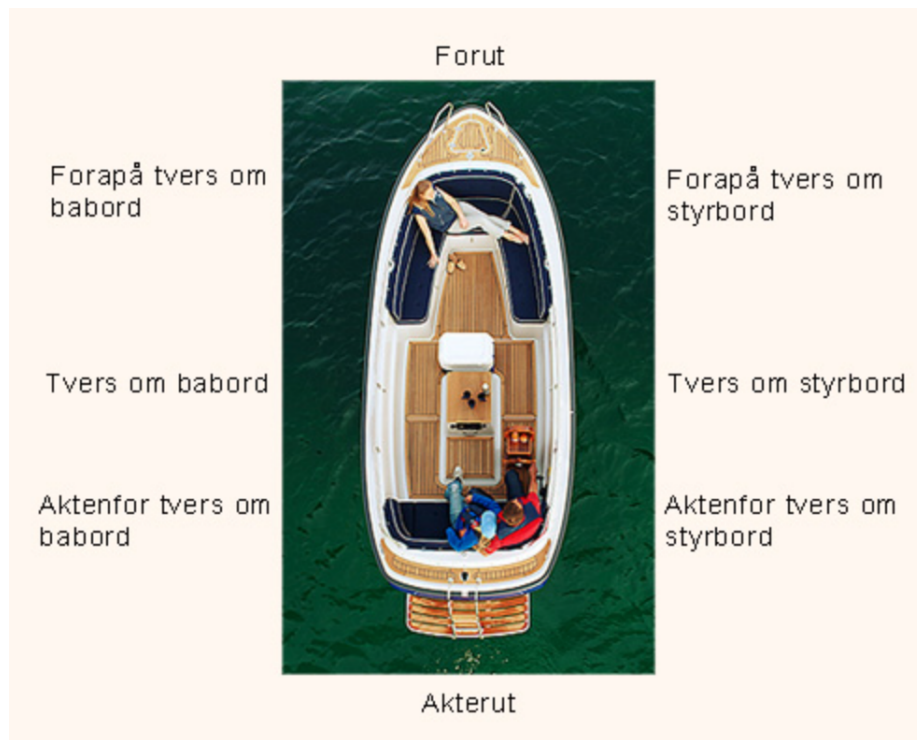
ϕ = roll (rulling)

θ = pitch (setting/stamping)

Ψ = yaw (giring)

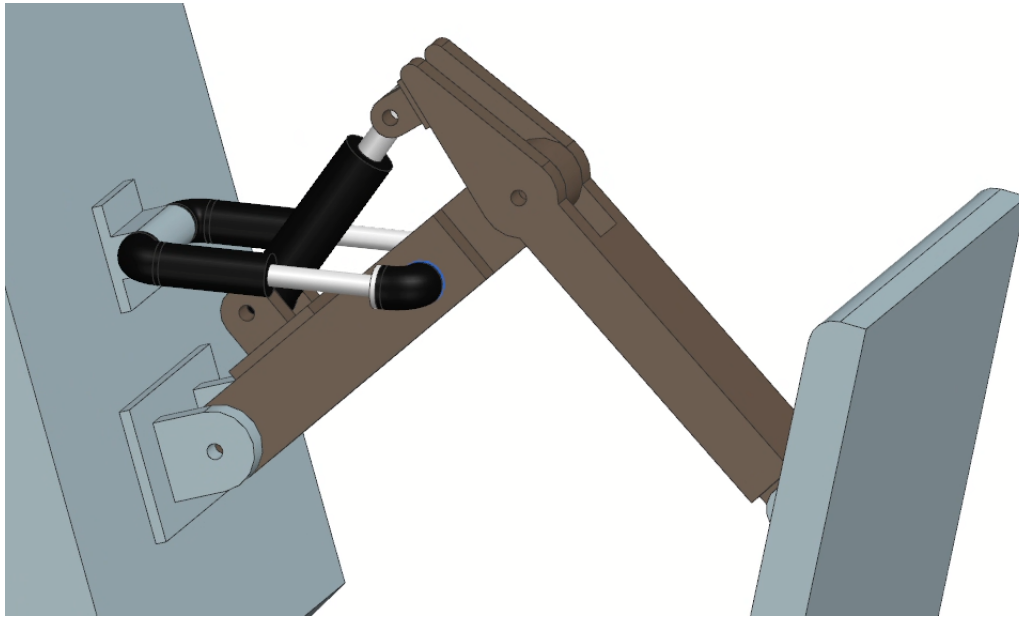
Figur 1: Beskrivelse av begrep for ulike skipsbevegelser (Bilde). NauticalCampus - <https://naca.no/skip-i-sjogang-belastning-i-bolger/> (Hentet: 15.05.2023).

B Stedsbetegnelser rundt båten



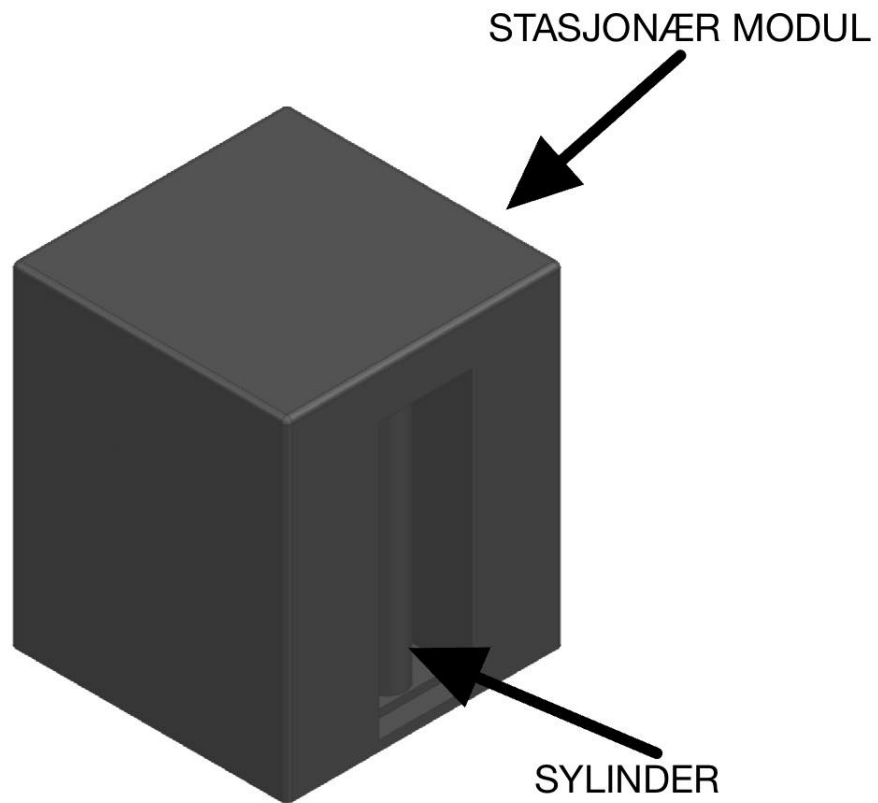
Figur 2: Stedsbetegnelser rundt fartøy (Bilde). Maritimstart - <https://maritimstart.no/stedsbetegnelser-rundt-baten/> (Hentet: 15.05.2023).

C Optimalisert bevegelighet - Løsning 3



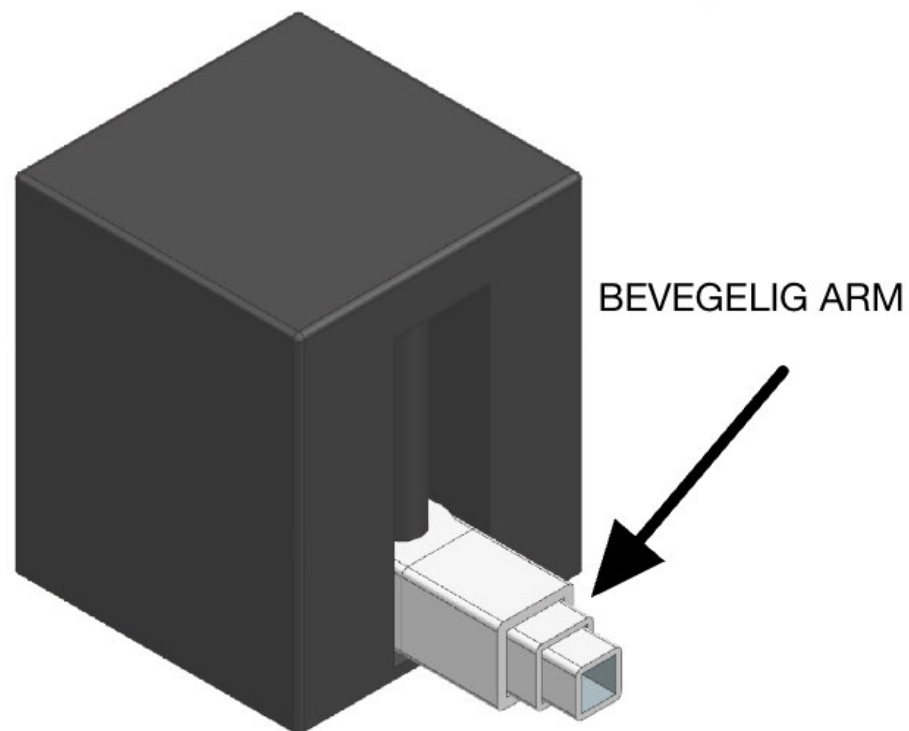
Figur 3: Mekanismen for å styre bevegelsen ble optimalisert for å øke den bevegelige distansen.

D Illustrasjon - Deler i endelig konsept



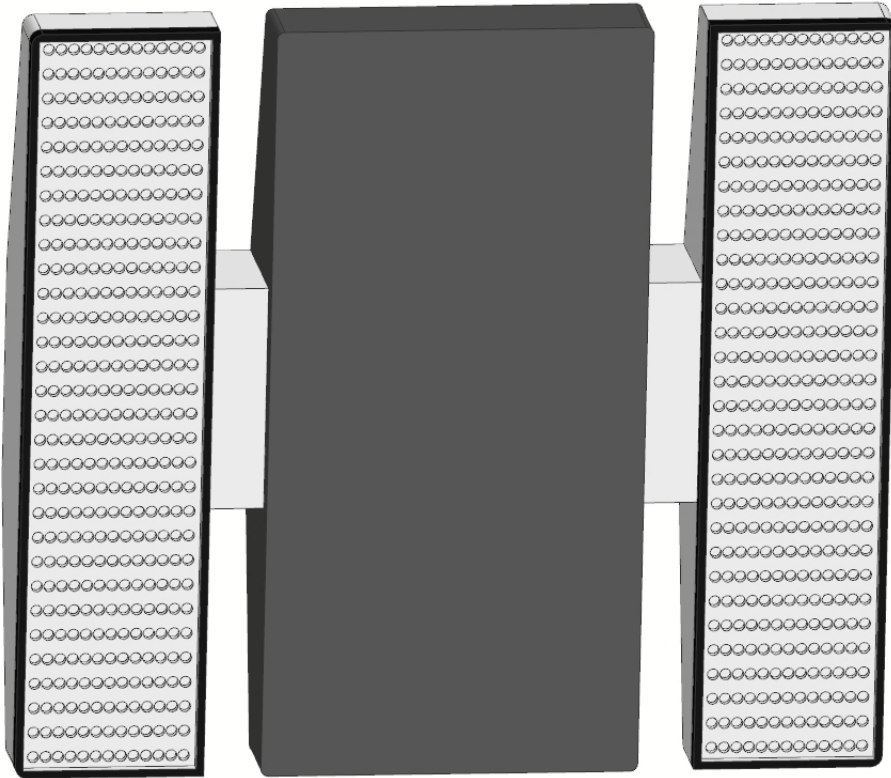
Figur 4: Figuren viser den stasjonære delen og den massive sylindere den bevegelige armen er festet i.

E Illustrasjon - Bevegelig arm endelig konsept



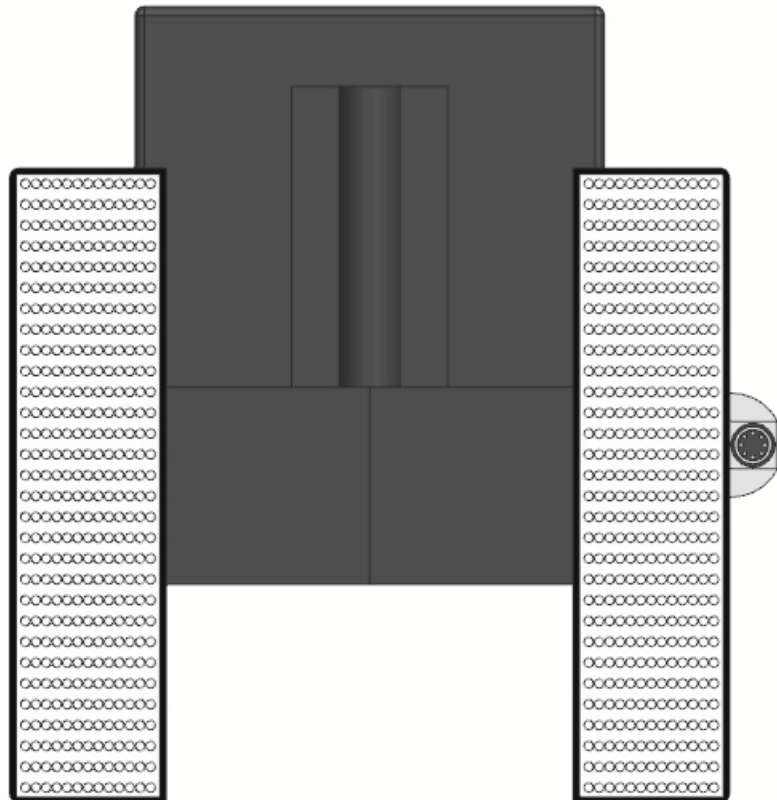
Figur 5: Figuren viser den bevegelige armen som består av tre deler.

F Endeplate med vakuum



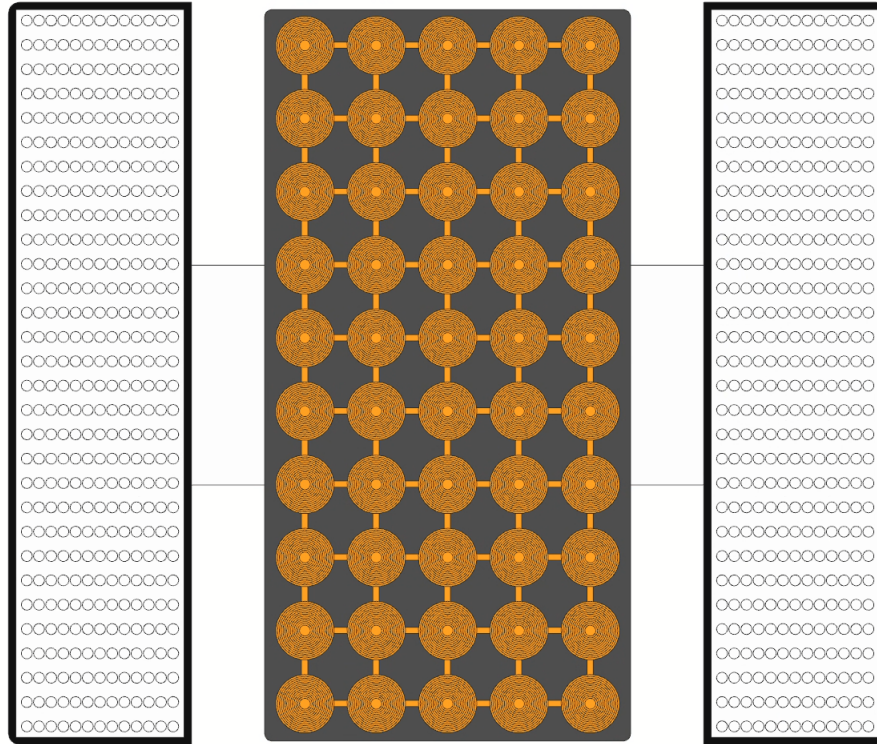
Figur 6: Figuren viser endeplaten. Den består av vakuumplater på sidene og plass for ladesystem i midten.

G Endeplate for Geiranger - energioverføring



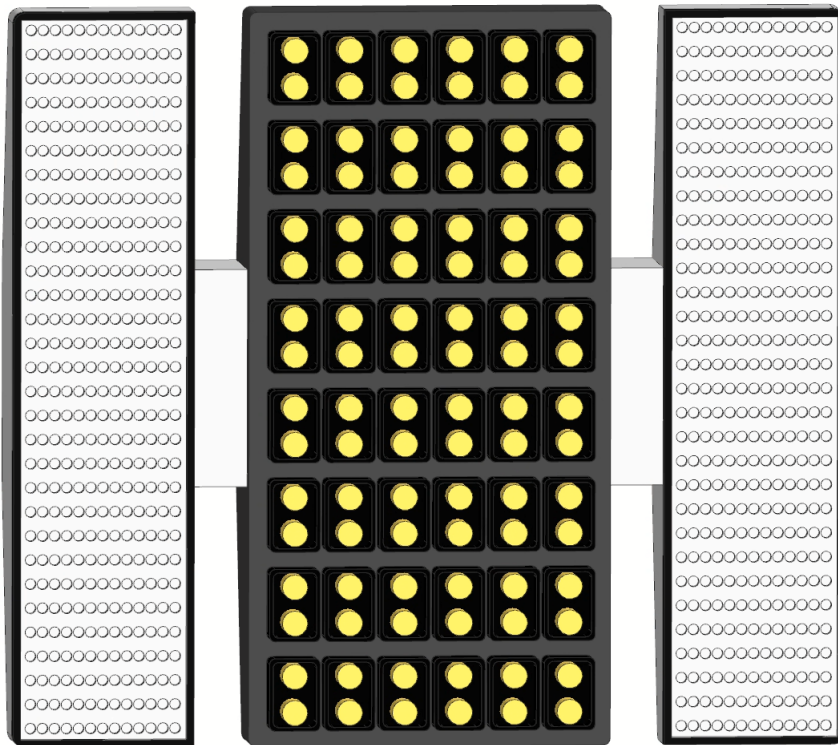
Figur 7: Figuren viser løsningen for endeplaten i Geiranger. Her skal det benyttes en kontaktkobling for å overføre energien fra powerbargen for tilførsel til nullutslippsfartøy.

H Endeplate med induksjonsløsning



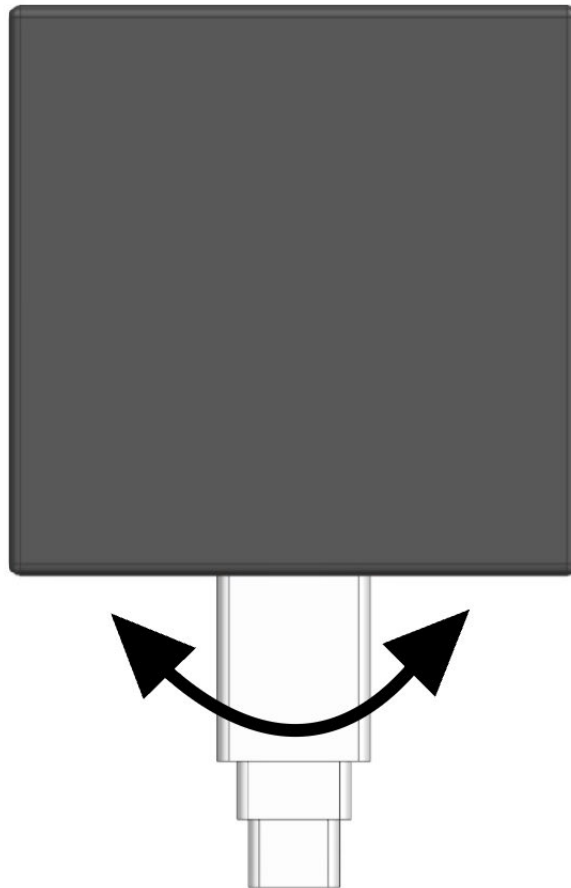
Figur 8: Nærbilde av induksjonsløsning i Linge

I Endeplate med kontaktløsning



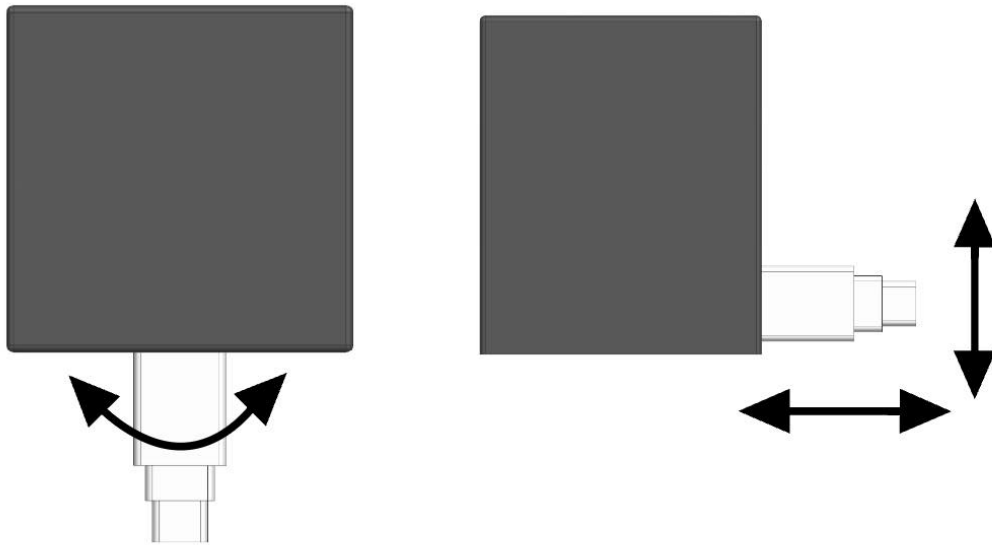
Figur 9: Nærbilde av kontaktløsning i Linge

J Bevegelighet 1 arm



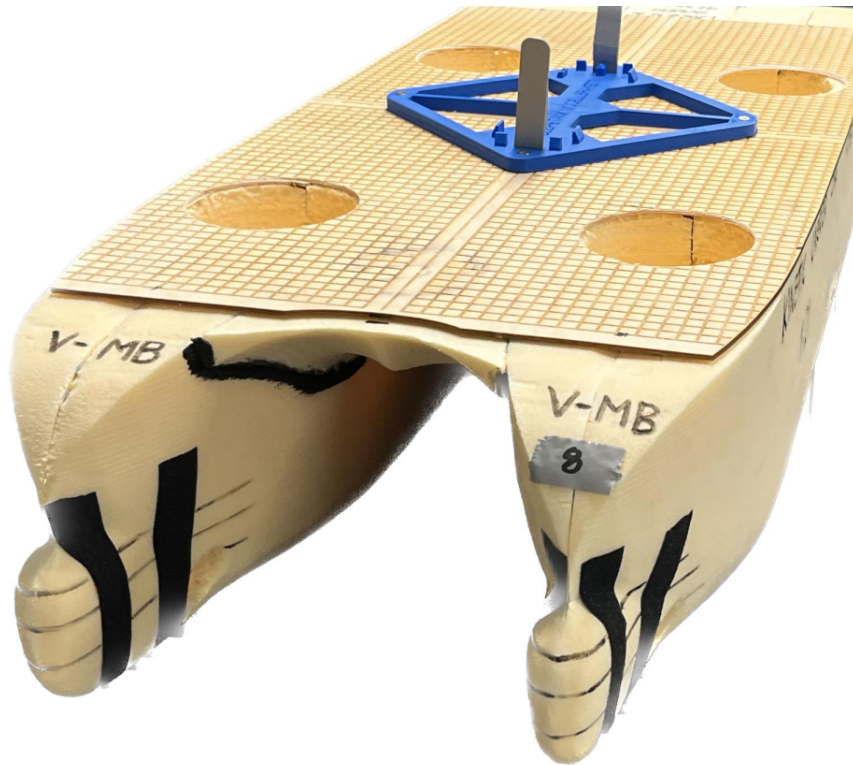
Figur 10: Figuren viser armens bevegelighet

K Bevegelighet 2 arm



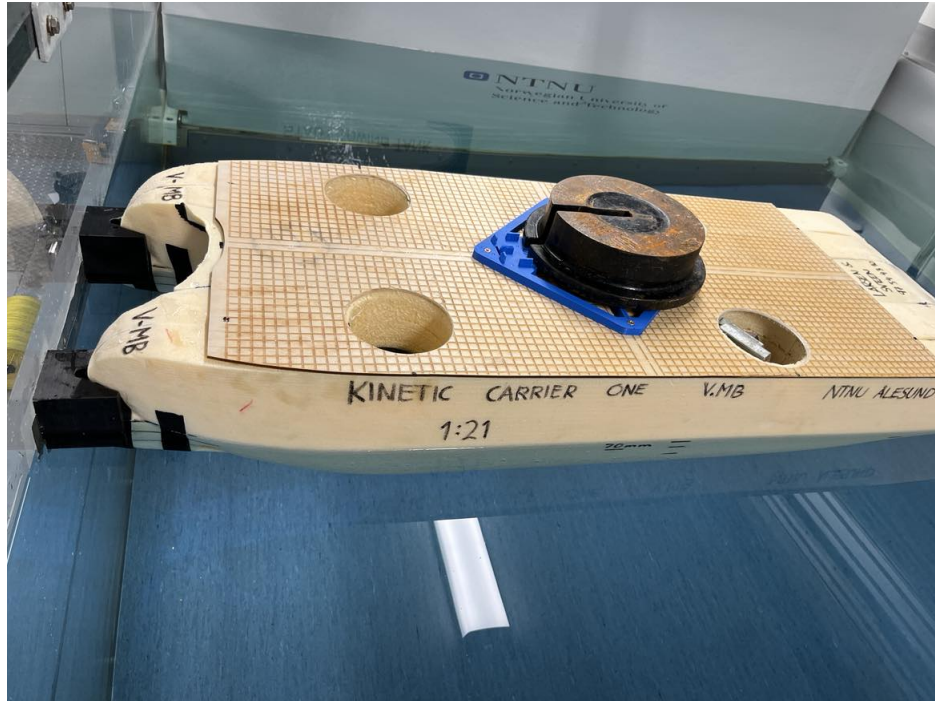
Figur 11: Figuren viser flere av armens bevegelighet

L Utfrest katamaran skrog



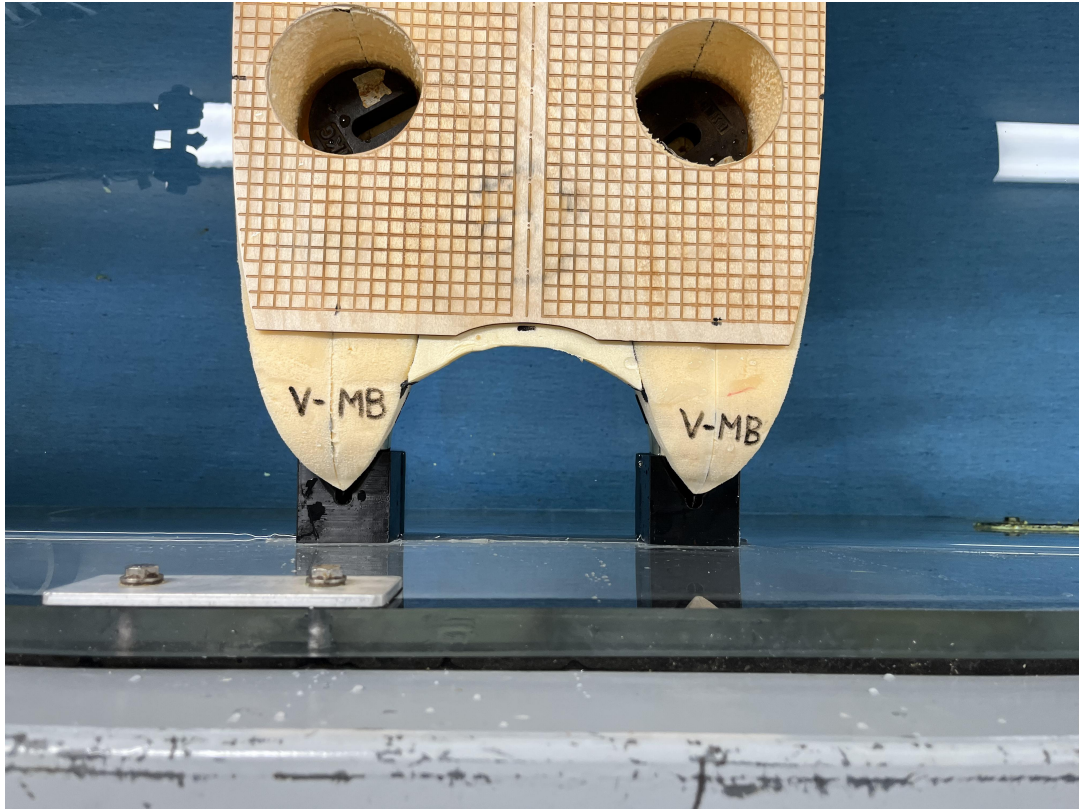
Figur 12: Figuren viser skrogformen til powerbargen. Denne skalamodellen ble ikke laget som en del av denne bacheloroppgaven og har kun blitt brukt for å teste løsninger i vanntanken.

M Test i vanntank 1



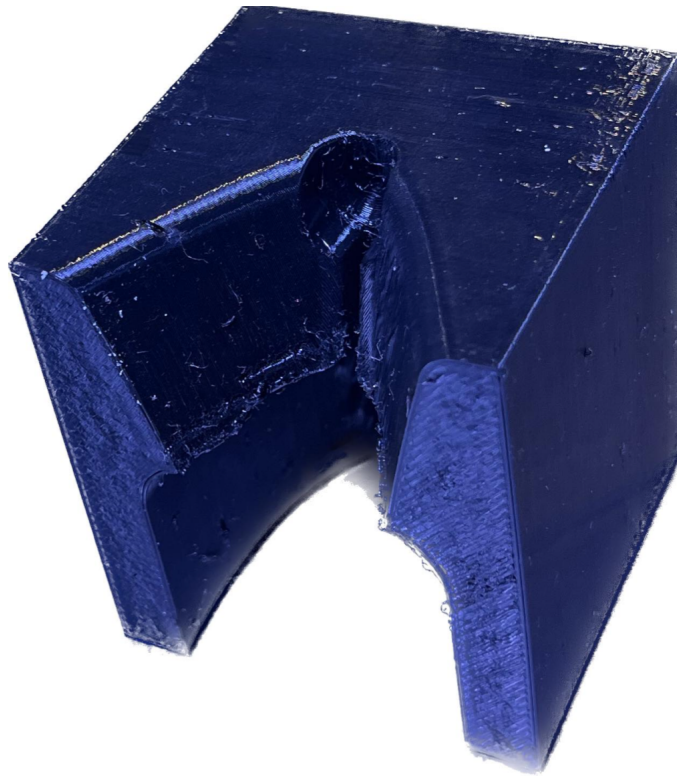
Figur 13: 1 - Test av den statiske løsningen i vanntanken.

N Test i vanntank 3



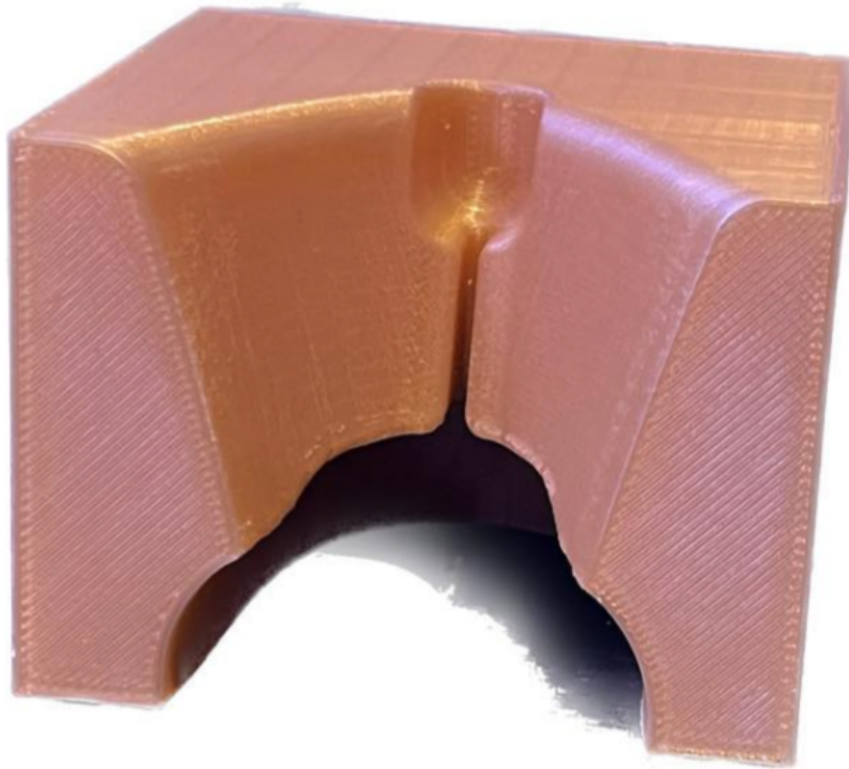
Figur 14: 3 - Test av den statiske løsningen i vanntanken.

O 3D print - Fleksibel statisk del



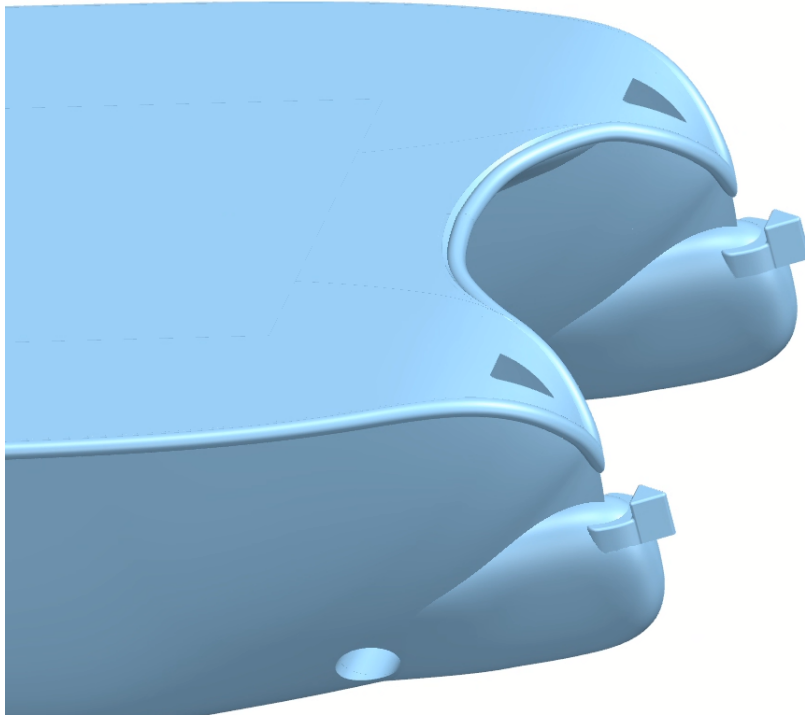
Figur 15: Figuren viser en 3D print av den statiske delen i det fleksible materialet TPU.

P 3D print - Statisk del

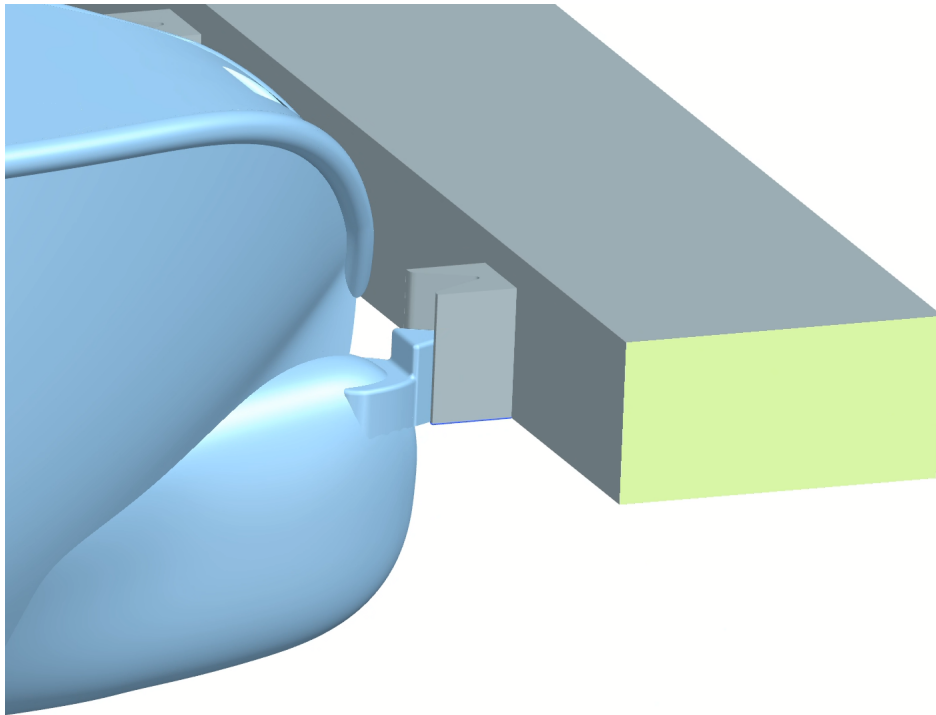


Figur 16: Figuren viser en 3D print av den statiske delen i PLA materialet.

Q Ny statistisk del 1



Figur 17: Figuren viser powerbargen med en av delene i den statiske løsningen sammenføyd til skroget.



Figur 18: Figuren viser hvordan utstikkerene sammenføyd til skroget og den statiske delen på kaien kommer i kontakt med hverandre i konsept 4

R Servicekostnader

	Kontaktkobling	Induksjon	Vakuum	
Antall servicer i året	4	2	4	
timepris	1200	1400	1200	
antall timer	8	8	8	
Årlige service kostnader	kr 38 400,00	kr 22 400,00	kr 38 400,00	
Kurskostnader for daglig service (årlig)	kr 10 000,00	kr 40 000,00	kr 20 000,00	
Tot service kostnader for konsept A			kr 76 800,00	
Tot service kostnader for konsept B			kr 60 800,00	

Figur 19: Beregninger av servicekostnader

S Driftskostnader 1/2 - konsept med kontakt kobling

Utgiftstype	t (år) -->	1	2	3	4	5	6	7
Nedbetaling av lån	"----->"	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)
Service	"----->"	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)
Reparasjon	"----->"	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)
deler	"----->"	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)
Service kurs	"----->"	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)
SUM		kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)

Utgiftstype	t (år) -->	8	9	10	11	12	13	14	15
Nedbetaling av lån	"----->"	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)	kr (68 228,81)
Service	"----->"	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)	kr (76 800,00)
Reparasjon	"----->"	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)
deler	"----->"	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)	kr (200 000,00)
Service kurs	"----->"	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)	kr (30 000,00)
SUM		kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)	kr (575 028,81)

KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
KS_0	KS_1	KS_2	KS_3	KS_4	KS_5	KS_6	KS_7		
kr (9 224 000,00)	kr (552 912,32)	kr (531 646,46)	kr (511 198,52)	kr (491 537,04)	kr (472 631,77)	kr (454 453,62)	kr (436 974,64)		

KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
KS_8	KS_9	KS_10	KS_11	KS_12	KS_13	KS_14	KS_15		
kr (420 167,92)	kr (404 007,62)	kr (388 468,86)	kr (373 527,75)	kr (359 161,30)	kr (345 347,40)	kr (332 064,81)	kr (315 293,09)		

Figur 20: Driftskostnader for konsept A

T Driftskostnader 2/2 - konsept med induksjon

Utgiftstype	t (år) -->	1	2	3	4	5	6	7
Nedbetaling av lån	"----->"	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)
Service	"----->"	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)
Reparasjon deler	"----->"	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)
Kurs	"----->"	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)
SUM		Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)

KS_0	KS_1	KS_2	KS_3	KS_4	KS_5	KS_6	KS_7
Kr (12 224 000,00)	Kr (347 326,40)	Kr (333 967,69)	Kr (321 122,78)	Kr (308 771,90)	Kr (296 896,06)	Kr (285 476,98)	Kr (274 497,10)

Utgiftstype	t (år) -->	8	9	10	11	12	13	14	15
Nedbetaling av lån	"----->"	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)	Kr (90 419,45)
Service	"----->"	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)	Kr (60 800,00)
Reparasjon deler	"----->"	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)	Kr (100 000,00)
Kurs	"----->"	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)	Kr (50 000,00)
SUM		Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)	Kr (361 219,45)

KS_8	KS_9	KS_10	KS_11	KS_12	KS_13	KS_14	KS_15
Kr (263 939,52)	Kr (253 788,00)	Kr (244 026,92)	Kr (234 641,27)	Kr (225 616,60)	Kr (216 939,04)	Kr (208 595,23)	Kr (200 572,34)

Figur 21: Driftskostnader for konsept B

U Avdrag på lån

	Konsept A		Konsept B	
K ₀ (investeringskostnader) =	kr	9 224 000,00	kr	12 224 000,00
Realrente (r) =		4,0 %		4,0 %
Diskonteringsrente (1+r) =		1,04		1,04
Lånesum =	kr	9 224 000,00	kr	12 224 000,00
Låne rente =		4 %		4 %
Løpetid (år) =		15		15
Løpetid (mnd) =		180		180
Årlige avdrag =	kr	68 229	kr	90 419

Figur 22: Figuren viser de årlige avdragene for konsept A og konsept B.

V Oppgavetekst

MASA2900 BACHELOROPPGAVE

Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk

**Hovedprosjekt**

for

Milkeyso Abduljalil Adam**Produkt- og systemdesign****Vårsemester 2023**

Tittel:

Automatisk fortøyning av powerbarge i Geirangerfjorden

Geirangerfjorden er blant de mest besøkte og attraktive reisemålene i Norge og en motor for reiselivet på Vestlandet. Dårlige veiforbindelser i området gjør at sjøveien er den beste transportløsningen. I 2005 fikk Geirangerfjorden sammen med Nærøyfjorden i Aurland, status som verdensarvfjord av UNESCO. Bakgrunnen var fjordenes særlige krav på beskyttelse fra den økende mengden utslipp til luft og sjø fra cruiseskip og annen trafikk. Stortinget vedtok i 2018 at cruiseskip og ferger skal seile utslippsfritt i norske verdensarvfjorder (Forskrift). Det skal skje så snart det er teknisk mulig og senest innen 2026.

Ambisjonen om utslippsfri ferdsel i verdensarvfjordene er positivt og vil stimulere til innovasjon i næringsliv og offentlig sektor.

Gjennom prosjektet «Grønn kai» skal NTNU og Stranda Havnevesen med partnere utvikle bærekraftige løsninger som legger til rette for å ta imot anløp av utslippsfrie fartøy både i og utenfor Verdensarvområdene. Fokus vil være på infrastruktur på sjø og land i samband med kaianlegg.

Kandidaten skal i denne oppgaven gjennomføre følgende:

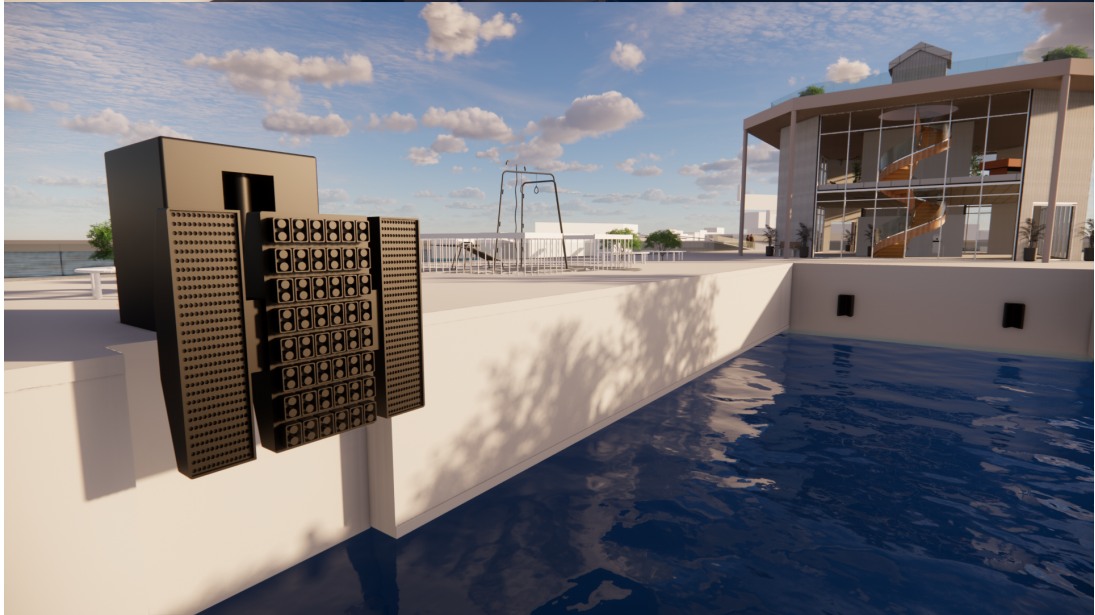
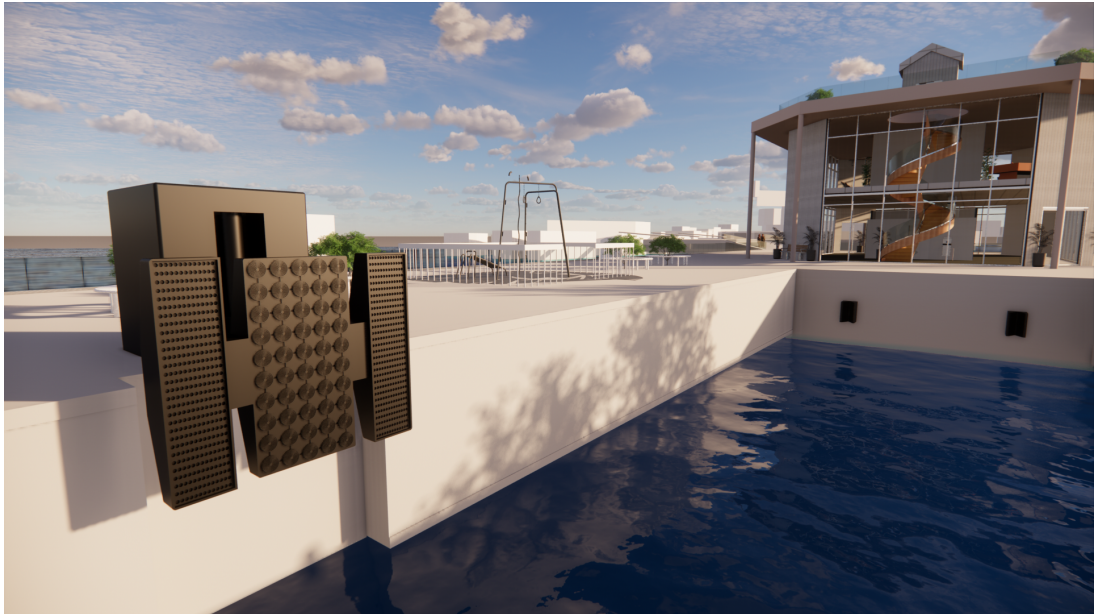
1. Undersøke hva som finnes av automatiske fortøyningsløsninger på markedet og lage en oversiktlig sammenligning av de ulike. Sette seg godt inn i gjeldende regelverk dersom det eksisterer for denne fartøystypen.
2. Kritisk drøfting av de ulike fortøyningsløsningene som finnes og deretter velge en hensiktsmessig løsning. Den valgte løsningen må kunne integreres i båten som designes av skips studentene.
3. Komme frem til flere konstruktive konsepter for utformingen fortøyningssystemet med tanke på ordinær drift, vedlikehold og utskiftning. CAD verktøy tas i bruk for å lage 3D-modeller og arbeidstegninger. I den grad tiden rækker til, lage konseptmodeller som kan testes i modelltanken.
4. Utarbeide kostnadskalkyle for valgt forankringsløsning.

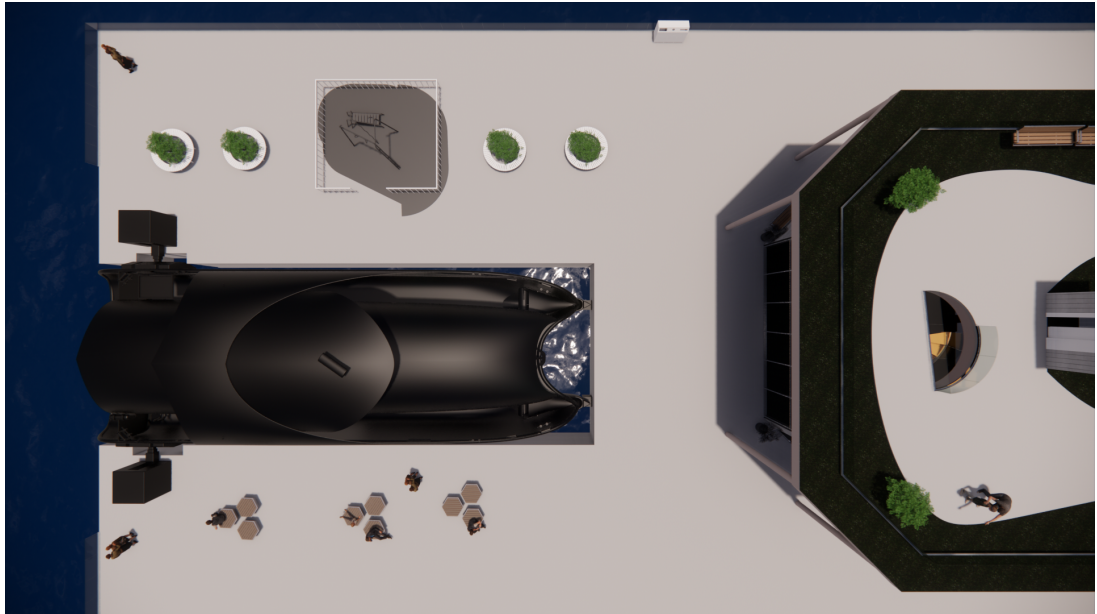
Veileder ved NTNU i Ålesund er Lars P. Bryne, Øivind Kåre Kjerstad.

Besvarelsen redigeres som en teknisk rapport, med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

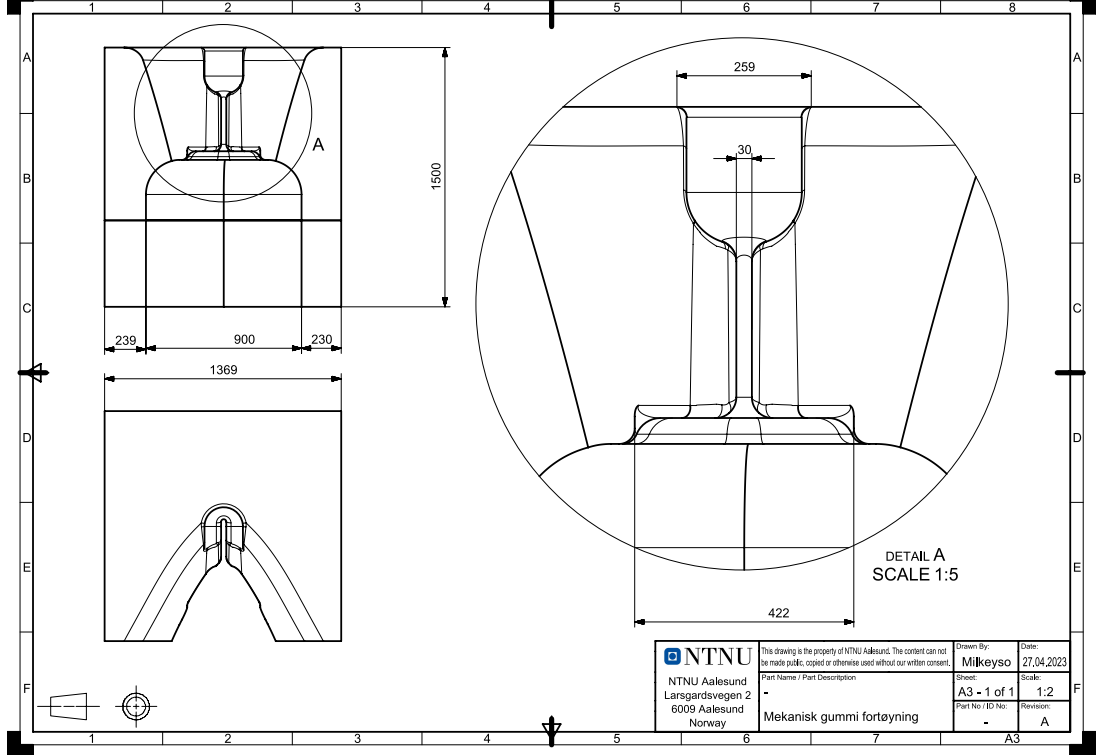
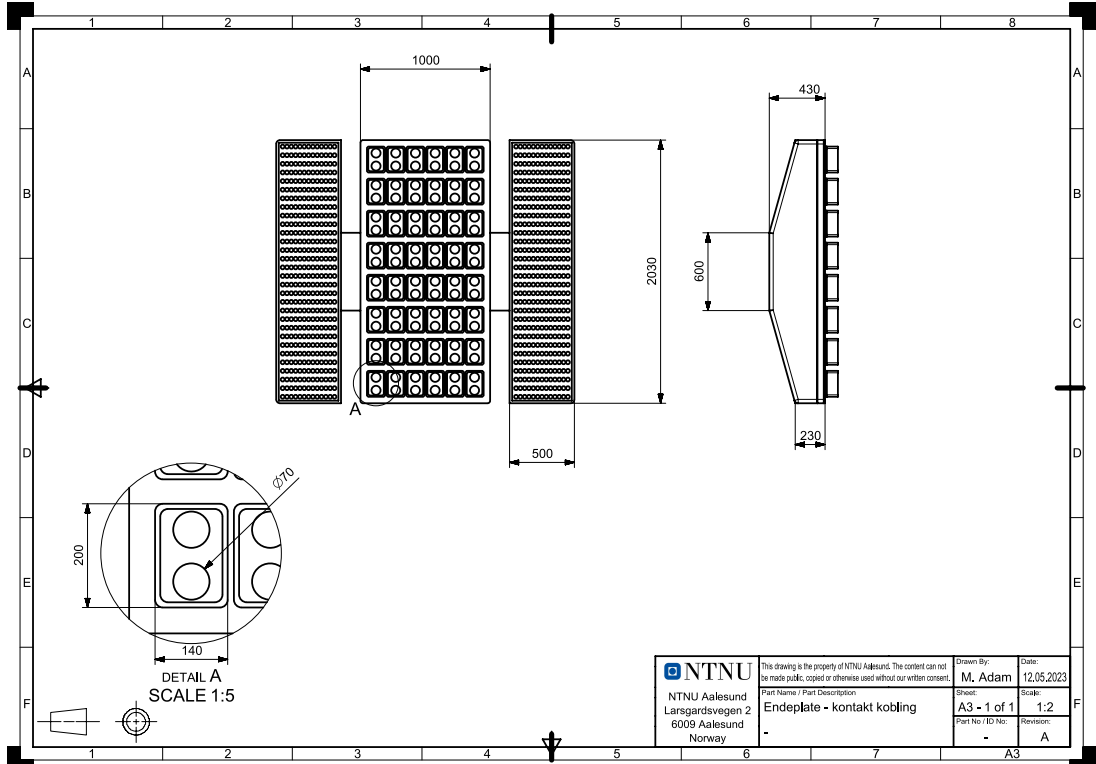
Figur 23: Figuren viser oppgavebeskrivelsen utarbeidet sammen med veileder.

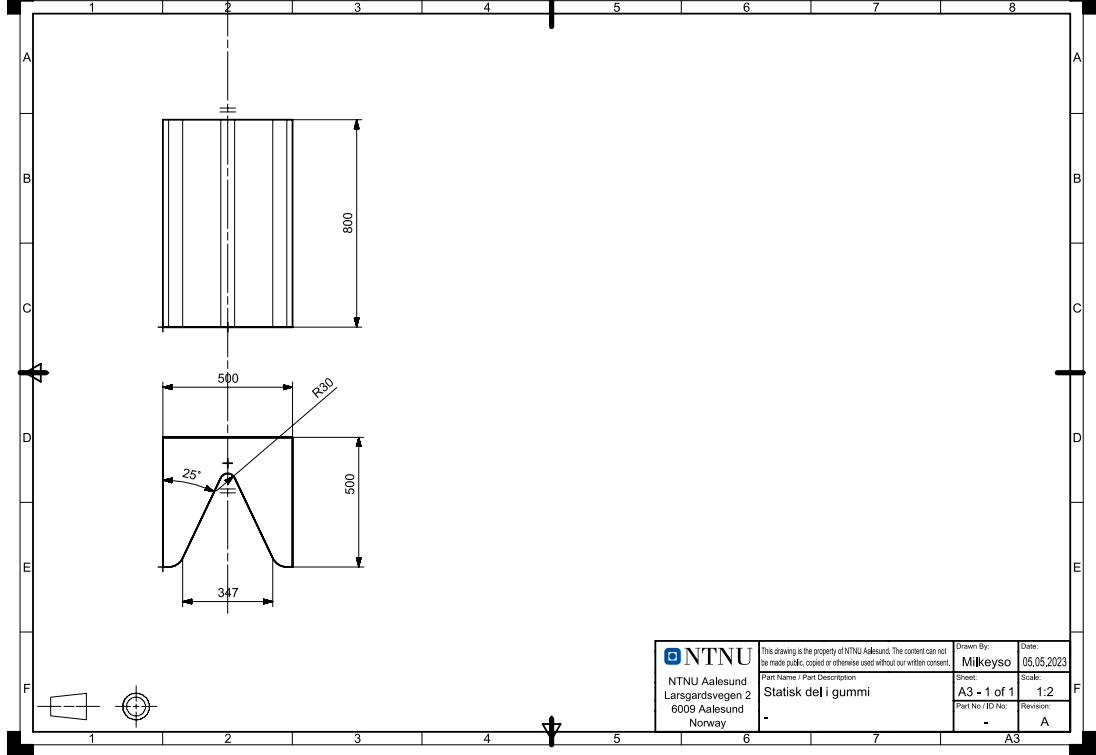
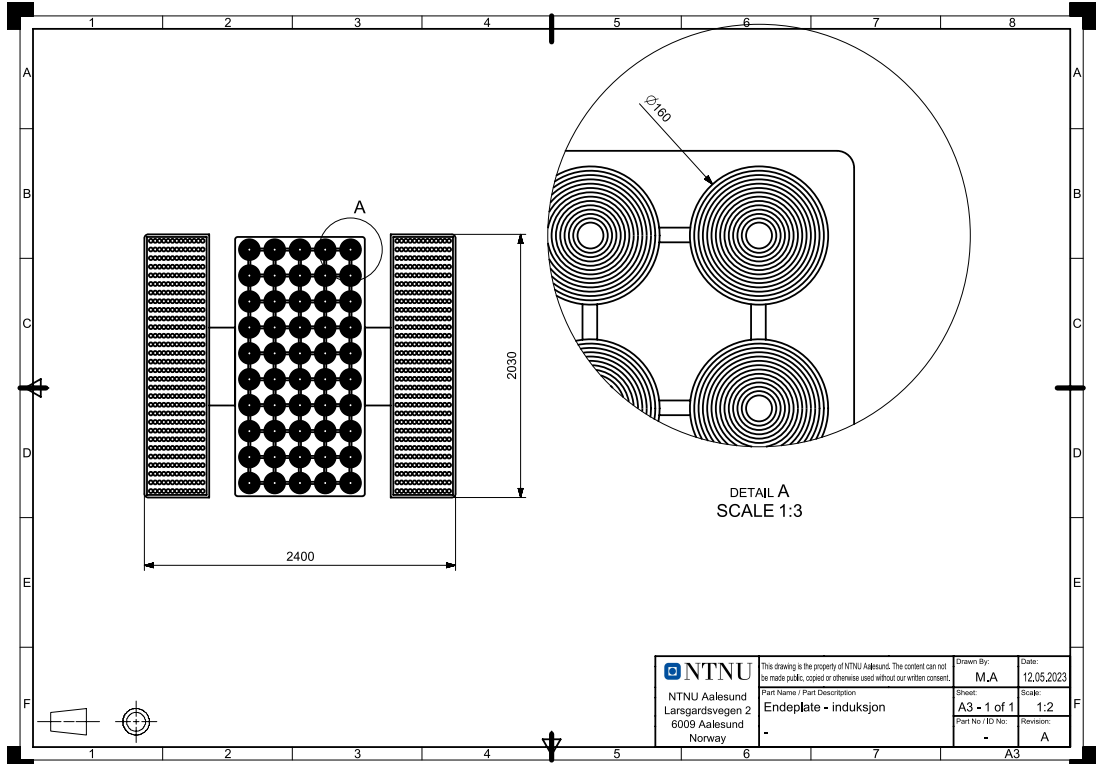
W Miljøbilder - Enscape



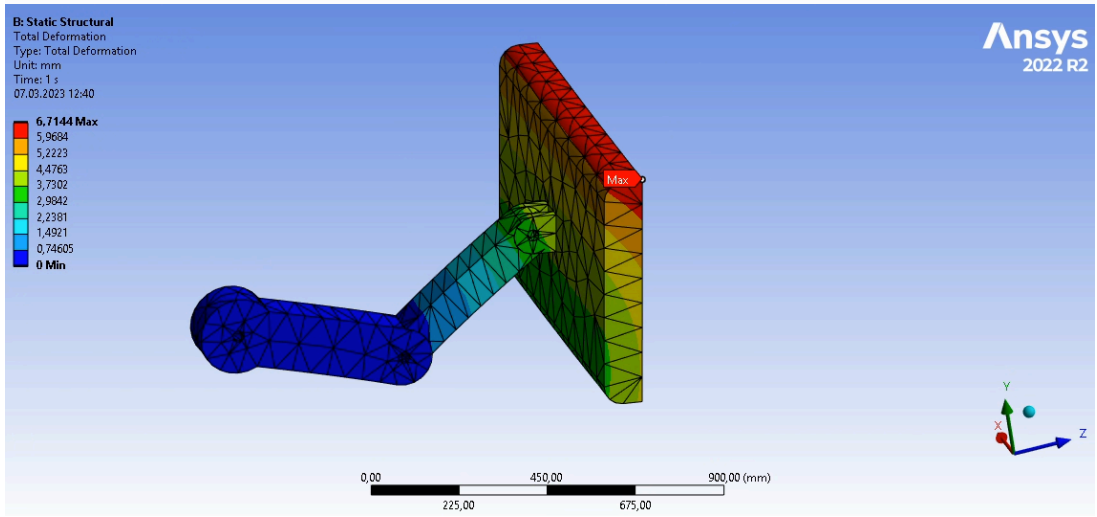
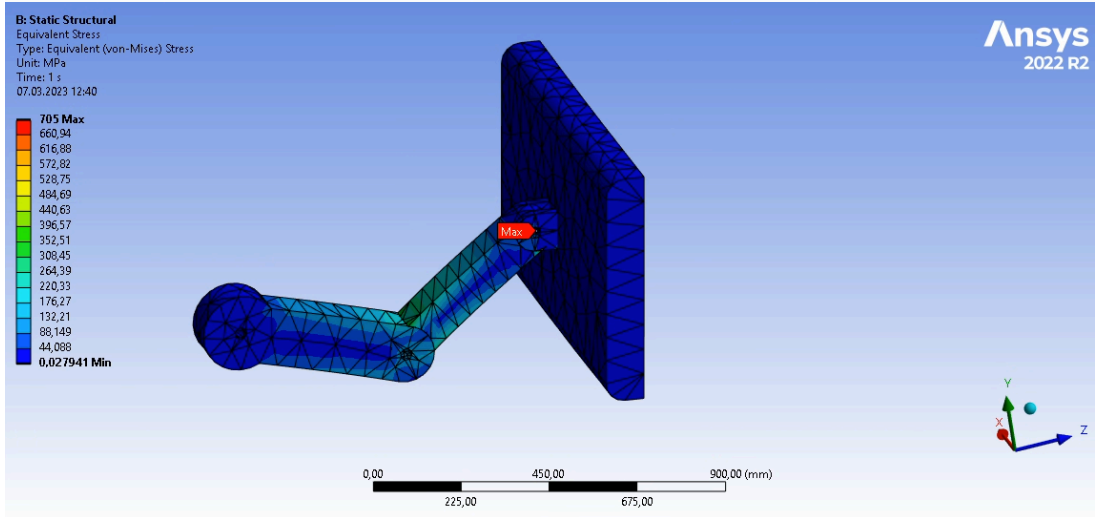
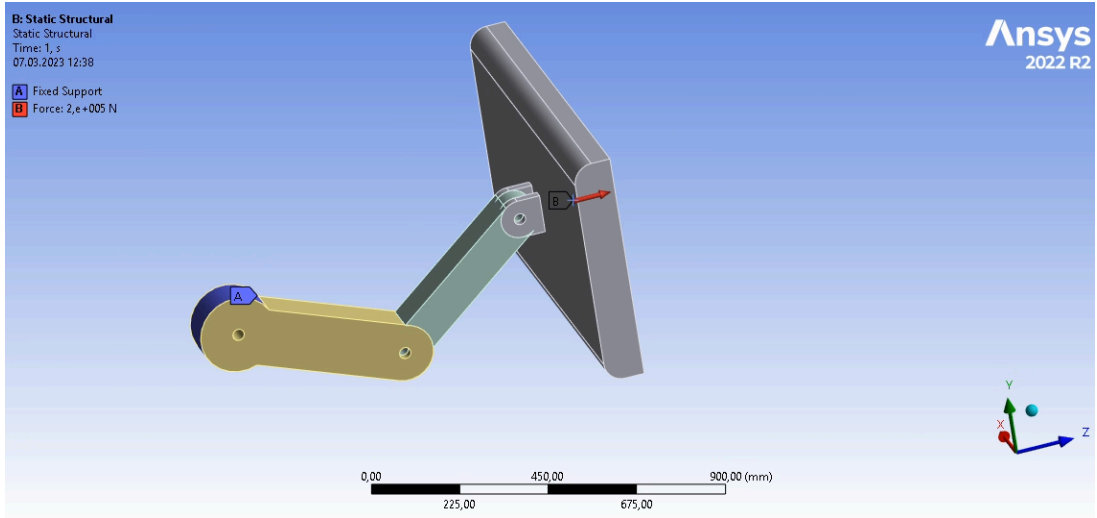


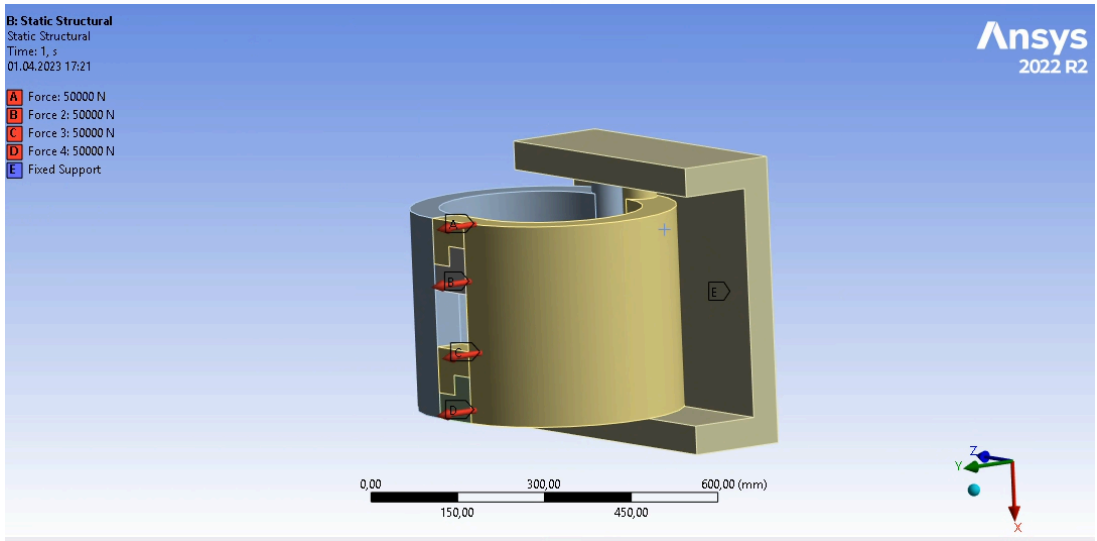
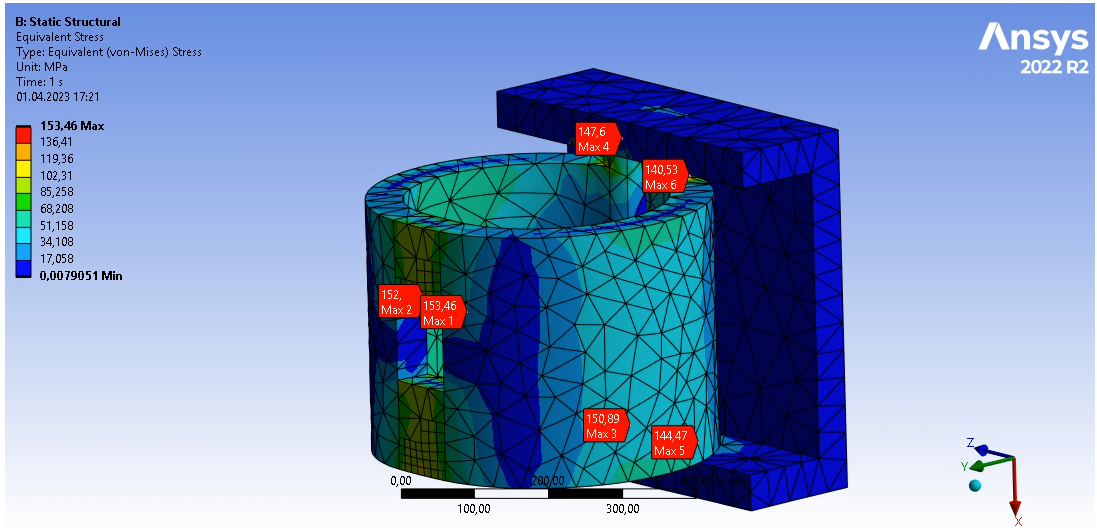
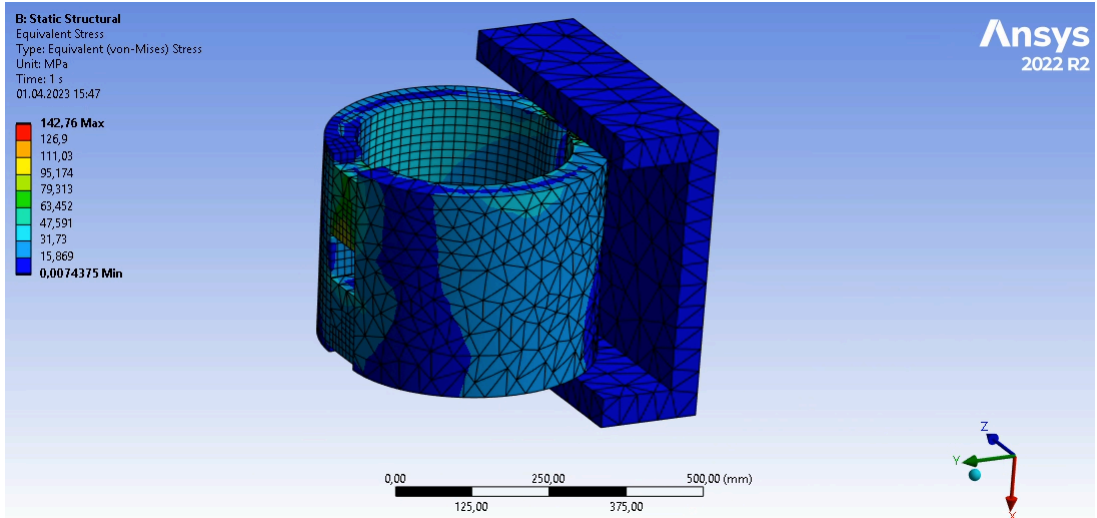
X Skisser

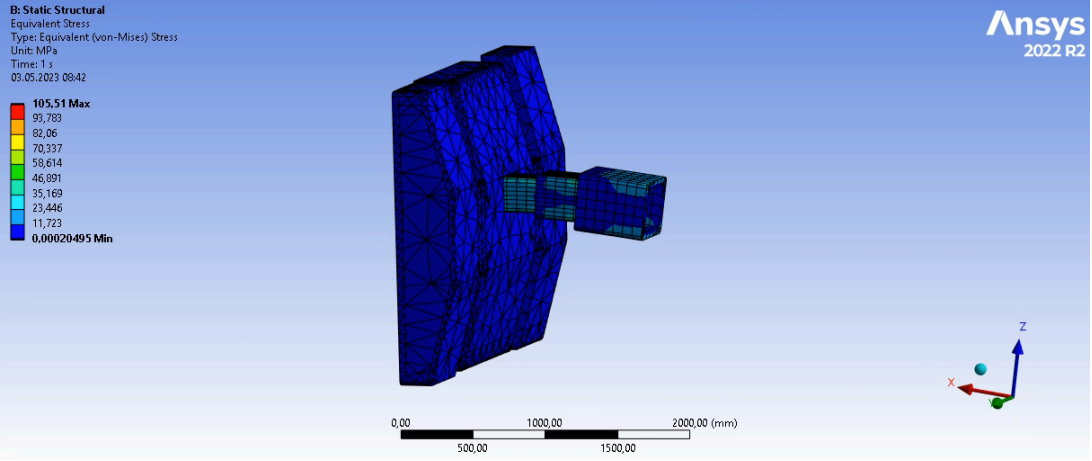
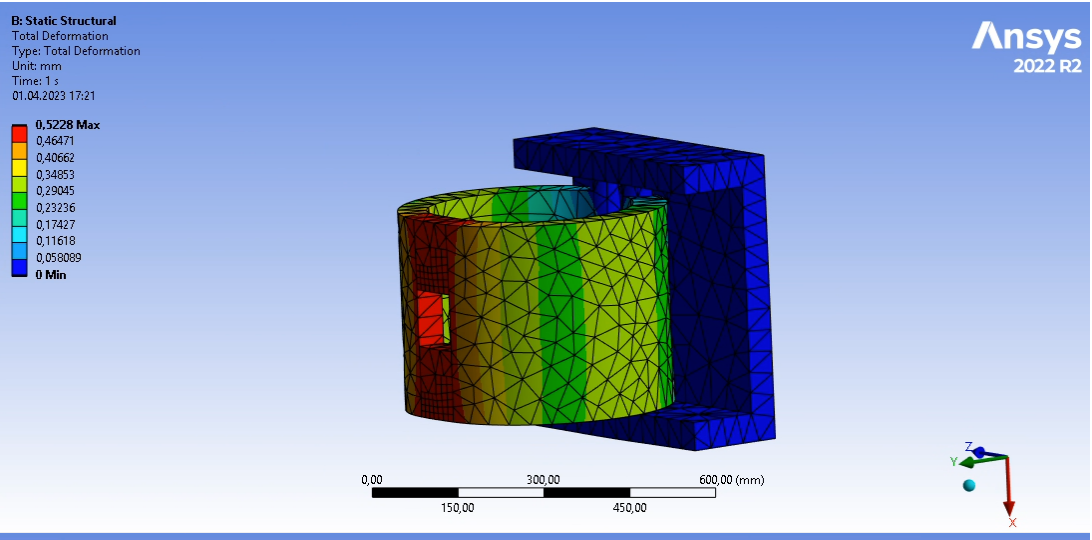




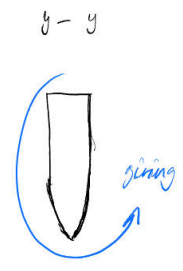
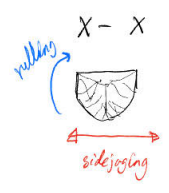
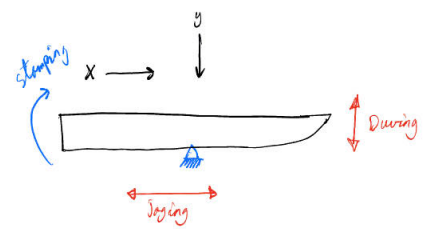
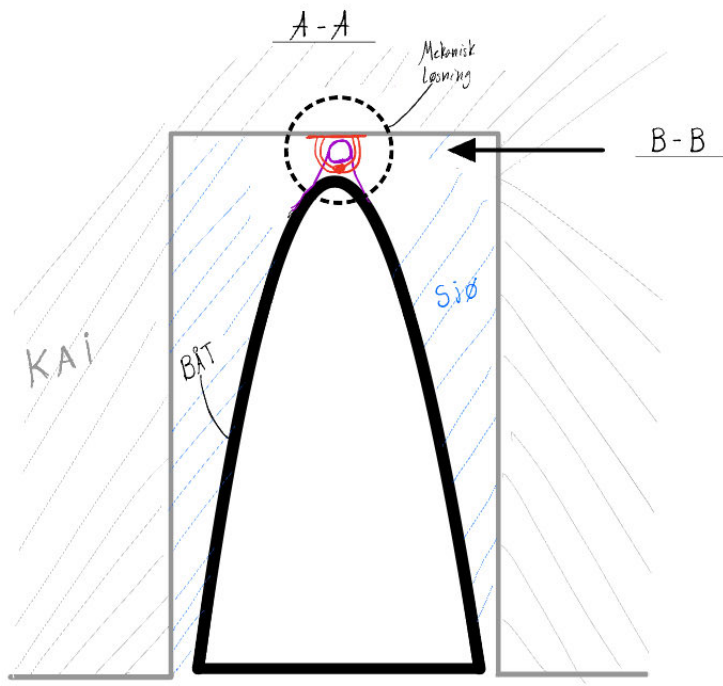
Y Ansys Styrkeberegninger



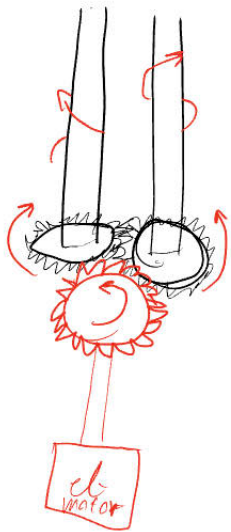
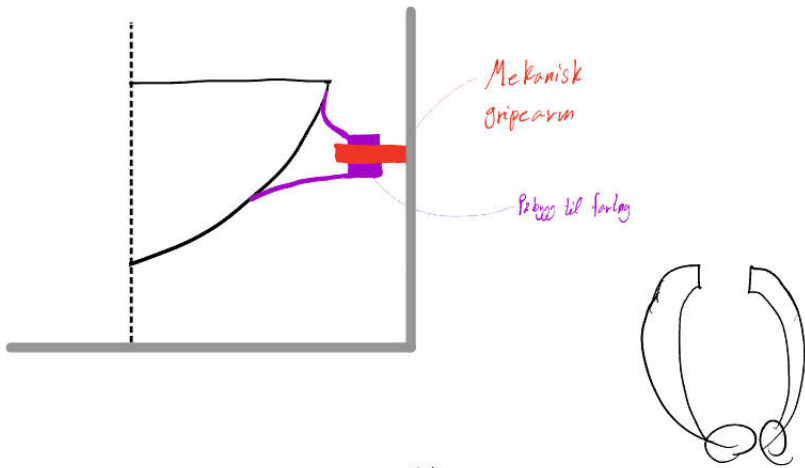




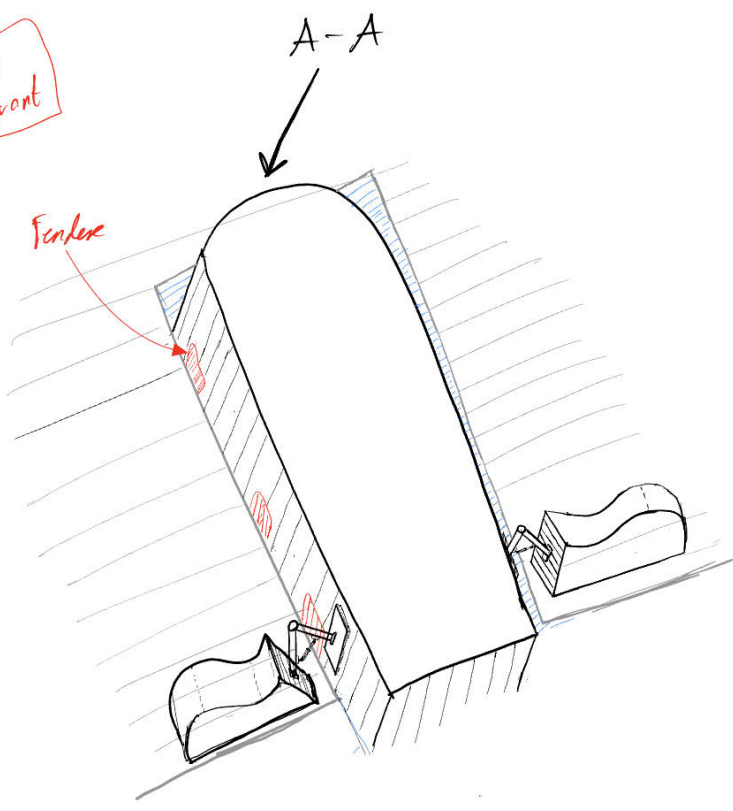
Z Skisser



B - B



Mekanisk
Løs i front



Konzept 1

