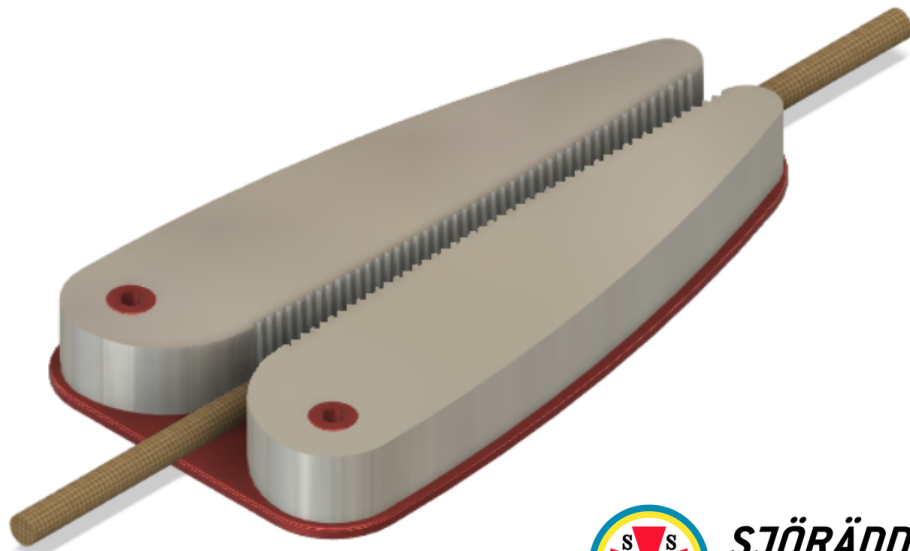




CHALMERS



SJÖRÄDDNINGSSÄLLSKAPET

Bogseranordning för ny, miljövänlig räddningsbåt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Elias Håland
Kristoffer Persson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

www.chalmers.se

Förord

Rapporten behandlar ett examensarbete på högskoleingenjörprogrammet maskinteknik vid Chalmers tekniska högskola. Examensarbetet genomfördes i samarbete med Sjöräddningssällskapet under våren 2023 och omfattar 15 högskolepoäng per person.

Vi vill börja med att tacka Sjöräddningssällskapet för ett gott samarbete och möjligheten att få lära oss mer om verksamheten. Under våren har det varit inspirerande att veta att vårt arbete förhoppningsvis kommer att hjälpa Sjöräddningssällskapet att utföra sina viktiga uppdrag i framtiden. Framförallt vill vi tacka Fredrik Falkman som med stort engagemang hjälpt oss.

Utöver det vill vi rikta ett tack till Kjell Melkersson, Jim Brozelius och alla andra på Chalmers tekniska högskola som under våren stöttat oss. Ett extra stort tack till vår handledare Göran Gustafsson som varit ständigt behjälplig och alltid kommit med goda och lärorika uppmärksamheter och råd.

Sammanfattning

Målet med detta examensarbete var att utveckla en fullt fungerande bogseranordningsprototyp till Svenska Sjöräddningssällskapets nya elektriska räddningsbåt. Arbetet genomfördes på institutionen för industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola.

Det som särskiljer bogseranordningen från tidigare varianter hos Sjöräddningssällskapet är dess placering. Utvecklingen av bogseranordningen har fokuserat på att göra den ergonomisk, användarvänlig och personsäker. För att säkerställa detta krävs en pålitlig automatisk nödutlösning, vilket är projektets kärna.

Med metodiskt produktutvecklingsarbete har relevant data och kunskap insamlats och utvärderats. En kravspecifikation har sammanställts och därefter har dellösningar genererats. En morfologisk matris omvandlade dellösningar till lösningsgrupper. Lösningssgrupperna bedömdes och de sämre eliminerades med eliminerings- och pughmatris.

Utvärdering av de kvarvarande koncepten genomfördes för att finna svagheter med dem. Därefter eliminerades ytterligare alternativ så att endast ett slutgiltigt koncept återstod. För det slutgiltiga konceptet finns underlag för en prototyp. Arbetet har under projektets gång förändrats till att mer utreda och förbereda Sjöräddningssällskapet fortsatta arbete med att utveckla en bogseringsanordning. Förslag på vidareutveckling finns i slutet på rapporten.

Abstract

The aim of this thesis project was to develop a fully functioning towing device prototype for the Swedish Sea Rescue Society's new electric rescue boat. The work was conducted at the Department of Industrial and Materials Science at Chalmers University of Technology.

What sets the towing device apart from previous versions used by the Sea Rescue Society is the placement. The development of the towing device has focused on making it ergonomic, user-friendly, and safe. To ensure this, a reliable automatic emergency release is required, which forms the core of the project.

Through systematic product development work, relevant data and knowledge have been collected and evaluated. A requirements specification has been compiled, followed by the generation of sub-solutions. A morphological matrix transformed sub-solutions into solution groups. The solution groups were assessed, and the inferior ones were eliminated using an elimination and Pugh matrix.

Evaluation of the remaining concepts was conducted to identify issues and weaknesses. Subsequently, more alternatives were eliminated, leaving only one final concept. The final concept has been described in more detail. During the course of the project, the work has shifted towards investigating and preparing for the Sea Rescue Society's continued development of a towing device. Suggestions for further development are provided at the end of the report.

Ordlista

Akter – Den bakre delen av en båt, ett skepp eller fartyg.

Babord – Den vänstra sidan av en båt sett från aktern.

Bärplansbåt – Bärplansbåt är en båt med vingliknande bärplan monterade under fartygets skrov.

Drivpunkt – Den punkt där kraften från båtens framdrivningssystem appliceras på båtens skrov.

Hanfot – Förgrening på en lina som gör att den mynnar ut i två tampar istället för en, klassiskt ser de ut som ett Y.

Kantra – Kraftig slagsida, men mindre än 90°.

Kapsejsing – Kraftig slagsida, större än 90°. Totalt haveri, båten går förlorad.

Styrbord – Den högra sidan av en båt sett från aktern.

Rorsman – Den som styr båten.

Planande läge – Skrovet på en båt lyfts upp ur vattnet, detta för att minska motståndet som vattnet har mot båten.

Räddningsbåt – Båt som Sjöräddningssällskapet använder vid sina insatser.

Slagsida – Den oönskade lutningen för en båt.

SSRS – Sjöräddningssällskapet.

Vattenjet – Framdrivningssystem för båtar som använder vattenstrålar för framdrivning och styrning.

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Mål.....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Nulägesanalys.....	2
2 Teoretisk Bakgrund.....	3
2.1 Båten ELINN.....	3
2.2 Manövrerbarhet.....	5
2.3 Slagsida.....	6
2.4 Haverirapport från SSRS övningstillfälle.....	7
2.5 Nödutlösningar.....	8
2.6 Riskanalys.....	8
2.6.1 Kapsejsning.....	9
2.6.2 Risker med bogserlinan.....	9
2.6.3 Klämrisk.....	9
2.6.4 Bogserlina fastnar i propeller.....	10
3 Datainsamling och problemförståelse.....	11
3.1 Samtal med uppdragsgivare.....	11
3.2 Intervjuer.....	11
3.2.1 Sammanställning av intervjuresultat.....	11
3.2.1.1 Intervju med Marcus Håkansson.....	11
3.2.1.2 Intervju med Lars Littke och hans besättning.....	12
3.2.1.3 Intervju med Bill Söderberg.....	12
3.2.1.4 Intervju med Daniel Johannesson.....	12
3.2.2 Reflektioner kring intervjuer.....	13
3.3 Observationer och studiebesök.....	14
3.3.1 Reflektioner kring studiebesök.....	17
3.4 Kravspecifikation.....	17
3.4.1 Krav.....	19
3.4.2 Önskemål.....	20
3.4.3 Viktning av önskemål.....	20
3.5 Funktionsanalys.....	20

4 Idégenerering och eliminering.....	22
4.1 Idégenerering	22
4.2 Eliminering av lösningsgrupper	26
4.3 Kvarvarande koncept.....	29
4.3.1 Cam Cleats – L1.....	30
4.3.1.1 Urval konceptgrupp Cam Cleats	31
4.3.2 Förtjockad lina – L4.....	31
4.3.2.2 Urval konceptgrupp förtjockad lina	32
4.3.3 Pollare – L5	33
4.4 Ställ koncept emot varandra	34
5 Resultat.....	38
5.1 Cam Cleat bärighet	38
5.2 Volymkontakt	40
5.3 Detaljkonstruktion.....	42
5.3.1 Axlar fästplatta	42
5.3.2 Bultar	43
5.3.3 Rotationspunkt kammar	44
5.4 Slutgiltig prototyp.....	45
6 Fortsatt arbete.....	46
6.1 Trumma	46
6.2 Bogserlina	46
6.3 Fysiska tester och optimering.....	46
6.4 Leda bogseranordningen	47
6.5 Minimera risker	47
6.6 Om Cam Cleats ej klarar bärighet.....	47
7 Slutsats	48
Referenslista.....	48
Bilagor.....	ii
Bilaga 1 - Intervjuformulär.....	ii
Bilaga 2 – Bollard prov Gunnel Larson-klassen.....	iii
Bilaga 3 – Karta över brainstorming för idégenerering	iv
Bilaga 4 – Ritning Cam Cleats	viii
Bilaga 5 – Karta över brainstorming för riskminimering.....	x

1 Inledning

I det här kapitlet behandlas bakgrund, syfte, problembeskrivning, mål, avgränsningar, och nulägesanalys.

1.1 Bakgrund

Svenska sjöräddningssällskapet (SSRS) är en organisation som grundades 1907 och har 143 000 medlemmar. SSRS uppgift är att vara behjälpliga vid sjöräddning och de medverkar idag vid 90% (Sjöräddningssällskapet, 2023) av all sjöräddning som utförs i Sverige. De finansernas uteslutande av sina medlemmar och sponsorer.

Räddningsarbetet utförs genom ideella insatser av över 2400 frivilliga sjöräddare. Sjöräddning innefattar bland annat räddningstjänstupdrag, händelser där det finns en fara för liv, sjuktransporter och förebyggande utryckningar. Många av SSRS insatser innefattar bogsering av andra båtar.

En ambition som SSRS har är att minska sitt klimatavtryck, och ett led i det är elektrifiering av deras båtflotta. 2020 fick SSRS utomstående finansiering av Svenska Postkodlotteriet som har möjliggjort ett projekt för att utveckla och tillverka en eldriven räddningsbåt. Båten omnämns som ELINN, namnet kommer från *ELectric INNnovation for emission-free Sea Rescue Boats*.

Båten utvecklas med ambitionen att kunna ersätta befintliga båtar i SSRS Gunnel Larson-klass, de har en längd på 8,3 meter. Båtarna i denna klass är snabba, mångsidiga och lätta att manövrera vilket är viktigt då de är avsedda för kustnära insatser. Projektet har pågått sedan 2020, under 2023 kommer båten att sjösättas vatten för första gången.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att undersöka, utveckla och tillverka en fullt fungerande bogseringsanordning som ska anpassas till SSRS nya, eldrivna bärplansbåt. Bogseranordningen ska vara ergonomisk, användarvänlig och personsäker. Riskerna innefattar klämrisk, släppningskraft och att båten kantrar under bogsering. Den nya båtkonstruktionen introducerar nya förutsättningar och utmaningar som hanteras inom ramen av projektet, såsom båtens styrförmåga vid en ovanlig placering av drivpunkt, minimera massa för att minska klimatpåverkan och en ny funktion som en automatisk nödutlösning vid slagsida.

1.3 Problembeskrivning

Ett problem är att den krävda placeringen av bogseranordningen på en båt av ELINNs storlek är okonventionell. ELINN kommer dessutom bli den första elektriska bärplansbåten som ska utföra bogsering. Detta gör att det finns vissa nya utmaningar och krav. De mest centrala är större fokus på att minimera massa, krav på en

automatisk nödlösning och potentiellt större svårighet att bibehålla god manövreringsförmåga.

1.4 Mål

Målet med projektet är att presentera en fullt fungerande fysisk bogseranordningsprototyp som kan monteras på SSRS nya eldrivna prototypräddningsbåt för funktionstest, samtidigt som rapporten presenterar produktutvecklingsprocessen och tillämpade produktutvecklingsmetoder.

1.5 Avgränsningar

Projektet omfattar ingenting annat än själva bogseranordningen. Stora delar av båten är redan under tillverkning, och därför kommer bogseranordningen att anpassas till båten och inte tvärtom. Beslut om typ av bogserlina fattas inte i projektet, men faktorer som påverkas av linans val kommer att diskuteras och beaktas.

1.6 Nulägesanalys

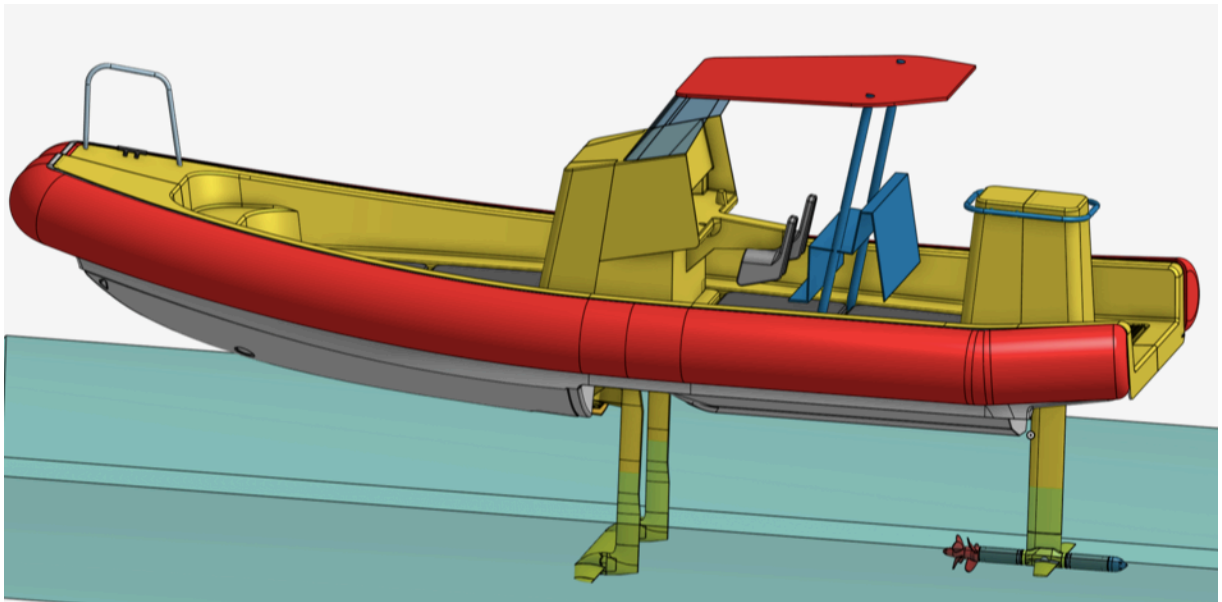
I dagsläget så finns det ingen eldriven räddningsbåt i världen enligt SSRS (Valham, 2021). Båten ELINN är en del av SSRS ambition att minska sina utsläpp av växthusgaser. Det är i dagsläget inte möjligt att påstå att projektet är emissionsfritt då det medför emission att tillverka båten, under drift, för underhåll och vid avveckling. SSRS egen utredning *Målbild av miljövänlig räddningsbåtsprototyp* påvisar att det som har störst påverkan är att minska båtens emissioner under drift (Carlsson & Olsson, 2020)

2 Teoretisk Bakgrund

I det här kapitlet behandlas bakgrunden som är viktig för att förstå projektet och dess teori.

2.1 Båten ELINN

ELINN är en elektrisk räddningsbåt som kommer vara 9 meter lång, se figur 1. ELINN är konstruerad för att köras i planande läge, vilket karakteriseras av att skrovet befinner sig ovanför vattenytan, med endast propeller och undervattens vingar nedsänkta i vattnet. Syftet med planande drift är att reducera vattenmotståndet under drift, och därigenom spara energi och öka båtens räckvidd. Ingen bogsering kommer ske med båten i planande läge, utan hela skrovet kommer vara i vattnet.



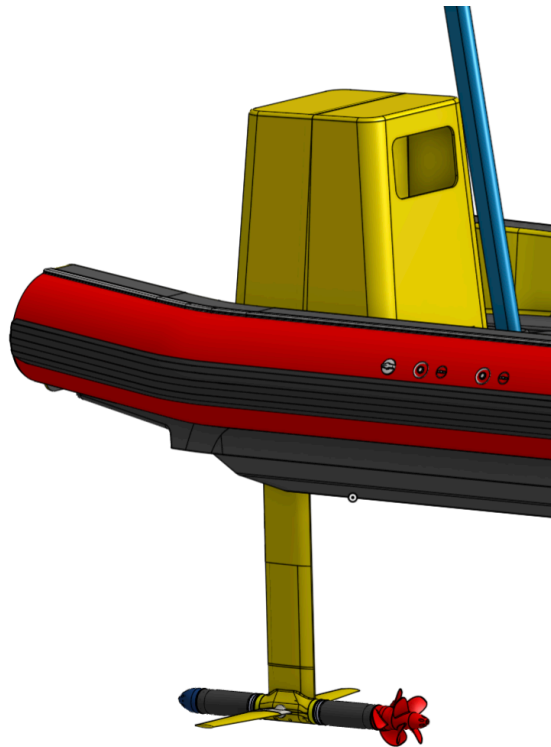
Figur 1: Båten ELINN.

Ett potentiellt problem med elektrisk drift är att det kan begränsa räckvidden vid bogseringsinsatser, särskilt vid långa insatser eller med tung last. Eftersom de bogseranordningar SSRS använder idag inte är optimerade för att minimera massan kan detta projektet bidra till minskade emissioner under drift och ökad räckvidd vid bogseringsinsatser. Det är också av särskild betydelse i planande läge där balans och låg tyngdpunkt är avgörande. Bogseranordningen, som är placerad på en upphöjning, är inte inkluderad vid planering av båtens balans. Detta innebär att det är viktigt att minimera massan för att kunna upprätthålla balans och en låg tyngdpunkt.

Designen på skrovet skiljer sig från en mer klassisk räddningsbåt som inte har planande egenskaper och det tillkommer en konsol placerad en bit in från aktern. Placeringen av konsolen är en konsekvens av att motorn går att höja och sänka. Båten är konstruerad för att mestadels drivas med motorn i det nedre läget, men vid osäkra

bottenförhållanden och grunda vatten kan motorn höjas för att undvika slag eller andra hinder. Även framvingen som är placerad under båten är justerbar i höjdlid av samma anledning som motorn.

Bogseringsanordningens placering begränsas till ovanpå konsolen, se figur 2. Bogseranordningen placeras centrerat, längst fram mot fören på konsolen. Mer detaljerad information om och motivering till placering återfinns i avsnitt 2.2 Manövrerbarhet.

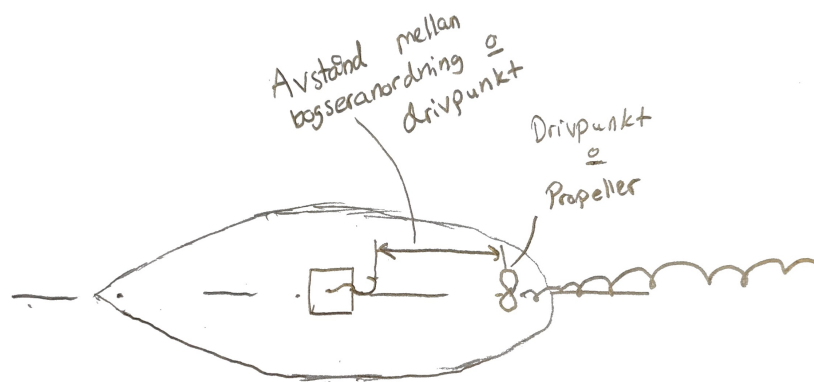


Figur 2: Konsolen som bogseranordningen placeras på.

ELINN är tillverkad för att utföra kustnära insatser. Det är en båt som kommer att utföra alla uppdrag och insatser som SSRS gör. För det här projektet är det endast insatser där bogsering utförs som är intressanta. Dragkraften som ELINN genererar vid bogsering är den kraft som är intressant vid utveckling av bogseranordningen. Den exakta dragkraften kommer att uppmätas med fysiskt prov under 2023. Propellerkonstruktören uppskattar att den kommer vara ungefär 10 kN och kräver en trefaldig säkerhetsfaktor. Det betyder att bogseranordningen ska klara av 30 kN i dragkraft.

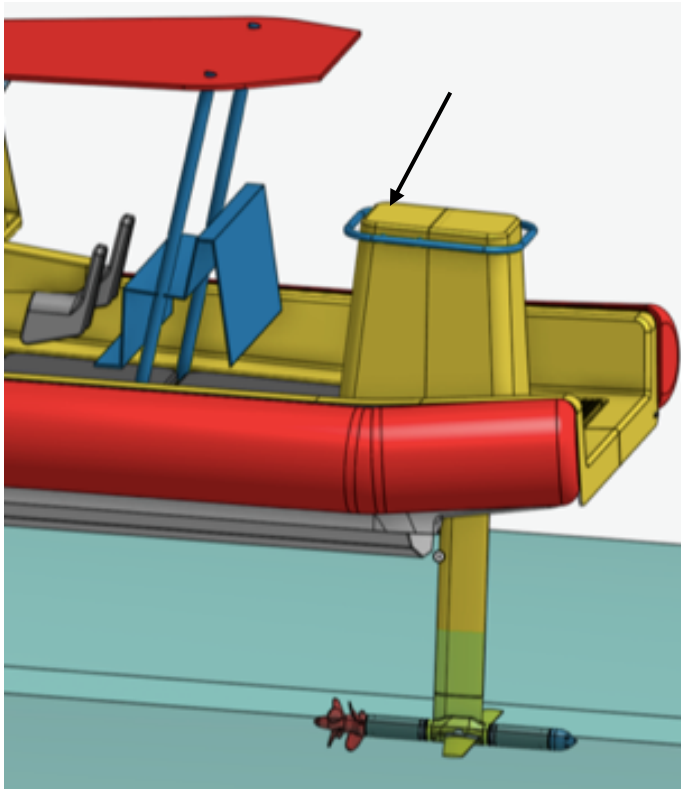
2.2 Manövrerbarhet

På klassiska bogserbåtar är drivpunkten placerad i aktern. Det är den punkt där kraften från båtens framdrivningssystem appliceras på båtens skrov. För att säkerställa en god manövrerbarhet vid bogsering erfordras att bogserlinan fixeras framför drivpunkten. Till skillnad från klassiska bogserbåtar är ELINNs drivpunkt placerad längre fram på akterdäck. Bogserlinan behöver således fixeras framför drivpunkten som illustreras i figur 3.



Figur 3: Lämpligt avstånd mellan drivpunkt och bogseranordning.

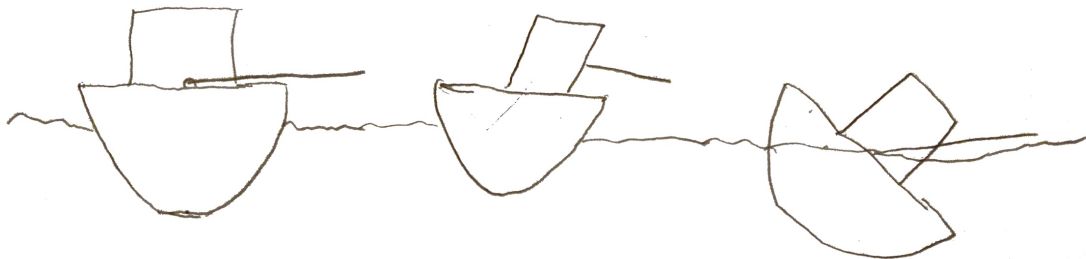
Idealplacering för bogseringsinfästning på ELINN vore direkt akter om fartygets mitt, längs centrumlinjen. Som tidigare nämnt i avsnitt 2.2 Båten ELINN begränsas placeringen av bogseranordningen till att vara på konsolen. Alltså placeras bogseringsinfästningen centrerat, närmast mitten av båten på konsolen, se figur 4.



Figur 4: Ovanpå konsolen närmast fören (vid pilen) ska bogseringsanordningen placeras.

2.3 Slagsida

Slagsida betyder att en båt har en avvikelse från den vertikala linjen längs båtens längdaxel och skapar en lutning. Slagsida kan mätas och uttryckas i grader i förhållande till båtens vattenlinje. Det är viktigt att övervaka och hantera slagsida noggrant, eftersom en alltför stor slagsida kan leda till förlust av stabilitet och potentiellt att båten kapsejsar, se figur 5.



Figur 5: Dragkraften från bogserlinan angriper båten längs dess tväraxel vilket resulterar i ökande slagsida.

Slagsida kan uppstå för ELINN under bogsering om belastningen i bogserlinan inte är direkt bakifrån. I sådana situationer kan båten börja vridas runt sin längdaxel och lutning uppstår. Om det sker kommer belastningen att verka allt mindre längs båtens längdaxel och alltmer längs båtens tväraxel. Konsekvensen av detta blir att båten får allt större slagsida och om inte draglasten upphör kommer båten till slut kapsejsa.

2.4 Haverirapport från SSRS övningstillfälle

En risk som är viktig att minimera är att båten kapsejsar. Det kan göra stor skada på båten, materialet ombord och framförallt är det en stor risk för besättningen. Detta kan hindra viktiga insatser som räddningsbåten ska utföra från att genomföras. Nyligen inträffade en händelse där en räddningsbåt från Sjöräddningssällskapet kapsejsat. Det var en båt i Gunnel Larson-klassen vilket innebär att det går att dra lärdom av denna händelse i arbetet med detta projekt.

Olyckan inträffade 2019 (Goll-Rasmussen, 2020) under en övning som utfördes av sjöräddare vid SSRS station på Smögen. De som genomförde övningen har stor erfarenhet av sjöräddning i allmänhet och aktuell båt i synnerhet. Ett av övningens moment inkluderade ett scenario där räddningsbåten skulle bogsera en annan båt som efterliknade en haverist. Vid denna bogsering skulle en nödutlösning av bogserlinan utföras. Under bogsering initierar haveristbåten en backmanöver och ekipaget börjar driva i motsatt riktning. Nedan är ett utdrag från haverirapporten där fortsatt händelseförlopp beskrivs. Notera att RGL är en förkortning av båtens namn Rescue George Lysell 8–48, som är som utför bogseringen.

”Det tar några sekunder för besättningen på RGL att uppfatta situationen och att ekipaget gör fart genom vatten i fel riktning. Besättningen på RGL bestämmer sig för att lösa ut bogserkroken. Detta misslyckas då belastningen är för stor och man bestämmer sig då för att istället skära av trossen med kniv. I samma stund inser besättningen att akterdäcket vattenfyllts och båten är på väg att gå ner. De två besättningspersonerna väljer att kliva av RGL i samband med att den slår runt åt babord.”

De slutsatser som går att dra och överföra till det här projektet är att det är önskvärt att nödutlösningen av linan går att genomföra oavsett belastning i lina. De slutsatser som dras i rapporten är att det är önskvärt att alla som arbetar ombord är införstådda med vilken kraft som krävs för att nyttja nödutlösningen även vid belastning. Enligt rapporten går förloppet där båten börjar ta in vatten mycket fort, och det är därför önskvärt att besättningen direkt inser faror och åtgärdar dem. Men det är inte realistiskt att förutsätta att sjöräddarna agerar optimalt varje gång. Det är ett krav från uppdragsgivaren att det ska finnas en automatisk nödutlösning och i det här fallet blir det tydligt varför.

2.5 Nödutlösningar

Att kunna nödutlösa bogserlinan är en funktion som är vital för säkerheten vid bogsering för att kunna undvika kapsejsning. På alla SSRS befintliga båtar finns en mekanism för att nödutlösa under bogsering. Denna möjliggör för bogseranordningen att frigöra linan och avbryta bogseringen. Exempel på dess utformning finns beskrivet i avsnitt 3.4 Observationer och studiebesök. Dock har det förekommit fall där nödutlösningen inte fungerat vid hög belastning i bogserlinan, vilket beskrivs i avsnitt 2.4 Haverirapport från SSRS övningstillfälle. Sekundärt finns en kniv ombord på alla räddningsbåtar för att skära av bogserlinan och avbryta bogseringen. Det är inte önskvärt att använda kniven eftersom det medför att bogserlinan skadas och blir oanvändbar för framtida bruk. Det finns även en risk för personskador vid användandet av en kniv. Ett annat problem är att det inte går att garantera att den sekundära nödutlösningen med kniv hinns med innan båten kapsejsar.

Inom ramen för ELINN-projektet planeras det att implementera en annan typ av nödutlösningmekanism. Denna kommer att vara baserad på båtens slagsida och aktiveras automatiskt när slagsidan överskrider en fördefinierad gräns som benämns som den kritiska vinkeln. Den exakta kritiska vinkeln har ännu inte fastställts, men det kommer att bestämmas genom fysiskt test i vatten med båten. Båtens färdigställande och de inledande fysiska testerna är planerade att utföras under hösten 2023. En preliminär uppskattning för denna rapport och projektet en förväntad kritisk vinkel på 30°.

Det eftersträvas, men är inte ett krav, med en manuell nödutlösningmekanism som fungerar liknande befintliga lösningarna som används av SSRS. Anledningen till att en manuell nödutlösning inte är ett krav är att huvudsyftet med den är att förhindra kapsejsning. Om en automatisk nödutlösning säkerställer att kapsejsning inte inträffar, så minskar behovet av en separat manuell nödutlösning.

2.6 Riskanalys

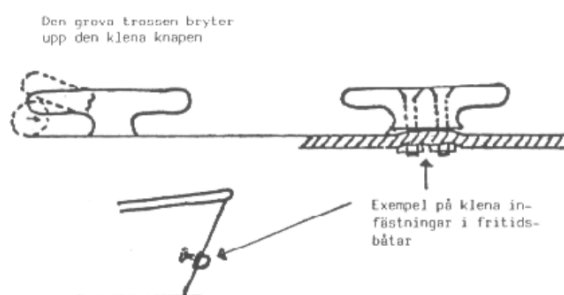
Vid räddningsarbete tillkommer aspekten att arbetsuppgifter ska gå att utföra snabbt och effektivt. Det finns en balans mellan att skydda sjöräddarna från risker och att möjliggöra effektivt räddningsarbete. Kontentan är att det ej är gynnsamt att eliminera alla risker, däremot ska de risker som identifieras utvärderas och minimeras. Inom gränserna för arbetet med bogseranordningen för den här båten är det fyra risker som är i fokus.

2.6.1 Kapsejsning

SSRS har själva identifierat att en automatisk nödutlösning av bogserlinan vid stor slagsida är önskvärt. Det har tidigare, med SSRS befintliga båtar, förekommit olyckor där räddningsbåtar har kapsejsat (Goll-Rasmussen, 2020). För ELINN är risken än större att båten kommer att kapsejsa vid bogsering då fixeringen av bogserlinan ej sker vid däck. Hävarmen som finns på grund av att bogserlinan fixeras ovanpå konsolen resulterar i att lägre krafter krävs för att båten ska kantra jämfört med tidigare båt i Gunnel Larson-klassen. Det gör det än mer relevant för ELINN att ha en automatisk nödutlösning vid stor slagsida.

2.6.2 Risker med bogserlinan

Vid en automatisk nödutlösning, manuell nödutlösning eller släppning riskerar bogserlinan att löpa över däck. Släppning förekommer när bogserlinan eller fästpunkter plötsligt går av mellan räddningsbåt och det bogserade fartyget. Den vanligaste orsaken till släppning är att haveristens fästpunkter släpper, vilket exemplifieras i figur 6. I samtliga scenarier utgör att träffas av en frisläppt belastad bogserlina en betydande fara för sjöräddarna. Dessutom, när det finns en upphöjning på mer än en meter från däck där bogserlinan fixeras, förstärks allvaret i risken för personskador. Eftersom personen skulle träffas över midjehöjd. På SSRS befintliga räddningsbåtar träffar istället linan under midjehöjd. Med befintlig utformning av skrovet och bogseranordningens tilltänkta placering är det enligt SSRS en risk som accepteras.



Figur 6: Exempel på fästpunkter hos haveristen som kan släppa. Från SSRS utbildningsmaterial bogsering2, återgiven med tillstånd.

2.6.3 Klämrisk

Klämrisk är en potentiell fara som identifierats i samband med bogsering. Risken innebär att fingrar och andra kroppsdelar kan klämmas eller krossas mellan två ytor. Klämrisken är som störst vid bogseranordningen där rörliga delar används samt intill bogserlinan under last. Det är av yttersta vikt att vara medveten om klämriskerna och vidta åtgärder för att minimera dem.

2.6.4 Bogserlina fastnar i propeller

På ELINN finns det även en risk att bogserlinan fastnar i propellern. Det kan inträffa både om linan dras ner i vattnet när den inte är spänd eller vid brott av linan och den hamnar i vattnet. En potentiell konsekvens kan vara motorhaveri, vilket är både dyrt och gör båten tillfälligt obrukbar. Ett motorhaveri kan i värsta fall leda till livsfara om det inte går att utföra tilltänkta uppdrag och nödställda inte kan hjälpas.

3 Datainsamling och problemförståelse

I det här kapitlet presenteras införskaffad data och utökad förståelse för problematiken med bogsering för ELINN.

3.1 Samtal med uppdragsgivare

För att klargöra vad SSRS vill få ut av arbetet har det kontinuerligt förts samtal med uppdragsgivaren. Det är viktigt för både projektet och SSRS att resultatet av arbetet går att nyttja på ett bra sätt vid projektets avslut. Därför har det varit viktigt med god kommunikation och återkoppling för att driva projektet framåt.

3.2 Intervjuer

Intervjuer gjordes både med sjöräddare inom SSRS och yrkesmän inom bogsering till sjöss. Samtalen genomfördes på ett semistrukturerat sätt, vilket möjliggjorde för de tillfrågade att styra samtalen i viss mån och verkligen belysa de problem som de känner till. Intervjuformuläret som användes finns som bilaga 1.

3.2.1 Sammanställning av intervjuresultat

Intervjuresultaten presenteras i kronologisk ordning. För att undvika upprepning presenteras endast svar som skiljer från tidigare intervjuer. Detta innebär att svar som återges efter den första intervjun kan ha avgetts senare utan att det anges. Avsnitt 3.2.2 utgör en reflektion över intervjuerna där återkommande svar, betydelsen av insamlad data och dess relevans för projektet diskuteras. Intervjuerna i sin helhet finns bevarade som ljudfiler.

3.2.1.1 Intervju med Marcus Håkansson

Marcus Håkansson är en aktiv sjöräddare som har mycket erfarenhet från SSRS verksamhet. Stationen i Hovås, där han är stationerad, har många insatser under sommarhalvåret vilket har försett honom med all den erfarenhet han har. Nedan sammanfattas det som Marcus Håkansson tyckte var viktigast.

Håkansson uttryckte en tveksamhet till att fixera bogserlinan ovanpå konsolen, ungefär en meter över däck, på det sätt som kommer att krävas. Han tror att det markant ökar risken dels för att båten ska få kraftig slagsida eller kapsejsa och dels för att linan om den löses ut med kraft kommer att löpa fritt och kunna orsaka personskada. Vidare påpekade han att det bör finnas en snabblossningsfunktion vid nödlägen, som bör vara tillgänglig från både styrbord och babord.

I intervjun framkom även fler förslag på sätt att minimera riskerna för personskador under bogsering, bland annat att undvika lösa delar på vilka sjöräddarna kan snubbla och att inte ha krokarna eller annat utstickande som kan orsaka personskada vid eventuella fall. Håkansson påpekade även vikten av god överblick över situationen vid bogsering och att sikten inte skymms. Han uttryckte också att det är önskvärt att kunna

förvara linan på ett sätt som gör att den torkar och att det är bra om det går snabbt att återställa den efter att bogseringen är genomförd.

Avslutningsvis uttryckte Håkansson även att det är viktigt att kunna ha ett stort avstånd mellan havererad och bogserande båt, att bogserlinan ska synas för eventuell tredje båt, att bogseringen helst inte ska vara ryckig och att det ska finnas en god möjlighet att styra den havererade båten.

3.2.1.2 Intervju med Lars Littke

Lars Littke arbetar ideellt som sjöräddare för SSRS, han är stationerad på stationen på Rörö.

Littke tycker det är viktigt att det ska gå enkelt att variera längden på bogserlinan, gärna 5-10 m, 25 m och 50 m. Det är också viktigt att det finns en bra och säker nödutlösning som går att utlösa även vid belastning utan att kräva allt för stor kraft. Littke belyser också riskerna som finns med en för tunn bogserlina. Han vill ha en bogserlina med minsta diameter på 10 mm. Den blir annars svår att hantera och kan leda till ökad risk för personskador. En för tjock lina är inte heller önskvärd då den istället blir svår att hantera. Vid vidare diskussion framkommer också att en bogserlina med viss töjbarhet är önskvärd. Den ger en mindre ryckig bogsering eftersom den kan utjämna en del av den dynamiska belastningen. Däremot kan den leda till skaderisk vid linbrott eller om något lossnar i någon av båtarna.

3.2.1.3 Intervju med Bill Söderberg

Bill Söderberg är verksam på företaget Frog och har varit verksam inom den marina branschen sen 90-talet. Han har mångårig erfarenhet av bogsering till havs. Söderberg är utbildad sjökaptan, han tog sin examen vid Chalmers 1985.

Något som Söderberg pratar om är att det är viktigt att bogserpunkten sitter i båtens centrumlinje. Om bogserpunkten skulle flyttas från centrumlinjen, rimligen för att komma undan problemet med hävarmen (om linan fästs ovanpå konsolen), kommer hävarmen istället i sidled. Vid belastning från sidan är det lättare att båten kapsejsar. Vidare diskuteras även möjligheten att bogsera vid låg hastighet. Söderberg påstår att det finns en möjlig problematik med att bibehålla styrförmågan då båtar som drivs av propeller och inte har tillgång till vattenjet ofta lider av det problemet.

3.2.1.4 Intervju med Daniel Johannesson

Daniel Johannesson arbetar på Svitser som bedriver bogsering till havs. Han utbildade sig till sjökaptan på Chalmers och tog examen 1997. Han har de senaste 12 åren arbetat på Svitser.

Johannesson beskriver hur Svitser arbetar med vinschmotorer som de använder vid bogsering. De håller en konstant belastning i linan och matar ut mer bogserlina om

belastningen är för hög och motsatt drar den in bogserlina om belastningen är för låg. Detta sätt att utföra bogsering skapar god kontroll för de som utför den, men nackdelen är att det är dyra, komplexa lösningar som dessutom är tunga.

Vidare diskuterades bogserlinans påverkan på bogsering. Han förklarade att en bogserlina inte behöver vara töjbar längs hela linan för att motverka ryckig bogsering. Det går att placera ut en kortare del som är töjbar vid ett strategiskt ställe, exempelvis i slutet på linan där den fixeras hos haveristen.

3.2.2 Reflektioner kring intervjuer

Under intervjuerna framkom inga absoluta krav, men flera önskemål identifierades. Önskemålen som konkretiserades med hjälp av intervjuerna är:

- Nödutlösning tillgänglig från skepparposition
- Nödutlösning tillgänglig från styrbord och babord
- Minimera snubbelrisk på däck
- Minimera risken för personskada vid linbrott
- Linans diameter 10–30 millimeter
- Snabb återställning av lina efter bruk
- Justerbar lina i längder om 5, 25 och 50 meters längder

Något som diskuterades i alla intervjuer var risker och problem som kan uppstå om bogserlinan fixeras på konsolen som har en upphöjning på mer än en meter från däck. Fokus var på riskerna som kan medföra att båten kapsejsar, som ska bemästras med hjälp av den automatiska nödutlösningen, och riskerna med frisläppning av linan sker så att den löper fritt. Med Markus Håkansson diskuterades möjligheten att nyttja en hanfot för att kunna fixera bogserlinan vid däck, för att undkomma hävarmen, på båda sidor om konsolen. Idén framfördes och avslogs sedan i diskussioner med SSRS, då de bestämt vill ha bogserlinan fixerad ovanpå konsolen.

I alla intervjuer nämns även bogserlinan. Det är uppenbart att den bogserlina som används har stor påverkan på bogseringen. Projektet är avgränsat från att välja vilken lina som ska nyttjas, då det är något SSRS inte har bestämt än. Att linan har en viss töjbarhet är önskvärt, det leder till en mindre ryckig bogsering och att linan kan absorbera en del av den dynamiska belastningen. Dock medför detta en ökad risk för personskador vid brott av lina eller släppning vid någon av haveristens fästpunkter.

I intervjuerna med både Daniel Johannesson och Bill Söderberg diskuterades svagheter med en båt som drivs av propeller istället för vattenjet. Nämligen att det är svårt att bibehålla god styrförmåga under bogsering. När det potentiella problemet påtalades för SSRS framkom att det båten har två mindre vattenjetar, placerade vid aktern, för att säkerställa manövrerbarheten även vid lägre hastigheter.

Tre av de intervjuade förklarade att de starkt föredrar att ha god uppsyn över bogseringen. Det kan göras genom att kameror återger vad som sker akter om båten eller att båten inte har komponenter som skymmer sikten för kapten.

3.3 Observationer och studiebesök

SSRS har strategiskt placerade stationer runt om i Sverige, i Göteborg är dessa lokaliserade i Hovås och på Rörö. För att få en djupare förståelse för SSRS:s nuvarande bogseringsmetodik genomfördes studiebesök vid dessa stationer. I Hovås genomfördes en övergripande granskning av båtarna. Vid besöket på Rörö gjordes en grundläggande rundvandring ombord på räddningsbåtarna. Under rundvandringen inspekterades båtarnas bogseranordningar och hur de används förklarades ingående. En resa ombord på en av SSRS:s räddningsbåtar genomfördes, även om ingen bogsering ägde rum var det en värdefull erfarenhet som gav en ökad förståelse för sjöräddarnas arbete under uppdrag.

Under studiebesöken framkom två konkreta önskemål:

- Låg kraft för nödutlösning
- Ej påverkas av is

Vid besöket på SSRS-stationen på Rörö genomfördes inspektion av tre tillgängliga båtar. Två av båtarna är större än ELINN, Rescue Märta Collin och Rescue Mercedes Sanne Eliasson, vilka visas i figur 7. De är utrustade för att utföra både stora och mindre räddningsuppdrag och kunna agera som ledningsplattformar vid omfattande insatser.



Figur 7: Rescue Märta Collin och Rescue Mercedes Sanne Eliasson. Foto: SSRS, återgivna med tillstånd.

Utformningen på bogseranordningarna skiljer sig mellan båtarna. Till vänster i figur 8 är en bild på bogserkroken tillhörande Rescue Märta Collin och till höger är bogserkroken tillhörande Rescue Mercedes Sanne Eliasson.



Figur 8: Bogserkrokar på Rescue Märta Collin och Rescue Mercedes Sanne Eliasson.
Foto: Kristoffer Persson

Båda bogseranordningarna fungerar på liknande sätt, de är utformade som klassiska krokar och de är ledade. Att bogseranordningen är ledad görs så den kan vinklas och anpassa sig efter båten de bogserar om den inte ligger i räddningsbåtens förlängda längdaxel, det vill säga rakt akter om räddningsbåtens centrumlinje. Dessutom är båda placerade på akterdäck. På Rescue Märta Collin är den manuella nödutlösningen kopplad till skepparen genom vajern som försvinner in i den svarta gummimynningen. För att genomföra manuell nödutlösning på Rescue Mercedes Sanne Eliasson krävs det att en sjöräddare är ute på akterdäck och drar i det svarta handtaget.

En unik egenskap för bogseranordningen på Rescue Mercedes Sanne Eliasson är att den inte är permanent fixerad på akterdäck. Inför bogsering ska kroken plockas fram, placeras och fixeras. På bilden är kroken redan säkert fixerad. Fördelen med den här lösningen är att en större del av akterdäck blir tillgängligt vid andra uppdrag. Ett framfört klagomål är att det vid kallt väder kan vara frustrerande att behöva avlägsna is och slask från hålet innan bogserkroken kan placeras och fixeras. Detta kan utgöra en tidsmässig och praktisk utmaning under ogynnsamma väderförhållanden. Det påpekades också att nödutlösningen kräver mycket kraft för att utlösa. Ett test genomfördes, vid en obelastad bogserkrok, och det upplevdes tungt.

Den tredje båten som inspekterades var Rescue Birgit Mellgren (RBM), se figur 9. RBM är en båt i Gunnel Larson-klassen, vilket är den båtklass som ELINN är avsedd att ersätta. Således är RBM den båt som är av störst intresse för det projektet. Placeringen av bogserkroken på RBM är i det undre facket vid aktern se figur 9. På RBM används en klassisk bogserkrok. Nödutlösningen är kopplad fram till skepparen genom den svarta

linan som syns i figuren. RBMs bogseranordning är ledad vilket gör att vinkeln på kroken kan anpassas efter båten som bogseras.



Figur 9: Rescue Birgit Mellgren och båtens bogserkrok.
Foto: SSRS och Kristoffer Persson, återgiven med tillstånd.

Utöver de huvudsakliga bogseringskomponenterna finns det även andra delar som används sporadiskt eller vid specifika förhållanden. Det finns till exempel extra linor tillgängliga för användning. Dessutom används ibland betydligt grövre trossar under bogsering, trossen som illustreras i figur 10 används på Rescue Märta Collin. Trossen används både som tyngd för att sänka ner bogserlinan i vattnet och som ryckdämpare under bogseringen. På RBM finns flera bogserlinor med identisk diameter och egenskaper, men i varierande längder, se figur 10.



Figur 10: Bogserutrustning på Rescue Märta Collin och RBM. Foto: Kristoffer Persson

3.3.1 Reflektioner kring studiebesök

Efter studiebesöken drogs två slutsatser som bekräftar tidigare antagna förutsättningar. För det första observerades att det inte har lagts lika stor vikt vid att minimera massan av båten och dess tillhörande utrustning. Samtliga båtar hade utrustning och komponenter som kan komplettera och optimera bogseringsprocessen, men som inte är nödvändiga för att genomföra själva bogseringen. Det är inte önskvärt att utrusta ELINN på samma sätt. Slutligen bekräftades att bogseranordningarna är placerade antingen på eller mycket nära däcknivån.

3.4 Kravspecifikation

De krav och önskemål som produkten ska uppfylla listades i en kravspecifikation, se tabell 1 nedan. Målvärden framtoogs utifrån intervjuer, kundundersökning, studiebesök, standarder och uppdragsgivare. Önskemålen viktas utifrån deras betydelse att uppfyllas på en 1-5-skala med 5 som högst. Kravspecifikationen användes som ett styrdokument under hela projektet för att säkerställa att produkten utvecklades enligt de fastställda kraven och önskemålen.

Tabell 1: Kravspecifikation

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation			
	Projekt	Bogseranordning eldriven räddningsbåt			
Utförare:	Elias Håland Kristoffer Persson	Skapad: 2023-02-15 Modifierad: 2023-05-09			
Kriterier	Målvärde	K/O	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)	
Funktion(er)	Möjliggöra bogsering av annan båt	K	Fysiskt test	Kund	
1. Prestanda					
1.1	Bärighet	> 30 kN	K	Fysiskt test	Bollard pull-prov
1.2	Styrförmåga under bogsering	Maximera avstånd från linfixeringen till pivotpunkt för om	Ö5	CAD	Uppdragsgivare
2. Säkerhet					
2.1	Tillförlitlig och snabb manuell nödutlösning	Repeterbarhet , <3 s	Ö4	Fysiskt test	Uppdragsgivare
2.1.1	Kraft för nödutlösning	<150 N	Ö4	Fysiskt test	Kund
2.1.2	Nödutlösning tillgänglig från	Skepparpostion	Ö3	CAD	Kund
2.1.3	Nödutlösning tillgänglig från	Styrbord och borbord	Ö2	CAD	Kund
2.2	Klämrisk för fingrar och andra kroppsdelar	Minimera	Ö5	Riskbedömning, FMEA	Uppdragsgivare
2.3	Tillåten slagsida innan nödutlösning	Max 30 °, justerbar för fysiskt test	K	Fysiskt test	Uppdragsgivare
2.4	Tillförlitlig nödutlösning slagsida	Repeterbarhet	Ö5	Fysiskt test	Uppdragsgivare
2.5	Snubbelrisk - detaljer på däck	Minimera	Ö2	CAD	Kund
2.6	Personskada vid brott av lina eller tillhörande komponenter	Minimera	Ö4	CAD	Kund
2.7	Lina fastnar i propeller	Förhindra	Ö1	Fysiskt test	Kund
3. Geometri					
3.1	Lämna rum åt upphissad motor	527x418x1200 mm (bxdxh)	K	CAD	Uppdragsgivare
3.2	Bogserannordning placering inom volymen	688x1023x1500 mm (bxdxh)	K	CAD	Uppdragsgivare
3.3	Antal komponenter	Minimera	Ö2	CAD	Uppdragsgivare
3.4	Linans diameter	Tållåten 10 - 30 mm	Ö2	Datablad bogserlina	Kund
4. Underhåll					
4.1	Underhåll och service	Minimera, genomförbart för nyttjare	Ö4	Fysiskt test	Uppdragsgivare
5. Tillverkningskostnad					
5.1	Tillverkningskostnad	<100 000 kr, Pragmatisk hållning	K	Enkel kostnadskalkyl	Uppdragsgivare
6. Massa					
6.1	Massa	<10 kg, Pragmatisk hållning	K	CAD	Uppdragsgivare
7. Material					
7.1	Användningstemperatur	-20° — +80°C	K	Tabelldata	Produktutvecklare
7.2	Korrosionsresistens	Marin miljö, (Ej hindra funktion)	Ö4	Tabelldata	Uppdragsgivare
7.3	UV-resistens	Tåla UV-ljus solen	Ö2	Tabelldata	Uppdragsgivare
7.4	Hållbarhetsaspekt	I enlighet med SSRS dokument - Målbild av miljövänliga räddningsbåtprototyp	Ö5	201222Definitionemissionsfri	Uppdragsgivare
8. Ergonomi och användarvänlighet					
8.1	Snabb återställning och bruk av lina	<2 min	Ö4	Fysiskt test	Kund
8.2	Ergonomisk arbetshöjd	800 — 1400 mm	Ö4	CAD	Arbetsmiljöverket
8.3	Förvara lina	Minimera fukt i lina	Ö2	Fysiskt test	Kund
8.4	Justerbar linlängd	5, 25, 50 m	Ö5	CAD	Kund
8.5	Påverkan av is	Minimera	Ö2	Uppskattnig	Kund
9. Standarder					
9.1	The Rescue Boat Code	Pragmatisk hållning	Ö1	Uppskattnig	Uppdragsgivare
9.2	Båtar – Förankring, förtöjning och bogsering – Förtöjningspunkter (ISO 15084:2003)	Pragmatisk hållning	Ö1	Hållfasthetsberäkning	Uppdragsgivare
10. Livslängd					
10.1	Livslängd	12.5 år	Ö4	Materialegenskaper, Hållfasthetsberäkning	Uppdragsgivare
10.2	Livslängd	25 år	Ö2	Materialegenskaper, Hållfasthetsberäkning	Uppdragsgivare

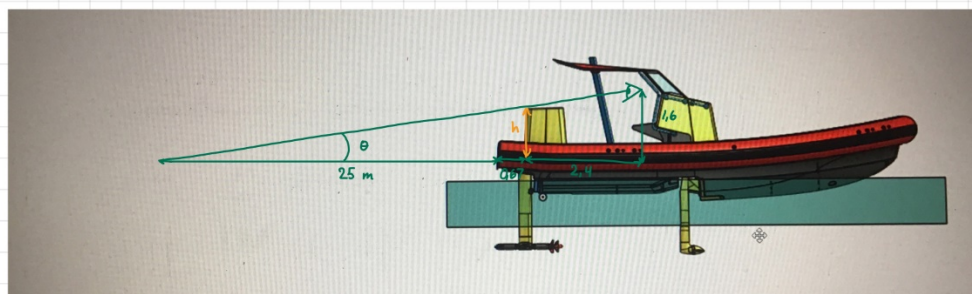
Nedan förtydligas de krav och önskemål vars målvärde kan behöva förtydliganden.

3.4.1 Krav

1.1 *Bärighetens* målvärde baseras på ett uppskattat värde av propellerkonstruktören.

Den uppskattade dragkraften ELINN kan generera vid bogsering är 10kN, utöver den krävs en trefaldig säkerhetsfaktor. För mer information se avsnitt 2.1 Båten ELINN. Vid dragkraftsprov (Bollar Pull-prov) tidigare utfört för Gunnel Larson-klassen har dragkrafter på 8,5 kN genererats, se bilaga 2.

3.2 *Bogseringsanordning placering inom volymen* kravställdes utifrån grov beräkning av sikt bakåt för en genomsnittligt lång kvinna vid skepparposition. En uppsikt över haveristen med en linlängd på 25 m mellan båtarna bedömdes godtagbar. Den genomsnittliga längden för kvinnor i Sverige är 166 cm (Statistikmyndigheten, 2018) En uppskattning för avståndet mellan kvinnans ögon och hennes totallängd bestämdes till 6 cm. Resultatet är att en genomsnittlig kvinnas ögon är 160 cm från marken. Längdmått i figur 11 fastställdes från preliminär CAD-modell av ELINN.



$$\theta = \arctan\left(\frac{1,6}{25+0,67+2,4}\right), \Rightarrow h = \tan(\theta) \cdot (25+0,67) = 1,463 \approx 1,5 \text{ m} //$$

Figur 11: Sikt vid bogsering

Detta resulterande i en maximal höjd, h på konsol tillsammans med bogseringsanordning på 1,5 m från däck. Konsolens bredd och djup tillkom i samverkan med uppdragsgivare där hänsyn togs till framkomlighet på båten.

1.1 *Användningstemperatur* fastställdes från historik över extremtemperaturer för år 2020–2022 (YR, 2023) ELINN planeras vara tillgänglig för uppdrag under årets alla månader och den övre temperaturgränsen baserades på en uppskattning av hur varm bogseranordningen potentiellt blir i direkt solljus.

3.4.2 Önskemål

1.2 Styrförmåga under bogsering bestämdes med hänsyn till avsnitt 2.2

Manövrerbarhet. Fysiskt test kommer att genomföras, dock utanför detta projekt. Vid behov förlängs konsolen, i riktning mot fören, och bogseranordningens fixeringspunkt följer med förlängningen för att öka styrförmågan.

2.1.1 Kraft för nödutlösning tillkom från prövning av befintliga nödutlösningar i SSRS flotta, och det bedömdes vara fördelaktigt att minska kraften för dessa.

Målvärdet uppskattades från detta och säkerställdes med uppdragsgivaren, men justering kan behövas beroende på fysiskt test.

3.4.3 Viktning av önskemål

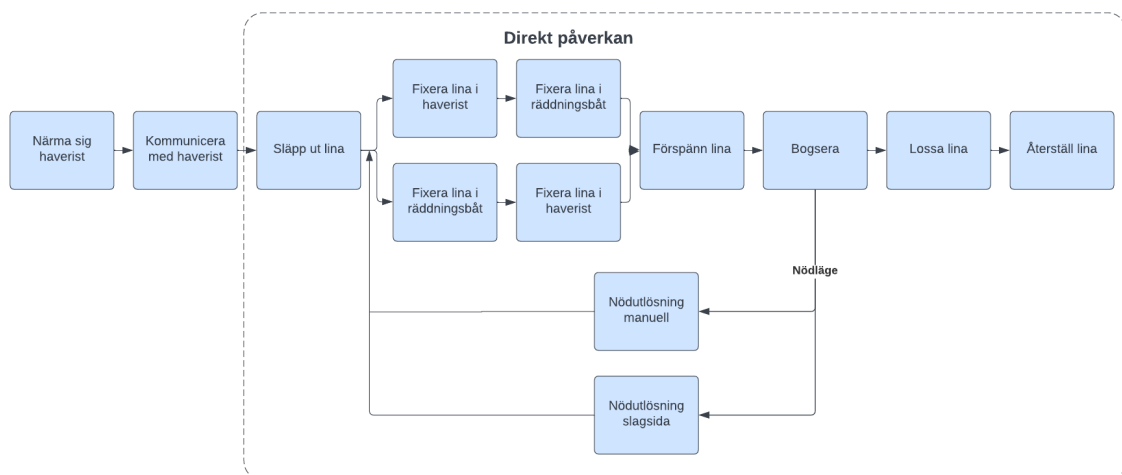
Baserat på intervjuer, observationer och SSRS åsikter har önskemålen vägts utifrån deras betydelse. Tillsammans med uppdragsgivaren granskades viktningen och justerades för att säkerställa samstämmighet. Som stöd användes en Whiteboard med Post-it noteringar för att underlätta denna process, se figur 12 för resulterande viktning.



Figur 12: Viktning av önskemålen i kravspecifikationen.

3.5 Funktionsanalys

En funktionsanalys kan användas för att bryta ner huvudfunktion i mindre delfunktioner. Det kan underlätta att visualisera hur varje funktion hänger ihop och hur de olika delarna samverkar för att utföra huvudfunktionen. För att tydliggöra delfunktioner gjordes ett flödesschema över bogseringsprocessen, se figur 13. Den streckade linjen avgränsar de delfunktioner som projektet direkt kan påverka, medan delfunktionerna utanför denna avgränsning endast kan påverkas indirekt.



Figur 13: Funktionsanalys som förtydligar bogseringsprocessen.

Följande stycke refererar till figur 13. *Kursiv stil* markerar specifika delfunktion i figuren. Stycket är en genomgång av hur en bogsering genomförs av SSRS.

Det inledande steget när SSRS ska bogsera är att *Närma sig haverist* och ta kontakt. I idealfallet kommer räddningsbåten tillräckligt nära vilket möjliggör att *Kommunicera med haverist*. Ofta är det en stressig situation där den som havererat riskerar att begå misstag. SSRS går sakligt igenom processen för bogsering. Efter instruktioner är framförda genomförs *Släpp ut lina* och bogserlinan överförs till den havererade båten. Haveristen behöver själv *Fixera lina i haverist*. Sedan genomförs *Fixera lina i räddningsbåt*. I vilken ordning linan fixeras i båtarna skiljer sig åt beroende på hur bogseranordningen är utformad. Däremot är det viktigt att det är tydligt för sjöräddarna i vilken ordning de ska utföra arbetet för att möjliggöra ett standardiserat arbetssätt. Nästa steg att utföra är *Förspänn lina* genom att med motordrift placera räddningsbåten i ett läge i förhållande till haveristen så att bogserlinan späns. Sedan är allt förberett för att *Bogsera*. I denna fas kan någon av de två nödutlösningarna utföras, dels kan någon i besättningen genomföra en *Nödutlösning manuell*, dels genomförs *Nödutlösningen slagsida* automatisk om slagsidan blir för stor. Om någon av nödutlösningarna aktiveras återvänder besättningen till att fixera linan i räddningsbåt innan bogseringen återupptas. När bogseringen är avklarad ska besättningen *Lossa lina*. Sista delmomentet som utförs är att *Återställa lina* för att båten ska vara redo att återigen initiera bogsering vid behov.

4 Idégenerering och eliminering

I det här kapitlet behandlas idégenerering, konceptgenerering via morfologisk matris, jämförelse av koncepten och eliminering av koncept och idéer.

4.1 Idégenerering

Dellösningarna genererades genom brainstorming, korsbefruktning av dellösningar, inspiration från patentsökning, befintliga lösningar och lösningar inom andra teknikområden. Dokumentering av de olika dellösningar som genererats för varje delfunktion har sammanställts i en digital Whiteboard, vilken finns i bilaga 3.

För att säkerställa ett strukturerat och effektivt arbete användes funktionsanalysen för att bestämma vilka delfunktioner som idégenereringen skulle baseras på. De delfunktioner som utformningen av bogseranordningen direkt kan påverka är:

- Släppa ut lina
- Fixera lina i räddningsbåt
- Nödutlösning manuell
- Nödutlösning slagsida
- Lossa lina
- Återställ lina

Delfunktionerna Släppa ut lina och Återställ lina är reversibla således sammanslås de till en delfunktion. Även Fixera lina i räddningsbåt och Lossa lina är reversibla och slås också samman. Kvarvarande delfunktionerna som idégenereringen baseras på är:

- Släppa ut lina
- Fixera lina i räddningsbåt
- Nödutlösning manuell
- Nödutlösning slagsida

En morfologisk matris ställs upp med delfunktionerna och dellösningarna i programmet Morpheus, se tabell 2.

Tabell 2: Morfeus, en morfologisk matris med delfunktionerna listade till vänster och lösningsförslagen till höger om dem. Notera att med -| |- menas att det fortsatt är nya lösningsförslag på delfunktionen som står ovan.

Morfologisk matris

Sub-Functions	Sub-Solutions				
Släpp ut lina	Fjäder	Vev	Elmotor	För hand	Linutkastare
Fixera trumma	Spärrblock	Låspinne	Trumbroms	Roller brake	Skivbroms
- -	Magnetbroms - fiskerulle	Sandbroms	Elmotor	Spänne	Hulling
Fixera lina	Cam cleat 1	Cam cleat 2	Cam cleat 3	Snörstopp	Spänne
- -	Förtjockad lina 1	Förtjockad 2	Hårklämma	Pollare	Krok
Nödlösning manuell	Splint	Hävstång lyfta upp lina	Kapning av lina	Tilta bogseranordning	Reversibel Fixera lina
Nödlösning slagsida	Ej hindra lina loss i dragriktning	Gravitationsvinkel	Tiltbrytare	Flottör	

Delfunktionen *Fixera i räddningsbåt* har delats upp i delfunktionerna *Fixera lina* och *Fixera trumma*. Dessa utgör således samma funktion och är inte kompatibla. Observera att dessa delfunktioner fortsätter på nästkommande rad i tabellen, detta markeras med ett -| |- . När alla lösningskombinationer med inkompatibla dellösningar exkluderats återstod 1520 lösningskombinationer. För att öka hanterbarheten skapades konceptgrupper. Konceptgrupperna grupperades efter liknande dellösningar eftersom de ger liknande resultat i matriser. I en grupp ingår Cam Cleat 1,2 och 3. En annan grupp består av Snörstopp och Hårklämma, medan en tredje grupp innehåller Förtjockad lina 1 och 2. Dessutom sållades dellösningar som bedömdes markant sämre med avseende på krav och önskemål bort, samt lösningar som ansågs orealistiska.

Dellösningarna Fjäder och Flottör sållades bort på grund av de kräver högre massa än andra lösningsförslag. För hand sållades bort av den anledningen att det är den mest

tidskrävande och ansträngande för sjöräddarna. För hand anses sämre jämfört med delfunktionen Vev som har implementerats på andra fartyg hos SSRS med framgång och anses önskvärd av både kund och uppdragsgivare. Linutkastare elimineras då det bedöms som ett tillbehör och kan möjligen adderas vid behov i efterhand. Kapning av lina anses orealistisk då bogserlinan måste kunna brukas efter en manuell nödutlösning. Idéer kring dellösningen Gravitationsvinkel undersöktes, men dessa ansågs orealistiska då de inte gick att säkerställa en fungerande nödutlösning vid slagsida. Efter sällning kvarstod 30 lösningskombinationer från *Fixera lina* och 36 från *Fixera trumma*.

Lösningskombinationerna *Fixera Trumma* elimineras då en potentiell risk för finns för att nödutlösning ej går att genomföra. Vid dragbelastning på en fixerad trumma riskerar linan att pressas in mellan de inre lagren av lina. Vid en nödutlösning, antingen manuell eller automatisk, finns risken att linan har svårt att löpa fritt och fastnar. Ett tillvägagångssätt för att hantera denna risk är att använda en linspridare som säkerställer att linan fördelas i jämnt lager över trumman. Där Linan är noggrant och stramt fördelad över trumman. Dock finns det inte tillräckligt med tid eller möjlighet att testa 30 kN inom projektet för att genomföra en pålitlig undersökning som kan garantera *Fixera Trummas* funktionalitet och därmed sällas dessa bort.

Av dessa 30 lösningskombinationer sällades kombinationer med utan behov av Tiltbrytare bort. Jämfört med mekaniska lösningar medför Tiltbrytare bristande tillförlitlighet på grund av ärgning i en marin miljö, samtidigt som de ökar komplexiteten och antalet komponenter. Vissa lösningskombinationer hade dellösningar som hade samma betydelse. Till exempel, för delfunktionen nödutlösning manuell fanns både Pollare med Hävstång lyfta upp lina och Reversibel Fixera lina. Detta gällde både Pollare och Förtjockad lina 1 & 2. Kvar blev 10 lösningskombinationer. Flera av lösningskombinationerna hade både Hävstång lyfta upp lina och Tilta bogseranordning. Dessa är snarlika, men genom att jämföra friktionstalet för respektive, metall mot metall eller metall mot nylonlina, kunde det konstateras att kraften för nödutlösning var lägst för Hävstångslösningen. Hävstångslösningen bedöms prestera på samma sätt som Tilta, men att den kräver lägre kraft för att nödutlösa, därför elimineras Tilta. Möjlighet att skifta finns i detaljutformning ifall det bedöms fördelaktigt i detaljkonstruktionen.

Resultatet av idégenereringen blev i slutändan 6 stycken lösningsgrupper, vilka presenteras i tabell 3 nedan. Det finns också enklare skisser på hur lösningsgrupperna fixerar bogserlinan i figur 14.

Tabell 3: Lösningsgrupper med benämning för Lösningsgrupp skrivit längst upp till vänster.

L1						
Delfunktioner	1	2	3	4	5	6
Släpp ut lina	Vev					
Fixera lina	Cam cleat 1, 2 & 3	Snörstopp & Hårklämma	Spänne	För-tjockad lina 1 & 2	Pollare	Krok
Nödutlösning manuell	Bygel	Tilta bogser-anordning	Reversibel Fixera lina			
Nödutlösning slagsida	Ej hindra lina	Tiltbrytare				

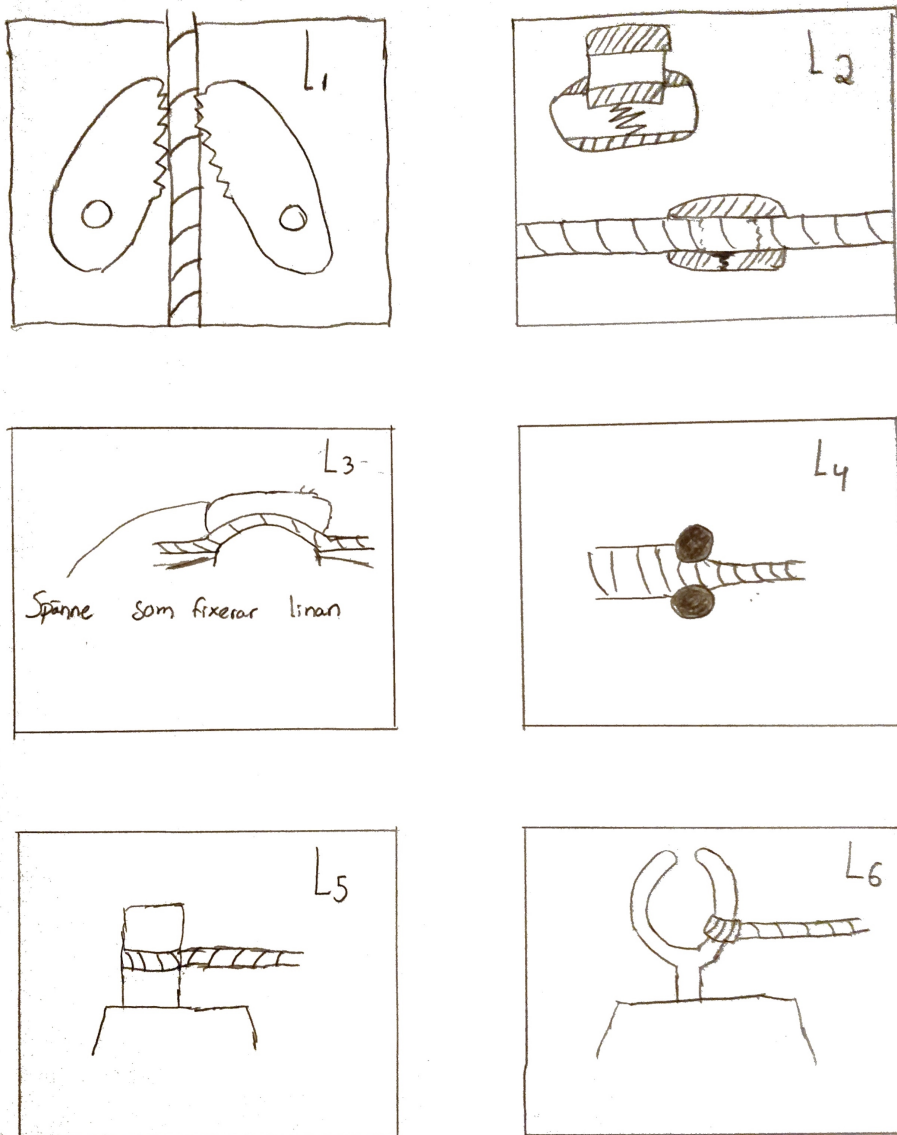
L2						
Delfunktioner	1	2	3	4	5	6
Släpp ut lina	Vev					
Fixera lina	Cam cleat 1, 2 & 3	Snörstopp & Hårklämma	Spänne	För-tjockad lina 1 & 2	Pollare	Krok
Nödutlösning manuell	Bygel	Tilta bogser-anordning	Reversibel Fixera lina			
Nödutlösning slagsida	Ej hindra lina	Tiltbrytare				

L3						
Delfunktioner	1	2	3	4	5	6
Släpp ut lina	Vev					
Fixera lina	Cam cleat 1, 2 & 3	Snörstopp & Hårklämma	Spänne	För-tjockad lina 1 & 2	Pollare	Krok
Nödutlösning manuell	Bygel	Tilta bogser-anordning	Reversibel Fixera lina			
Nödutlösning slagsida	Ej hindra lina	Tiltbrytare				

L4						
Delfunktioner	1	2	3	4	5	6
Släpp ut lina	Vev					
Fixera lina	Cam cleat 1, 2 & 3	Snörstopp & Hårklämma	Spänne	För-tjockad lina 1 & 2	Pollare	Krok
Nödutlösning manuell	Bygel	Tilta bogser-anordning	Reversibel Fixera lina			
Nödutlösning slagsida	Ej hindra lina	Tiltbrytare				

L5						
Delfunktioner	1	2	3	4	5	6
Släpp ut lina	Vev					
Fixera lina	Cam cleat 1, 2 & 3	Snörstopp & Hårklämma	Spänne	För-tjockad lina 1 & 2	Pollare	Krok
Nödutlösning manuell	Bygel	Tilta bogser-anordning	Reversibel Fixera lina			
Nödutlösning slagsida	Ej hindra lina	Tiltbrytare				

L6						
Delfunktioner	1	2	3	4	5	6
Släpp ut lina	Vev					
Fixera lina	Cam cleat 1, 2 & 3	Snörstopp & Hårklämma	Spänne	För-tjockad lina 1 & 2	Pollare	Krok
Nödutlösning manuell	Bygel	Tilta bogser-anordning	Reversibel Fixera lina			
Nödutlösning slagsida	Ej hindra lina	Tiltbrytare				



Figur 14: Enklare skisser på L1-L6

4.2 Eliminering av lösningsgrupper

Konceptgrupperna listades i en elimineringsmatris, nämnda med förkortningarna L1-L6 enligt tabell 3. Genom elimineringsmatrisen upprättas om konceptgrupperna uppfyller de specificerade elimineringskriterier som anges i tabell 4. Konceptgrupper som inte uppfyller samtliga kriterierna elimineras.

Tabell 4: Elimineringsskriterier

Elimineringskriterier
A: Löser huvudproblemet
B: Uppfyller alla krav
C: Realiserbar
D: Inom kostnadsramen
E: Säker och ergonomisk
F: Tillräcklig information finns

Tabell 5: Elimineringssmatris

Elimineringsmatris för: ELINN Bogseranordning								
Utfärdad av: Elias Håland, Kristoffer Persson						Skapad: 17-04-2023		
						+ Ja	Behåll lösning	
						- Nej	- Eliminera lösning	
						? Information saknas	? Sök (mer) information	
						! Kontrollera kravspec.	! Kontrollera kravspec.	
Lösning	Elimineringskriterier						Bedömning	BESLUT:
	A	B	C	D	E	F		
L1	+	?	+	+	+	+	?	Behåll lösning
L2	+	?	+	+	+	+	?	Behåll lösning
L3	+	+	+	+	+	+		Behåll lösning
L4	+	+	+	+	+	+		Behåll lösning
L5	+	+	+	+	+	+		Behåll lösning
L6	+	+	+	+	+	+		Behåll lösning

Elimineringsmatrisen resulterade inte i att något kunde elimineras. Det råder osäkerhet om förslag L1 och L2 kan uppfylla bärighetskravet 30 kN. Detta då befintliga bogseranordningar i dagsläget inte utnyttjar liknande fixering och att 30 kN bedöms hög för denna typ av fixering. Då lösningsgrupperna bedöms som lovande elimineras de inte på grund av osäkerhet kring bärighetskravet. Om dessa fortsatt anses vara konkurrenskraftiga i senare skede av elimineringsprocessen, genomförs beräkningar för att säkerställa att lösningarna uppfyller kravet.

Med pughmatris genomfördes fortsatt utvärdering av koncepten, vilket framgår av tabell 6. Matrisen fungerade som en beslutsmodell för att avgöra vilka koncept som inte uppfyller önskemålen i lika stor utsträckning som de övriga.

Tabell 6: Pughmatrix 1

Chalmers		Pughmatrix viktad: ELINN Borgseranordning					
Utfärdare: Elias Håland, Kristoffer Persson				Skapad: 2023-04-18			
Kriterier	Viktning	Alternativ					
		L1	L2	L3	L4	L5	L6
Tillförlitlig och snabb nödutlösning	4	+	-	-	0	R	0
Tillförlitlig nödutlösning slagsida	5	0	-	-	0	E	-
Antal komponenter	2	-	-	0	0	F	-
Linans diameter	2	-	-	-	0	E	0
Underhåll och service	4	-	-	-	0	R	-
Massa	5	-	-	-	-	E	-
Snabb återställning och bruk av lina	4	+	+	+	+	N	0
Livslängd	4	-	-	-	0	S	0
Nettovärde		-9	-22	-20	-1	0	-16
Rangordning		3	6	5	2	1	4
Beslut		BEHÅLLS	ELIMINERAD	ELIMINERAD	BEHÅLLS	BEHÅLLS	BEHÅLLS

I tabellen representerar varje rad ett alternativ och varje kolumn representerar ett kriterium som besluten sen baseras på. L5 valdes som referenskoncept eftersom det ansågs vara en lovande kandidat, och övriga koncept jämfördes sedan med detta alternativ. De koncept som uppfyller kriteriet bättre än referenskonceptet tilldelas ett additionstecken (+), medan de som uppfyller kriterierna sämre tilldelas ett subtraktionstecken (-). Koncept som är likvärdiga med referenskonceptet tilldelas istället ett nollvärde (0). För varje kriterium multiplicerades (+) och (-) med kriteriets tilldelade viktning, varefter resultaten summerades kolumnvis för varje enskild konceptgrupp. På basis av de framräknade värdena fattas beslut om eliminering av koncept.

Resultatet av pughmatrisen möjliggjorde eliminering av koncepten L2 [Snörstopp & Hårklämma] och L3 [Spänne] då de fick markant sämre resultat än övriga koncept i pughmatrisen. Dessa koncept kunde därför elimineras. För att verifiera att utfallet från pughmatrisen är pålitligt gjordes ytterligare en, se tabell 7. I den valdes L4 som referenskoncept för att se om det blir konvergens.

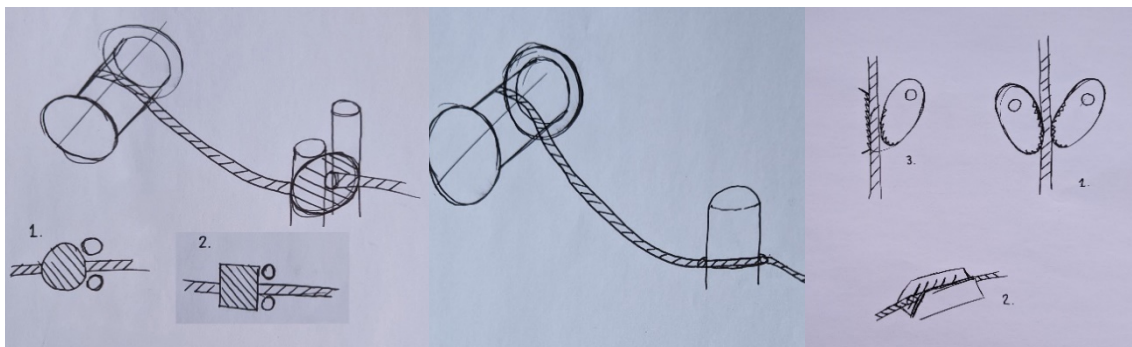
Tabell 7: Pughmatrix 2

Chalmers		Pughmatrix (viktad): ELINN Bogseranordning			
Utfärdare: Elias Håland, Kristoffer Persson		Skapad: 20-04-2023			
Kriterier	Viktning	Alternativ			
		L1	L4	L5	L6
Tillförlitlig och snabb nödutlösning	4	0	R	0	-
Tillförlitlig nödutlösning slagsida	5	0	E	0	-
Antal komponenter	2	-	F	0	-
Linans diameter	2	-	E	0	0
Underhåll och service	4	-	R	0	0
Massa	5	-	E	0	-
Snabb återställning och bruk av lina	4	0	N	-	-
Livslängd	4	-	S	+	0
Nettovärde		-13		0	-20
Rangordning		2	1	1	3
Beslut		BEHÅLLS	BEHÅLLS	BEHÅLLS	ELIMINERAD

Pughmatrix 2 konvergerade och L6 [Krok] kunde elimineras då den presterar markant sämre än övriga alternativ. Lösningssgrupper L1, L4 och L5 tas vidare.

4.3 Kvarvarande koncept

De tre återstående konceptgrupperna är L1, L4 och L5. Skisser av konceptgrupperna illustreras i figur 15. I detta avsnitt presenteras konceptgrupperna principiellt och jämförs för att eliminera de mindre lämpliga alternativen och slutligen identifiera ett koncept att vidareutveckla.

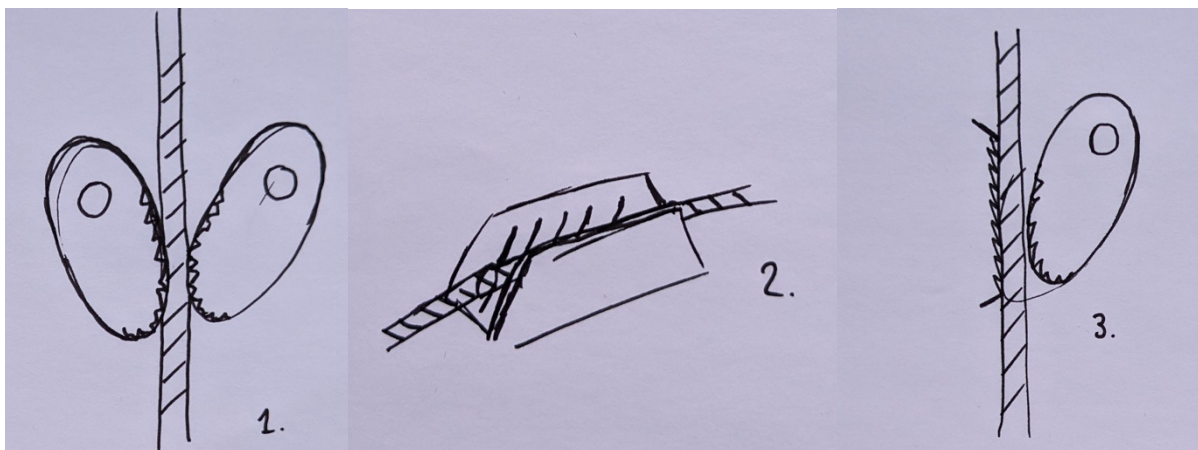


Figur 15: Skisser på L1, L4 och L5.

Gemensamt för konceptgrupperna är att en trumma används för förvaring av bogserlinan. Trumman är utrustad med en vev som möjliggör både utsläpp och inmatning av linan. Linan fästs i trumman med en försvagning som förhindrar att linan oavsiktligt lossas från trumman, men vid hög belastning släpper. Från trumman löper

bogserlinan upp ovanpå konsolen där den fixeras i någon av de tre återstående koncepten.

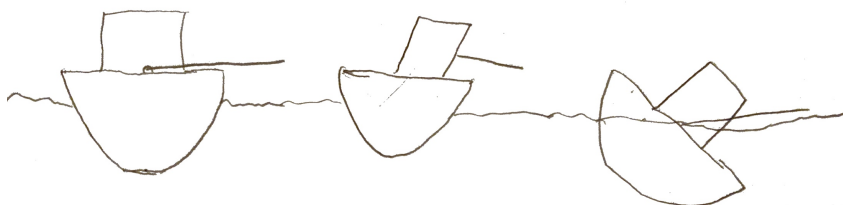
4.3.1 Cam Cleats – L1



Figur 16: Cam Cleats lösningalternativ 1, 2 och 3.

I Cam Cleat-gruppen finns tre alternativa lösningar, som illustreras i figur 16. Cam Cleat 1 och 3 är likartade. Vid införande av linan från ena hållet öppnas kammarna och möjliggör därigenom rörelse för linan genom Cam Cleatsen. Detta görs för att placera linan i Cam Cleaten och för att justera linlängden. Vid dragkraft i lina från motsatt håll, på ELINN blir det dragkraft riktad akterut, pressas kammarna med linan emellan mot varandra och kammarna självhämmar med en klämkraft och tänderna fixerar bogserlinan. I alternativ 2 matas linan in ovanifrån och tänderna hindrar linans rörelse vid dragkraft från haverist. Frisläppning av linan under belastning uppnås genom att linan dras i vertikal riktning där linan löper lätt för alla tre lösningalternativ.

Vid automatisk och manuell nödutlösning utnyttjas att linan löper lätt i vertikal riktning till däck. Vid slagsida roterar båten runt dess längdaxel beskrivet i 2.4 Slagsida, se figur 17. Vid stor slagsida riktas dragkraften från bogserlina nästintill vertikalt mot däck, vilket möjliggör att linan frigörs.



Figur 17: Dragkraften i bogserlinan vid kraftig slagsida.

Manuell nödutlösning utgörs av att applicera en lodrät kraft på linan under belastning, vilket avlägsnar linan från sitt fixerade läge.

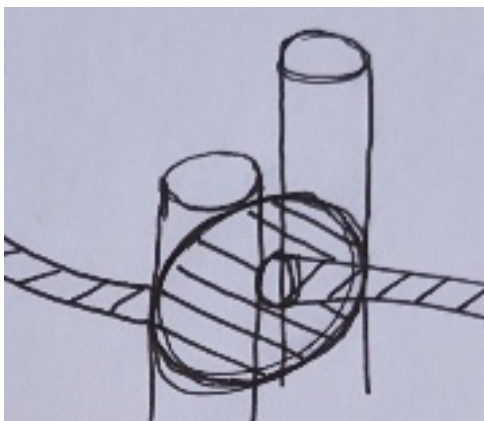
4.3.1.1 Urval konceptgrupp Cam Cleats

En potentiell utmaning med Cam Cleat 2 är att det kan vara svårt att uppnå bärighetskravet. Till skillnad från de andra två alternativen saknar den självhämmande egenskaper. För att säkerställa att linan klarar en dragkraft på 30 kN krävs presspassning mellan linan och spåret där den fästs. Detta medför att en betydande kraft behövs för att fästa linan i bogseranordningen, vilket förväntas vara mer än vad som kan hanteras med vanlig handkraft. Detta är en nackdel som inte återfinns hos de andra två alternativen, därför beslutas att Cam Cleat 2 inte fortsätter utvecklas.

En skillnad mellan alternativ 1 och 3 är att alternativ 3 inte är symmetrisk. Dragbelastningarna som bogseranordningen utsätts för kommer inte alltid komma rakt bakom räddningsbåten. Det är önskvärt att bogseranordningen kan hantera olika belastningsfallen på liknande sätt, vilket alternativ 3 inte klarar av på grund av sin asymmetri. Därför bedöms alternativ 1 som ett fördelaktigt alternativ och tas därför vidare.

4.3.2 Förtjockad lina – L4

Förtjockad lina har två kvarvarande förslag i lösningsgruppen, båda fungerar på ett likande sätt. Två cylindriska axlar fixeras bredvid varandra. Avståndet mellan axlarna är anpassat så att bogserlinan löper fritt mellan dem, se figur 18. Linan har en eller flera ställen med förtjockningar. När bogserlinan placeras mellan axlarna löper linan fritt fram tills den grövre delen av linan når axlarna. Den ökade diametern gör att bogserlinans dragkraft pressar förtjockningen mot axlarna och bogserlinan fixeras.

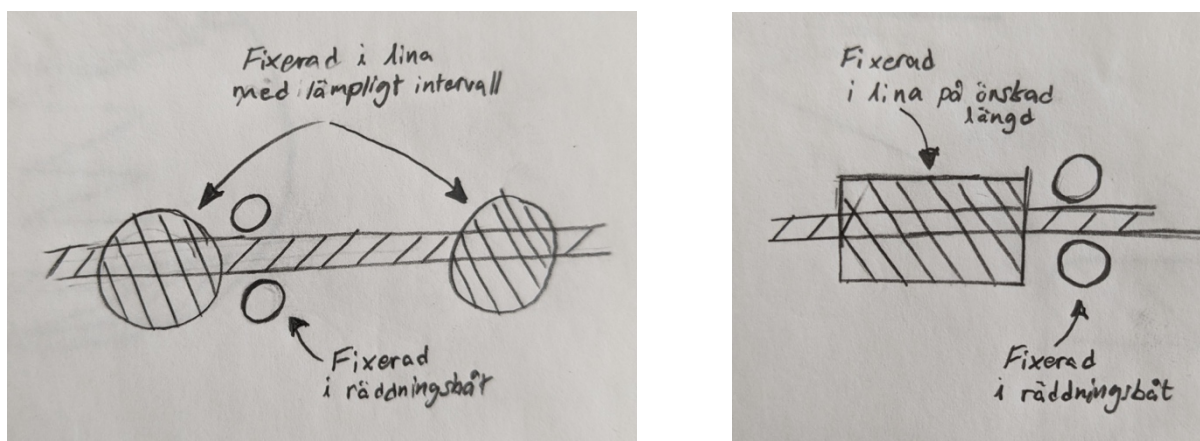


Figur 18: Skiss på hur bogserlinan fixeras för L4

Automatisk och manuell nödutlösning utnyttjar att linan inte är hindrad i vertikal riktning till däck. Principen är densamma som för L1 Cam Cleats.

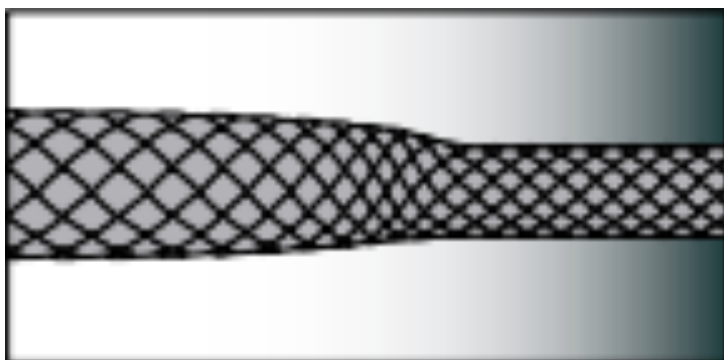
4.3.2.2 Urval konceptgrupp förtjockad lina

Skillnaden mellan lösningsförslagen för L4 illustreras i figur 19. Förtjockad lina 1 kräver en bogserlina med förtjockningar utplacerade på förutbestämda ställen. Förtjockad lina 2 har en förtjockning som kan lossas och låsas längs med linan. Skillnaden vid användning är att vid alternativ 1 krävs en anpassning utefter förutbestämda längder där linan kan fixeras. Vid alternativ 2 väljs en valfri placering av förtjockningen och en låsning av förtjockningen sker manuellt.



Figur 19: Skisser på förtjockad lina 1 och förtjockad lina 2

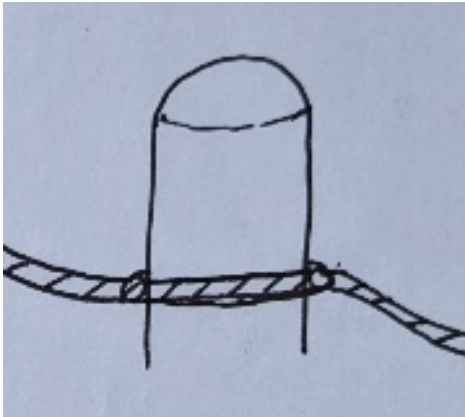
Den flexibilitet som finns med alternativ 1 uppfyller önskemålet med justerbar linlängd. Därför bedöms flexibiliteten som fullgod, därmed ses inte den något större flexibilitet som alternativ 2 erbjuder värdeskapande. Det råder också en osäkerhet om greppstyrkan som krävs för den flyttbara förtjockningen i alternativ 2 är möjlig. Delen som låser runt linan behöver klara av en kraft på 30kN utan att börja glida eller skada bogserlinan. Däremot erbjuder Liros bogserlinor med förtjockningar som kan användas i alternativ 1, se figur 20. Förtjockad lina 1 bedöms som mindre tidskrävande och ett säkrare alternativ. Därför avslutas arbetet med förtjockad lina 2.



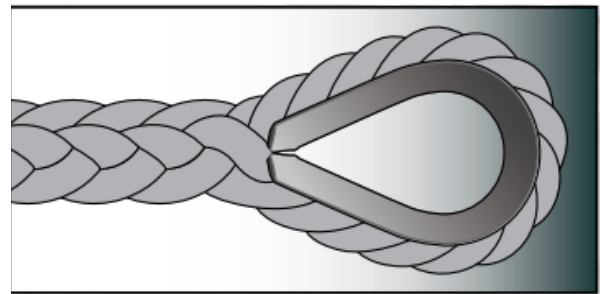
Figur 20: Illustration av hur Liros erbjuder förtjockningar på bogserlinor. Från Liros produktkatalog, återgiven med tillstånd.

4.3.3 Pollare – L5

Pollare är ett lösningsförslag som kommer bestå av en axel där bogserlinan fäst med en ögla. Öglor ska finnas utplacerade på strategiska ställen längs med bogserlinan, en illustration av pollaren återfinns i figur 22. Olika lösningar på hur bogserlinan ska vara utformad är möjliga, om öglan ser ut som i figur 21 är det möjligt att fästa en länk i öglan för att förlänga bogserlinan. När öglan är placerad runt pollaren och bogsering inleds kommer dragkraften i bogserlinan fixera öglan mot pollaren.



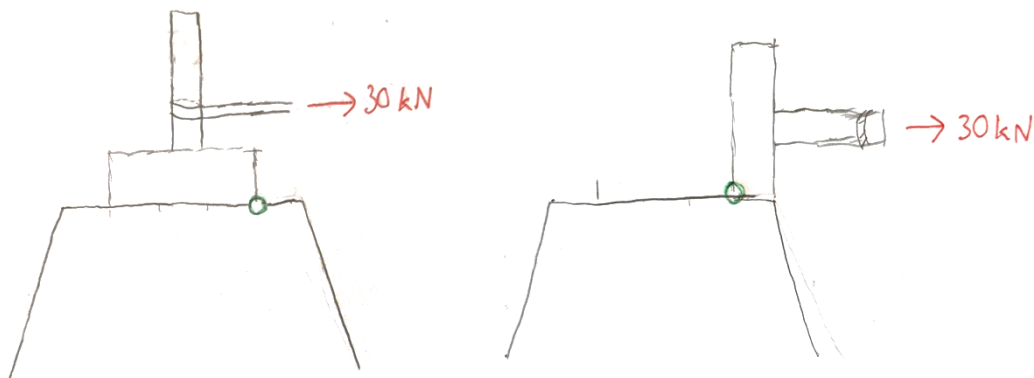
Figur 22: Pollare med fixerad bogserlina



Figur 21: Exempel på hur öglan för L5 kan vara utformad. Från Liros produktkatalog, återgiven med tillstånd.

Automatisk nödutlösning utnyttjar att linan inte är hindrad i vertikal riktning till däck. Samma princip gäller för L1 och L4.

För att möjliggöra manuell nödutlösning fixeras Pollaren på en distans. Distansen är ledad i framkant för att möjliggöra rotation, se figur 23. Leden kommer vara låst med en splint. För att genomföra manuell nödutlösningen lossas splinten vilket gör att kraften i bogserlinan kommer få plattan att rotera 90° och bogserlinan lossas då den inte längre är hindrad.

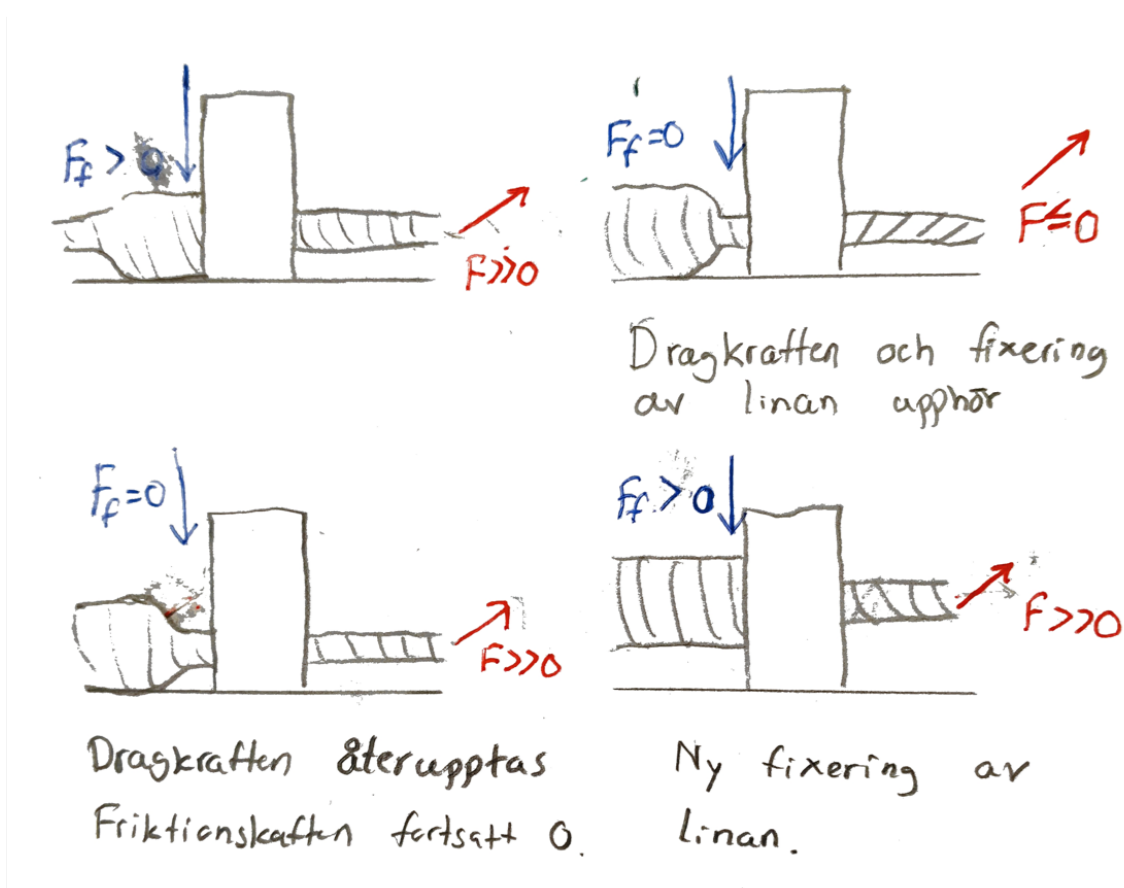


Figur 23: Manuell nödutlösning för pollaren i stängt läge till vänster och öppet läge till höger.

4.4 Ställ koncept emot varandra

För att kunna välja ett slutgiltigt koncept ställs de olika alternativen mot varandra. De potentiella utmaningar med koncepten presenteras och diskuteras inför det slutgiltiga konceptvalet.

En utmaning med både L4 och L5 är att linan kan vandra, det vill säga glida uppåt längs bogseranordningen på ett oönskat sätt. För att bogserlinan ska vara fixerad mot axlarna krävs det att det finns en dragkraft i bogserlinan. När den kraften är i angrepp finns det ett motstånd i form av friktionskraft som håller linan på plats även om en liten del av dragkraften riktas uppåt. På grund av de dynamiska omständigheterna till sjöss varierar dragkraften i bogserlinan. Om dragkraftsbelastningen i bogserlinan för en kort stund upphör och sedan tilltar med en dragkraft som delvis är uppåtriktad finns det inget friktionsmotstånd alls, se figur 24. I figuren är det en förtjockad bogserlina som fixeras av dragkraften. När den sen avtar finns det ingen friktionskraft som motstånd när den återigen belastas med en dragkraft som delvis är riktad uppåt. Det slutar med att vandring uppstår och bogserlinan fixeras i ett nytt läge.



Figur 24: Bogserlina vandrar uppåt vid av- och påtagande kraft.

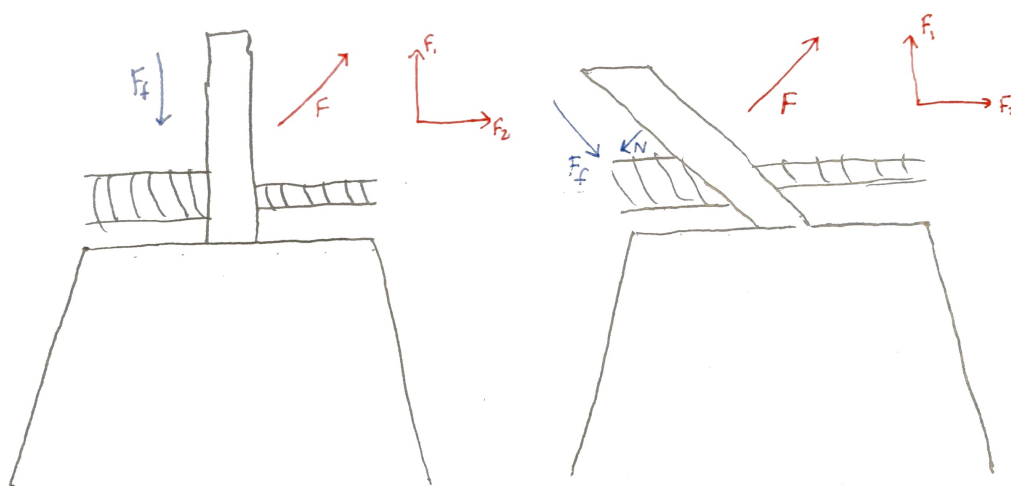
Vandring kan även ske vid kontinuerlig dragbelastning, om delar av dragkraften i bogserlinan är riktad uppåt. Det som sker är att dragkraften från bogserlinan i vertikal riktning övervinner friktionskraften och bogserlinan börjar vandra uppåt. Exempelvis om fästpunkten på haveristens fästpunkt är högre än räddningsbåtens fästpunkt med bogserlinan i sträckt läge eller vid ojämn sjögång, se figur 25.



Figur 25: Två exempel där dragkraften i bogserlinan delvis riktas uppåt.

Ett annat problem med att bogserlinan inte är kontinuerligt fixerad är klämriskens ökar. Vid av- och påtagande belastning i linan finns det en återkommande risk att klämma fingrar eller andra kroppsdelar.

För att motverka vandring kan en mekanism som applicerar nedåtriktad kraft på bogserlinan användas. Det är dock viktigt att denna mekanism ej hindrar möjligheten till nödutlösning. Det innebär att fixeringen måste frigöras vid båda typerna av nödutlösning. En annan potentiell lösning kan vara att öka friktionstalet, det går att påverka friktionstalet genom materialval. En tredje potentiell möjlighet är att vinkla axeln för L4 och L5 mot fören, se figur 26 För att motverka vandring måste friktionskraften vara lika stor som den vertikala kraftkomponenten från dragkraften i linan. Om bogseranordningen lutar mot fören kommer det krävas en större vertikal kraftkomponent för att bogserlinan ska börja vandra uppåt. Anledningen är att det nu är både friktionskraft och en normalkraft som måste övervinnas. Det är viktigt att utförliga fysiska tester för att se att möjligheten till nödutlösning bibehålls vid en sådan justering.



Figur 26: En skiss på hur eventuell vinkling av bogserlina kan utformas.

Att L4 och L5 kräver specialtillverkade bogserlinor skulle kunna innebära ett problem. Via kommunikation med Emil Alnebeck, *Business Developer* och *Key Account Manager* på Liros, finns goda möjligheter att tillverka bogserlinor som möter de krav som skulle krävas för att kunna bogsera i båda fallen. Därav bedöms risken för problematik med specialtillverkade bogserlinor som minimal.

Vid utformning av L1 finns osäkerhet om den klarar kravet på bärighet. Samtal och diskussioner kring hur beräkningar kring detta kan utföras har förts med Kjell Melkersson, tekniklektor i produktutveckling. Dessutom har möjligheten att göra simuleringar undersökts och testats med stöd av Jim Brouzoulis, lektor i mekanik och maritima vetenskaper. Båda lektorerna är verksamma vid Chalmers tekniska högskola. Ingen av metoderna gick att genomföra inom projektet. Med de dynamiska förutsättningarna som uppstår till sjöss blir belastningarna bogseranordningen utsätts för varierande, det resulterar i att beräkningar och simuleringar är för komplexa och för tidskrävande för att de ska kunna genomföras inom projektets tidsram. Det finns också svårigheter i att förutspå hur linan kommer att påverkas vid kraftig deformation. För att undersöka och påvisa hur bogserlinor kan komma påverkas av den självhämmande kraften införskaffades en mindre Cam cleat. Modellen RF5400R tillverkad av Ronstan. Den klarar 75 kg i arbetsbelastning, 150 kg i brottlast och kan hantera linor med diameter på 2-8 mm. För att visualisera deformationen av bogserlinan och den självhämmande kraften användes ett snöre med diameter 4 mm som substitut för bogserlinan, se figur 27. När Cam Cleats självhämmande pressas käftarna ihop och utsätter linan för en klämkraft. Det finns farhågor kring hur bogserlinan kommer påverkas, dels kan den klippas eller ta skada om deformationen blir för stor då kraften som tänderna genererar som punktbelastningar blir för hög, dels kan den nötas om slirning skulle uppstå och linan börjar makrogliða.



Figur 27: Bilden påvisar hur Cam Cleats självhämmar och deformerar linor
Foto: Kristoffer Persson

Två potentiella åtgärder för att motverka eventuell nötning av bogserlinan för L1 har identifierats. Den ena åtgärden är att valet av geometrin som verkar med kraft på linan kan justeras. Att öka ytan som fixerar linan resulterar i att klämkraften fördelas på en större yta och att den maximala punktbelastningen minskar. Det går även att anpassa geometrin på tänderna på L1 så att slitaget minskar. Bogserlinans egenskaper påverkar också hur mycket den slits. Huvudfaktorerna som orsakar att linan nöts är flätning, material och diameter. Det krävs en bogserlina med egenskaper som motverkar nötning och tål deformationen från tändernas ingrepp.

Slutsatsen har dragits att problemen med L4 och L5 gör dem för opålitliga. Anledningen är L4 och L5s problem med vandring och risken för att bogsering avbryts för att bogseranordningen inte klarar av att hålla bogserlinan fixerad. Det riskerar att göra bogseranordningen opålitlig och risken finns att SSRS inte kan utföra sina uppdrag. Om L1 klarar av bärighetskravet har den betydligt färre brister och risker än L4 och L5. Vid diskussioner med SSRS har det framkommit att de också ser nackdelar med L4 och L5 och föredrar att arbetet fokuseras på detaljarbete med Cam Cleats-konceptet.

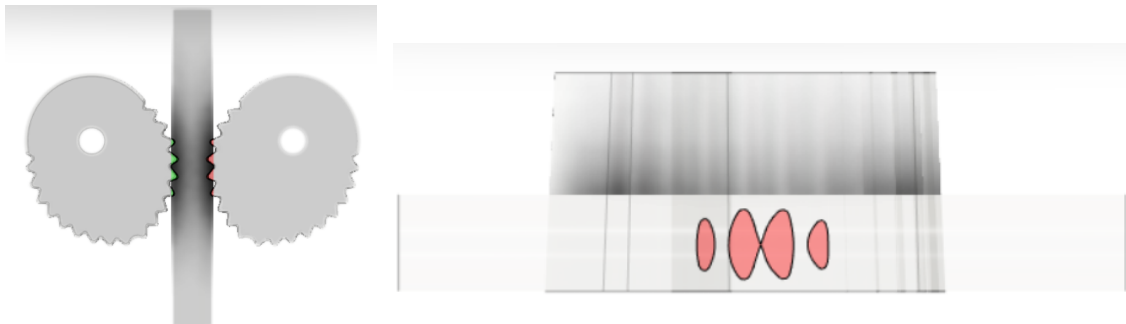
5 Resultat

I det här kapitlet presenteras det slutgiltiga konceptet Cam Cleats mer ingående.

5.1 Cam Cleat bärighet

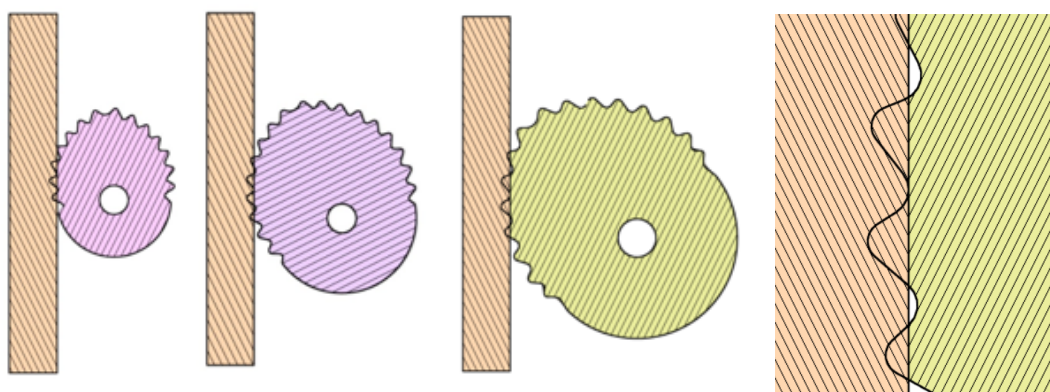
Simuleringar och beräkningar visade sig vara för tidskrävande och komplext för detta projekt, vilket ledde till att en alternativ metod behövde tillämpas för att uppskatta bärigheten. Genom att ställa upp en modell som tar hänsyn till sambandet mellan en geometrisk egenskap och bärigheten hos befintliga Cam Cleats kan samband identifieras och modellen kan extrapoleras för att förutsäga bärigheten bortom befintliga Cam Cleats.

Sambandet som ansågs vara av högst relevans är ingreppet mellan linan och Cam Cleatsen och dess bärighet. Ingreppet i verkligheten är komplext och svårt att mäta med tillräcklig noggrannhet. Linans material har en betydande påverkan på ingreppet och desto mer dragbelastning som appliceras på linan, desto mer ingrepp sker med linan på grund av Cam Cleatsens självhämmande egenskap. För att hantera denna komplexitet och att linan inte är vald gjordens en förenklad modell för ingreppet. Den förenklade ingreppet förutser att linan är homogen, solid och att systemet betraktas som ett statiskt fall, se figur 28 nedan.



Figur 28: illustrerar Cam Cleats och dess volymkontakt.

Områdena markerade i figuren representerar den volymkontakt mellan lina och Cam Cleats som mättes. Cam Cleatsen som tagits i beaktade är Ronstans modeller RF5000, RF5010 och RF5020 (Ronstan, 2023). Dessa modellerades i CAD och volymkontakten mättes på vardera modell. Volymkontakten mellan linan och Cam Cleatsen ansattes så att linan anligger den första dalen på taggarna genom rotation av kammen, enligt figur 29 nedan.



Figur 29: Volymkontakten för de tre olika storlekarna på Ronstans Cam Cleats.

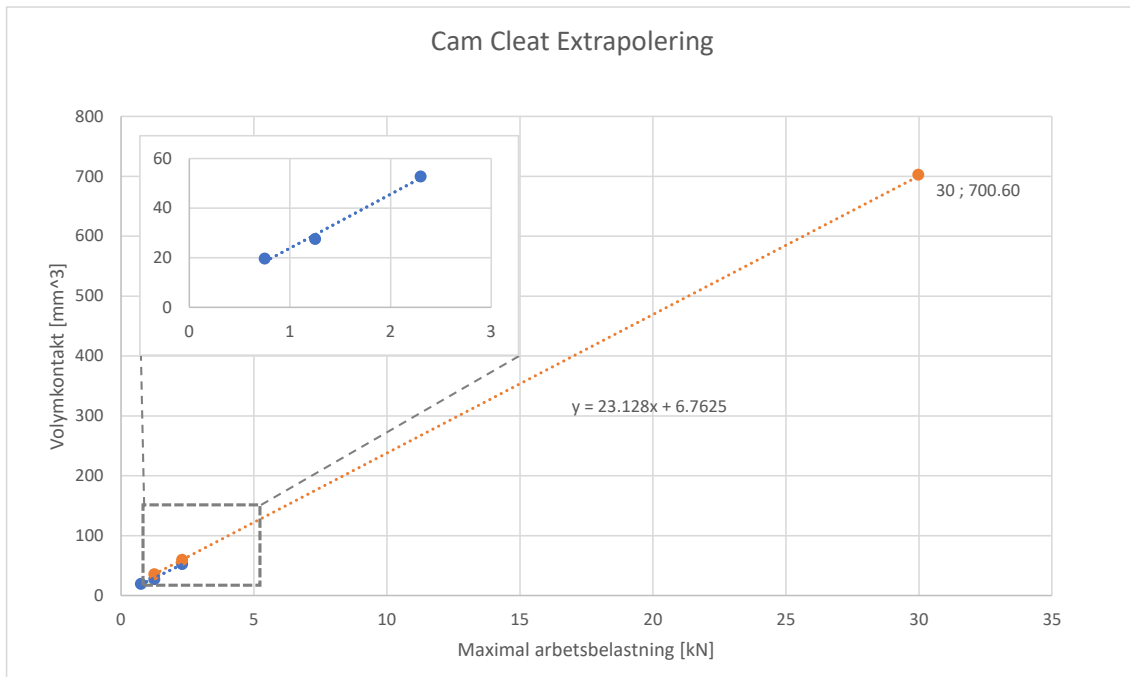
Volymkontakten mättes för linor med en diameter på 8 mm och 10 mm. Resultatet presenteras i följande tabell 8.

Tabell 8: Samband mellan volymkontakt och Cam Cleatsens maximal arbetsbelastning.

Diameter 8		Diameter 10	
Maximal arbetsbelastning [kN]	Volymkontakt [mm ³]	Maximal arbetsbelastning [kN]	Volymkontakt [mm ³]
0.75	19.678		
1.25	27.548	1.25	35.672
2.3	52.746	2.3	59.956

Maximal arbetsbelastning är data hämtad från Ronstans produktkatalog, och tabellen är ordnad från minsta till största Cam Cleat-modell. Den lilla, mellanstora och stora Cam Cleaten klarar av en lina med 8 mm diameter, medan endast mellanstora och stora klarade 10 mm lina.

I figur 30 presenteras en graf som visualiserar sambandet mellan Volymkontakt och Maximal arbetsbelastning. Datapunkterna som återges i grafen är värden från tabell 8.



Figur 30: Extrapolering av krävd volymkontakt för Cam Cleats.

Blå graf representerar Cam Cleats tillsammans med en lina vars diameter är 8 mm, den orange grafen motsvarar användningen av en lina med en diameter på 10 mm. Den blåa grafen påvisar ett linjärt samband mellan volymkontakt och maximal arbetsbelastning. På grund av få datapunkter antas även den orange grafen ha en linjär korrelation. Således extrapoleras grafen linjärt för den med 10 mm lina, vilket resulterade i att Volymkontakten som behövs är 700 mm³ för att klara Brottgränsen 30 kN.

Det råder osäkerhet kring hur exakt resultatet blir i förhållande till verkligheten. Denna osäkerhet är delvis på grund av de få antalen tillgängliga datapunkter, vilket försvårar att identifiera en korrekt trend och gör resultaten känsliga för slumpmässiga variationer. Dock är den största osäkerheten att extrapoleringen görs långt ifrån dessa kända datapunkter, vilket ökar en felmarginal avsevärt. Resultatet bör beaktas som preliminär uppskattning och för att observera hur Cam Cleatsen beter sig vid dessa laster är det lämpligt att utföra fysiska tester av en prototyp eller genomföra simulering med detta resultat. Genom att utföra sådana tester och simuleringar kan nya datapunkter genereras och användas för att bidra till en minskad osäkerhet. Det kan därefter användas vid utveckling av en prototyp.

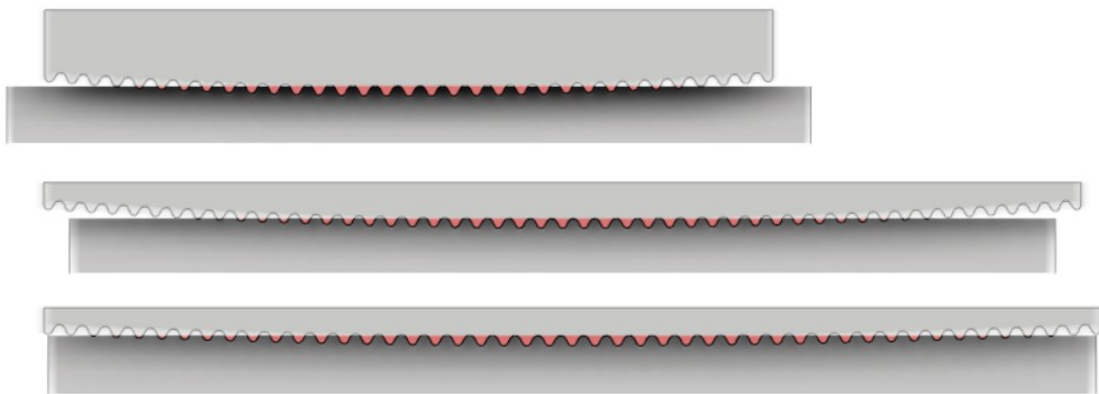
5.2 Volymkontakt

I försök att åstadkomma volymkontakten 700 mm³ genomförs en iterativ process av skalning av Ronstans kam-geometri, med syfte att bevara så mycket av de geometriska egenskaperna som möjligt. Tandprofilen följer inte denna uppskalning, eftersom linans

diameter bibehålls likt stora Cam Cleatsen. Detta undviker oönskat stor deformation av linan, vilket kan resultera i en minskad livslängd för linan.

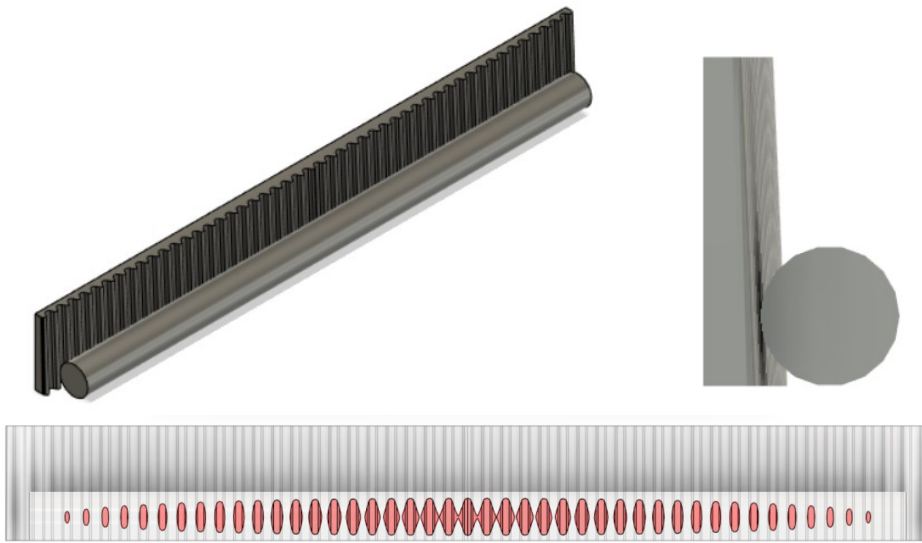
Geometrin förstörades med en faktor på 2, 7 och 9, varav förstörningsfaktor 9 gav en volymkontakt för en kam på 108 mm^3 . Detta för en kam med längden 400 mm och bredden 333 mm. På grund av platsbegränsningen på konsolen ansågs det inte vara meningsfullt att fortsätta med geometrin. Insikter med geometrin är att den är utformad för att tillhandahålla en bred variation av olika linor med olika diametrar. Dessutom är kammarna symmetriskt utformade för att undvika behovet av att tillverka två olika varianter. På grund av att det inte finns behov av att tillverka stora serier, samt att kostnad inte har en lika hög prioritet och behovet av en variation av linans diameter inte finns, frångår utveckling av den nya Cam Cleaten denna geometri.

Viktigt att bibehålla med nya konstruktionen är Cam Cleatsens självhämmande egenskap och även tandprofilen. Iterativt utforskas volymkontakten för olika cirkelradier med samma tandprofil.



Figur 31: Volymkontakt för olika radier, R800, R1300 och R2000

Volymkontakten för cirkelradien 800, 1300 och 2000 mm mättes upp till 220, 279 respektive 356 mm^3 . Med dubbla kammar i ingrepp klarar R2000 maximala arbetsbelastningen 30 kN. Dock konstrueras kammarna med släppning för att möjliggöra enkel frisläppning vid nödutlösning. Släppningsvinkeln är 2.5 grader och följer Ronstans Cam Cleat standard. Den nya cirkelradien blir 2100 mm, vilket resulterar i en total volymkontakt på 702 mm^3 och att maximal arbetsbelastning, 30 kN klaras.



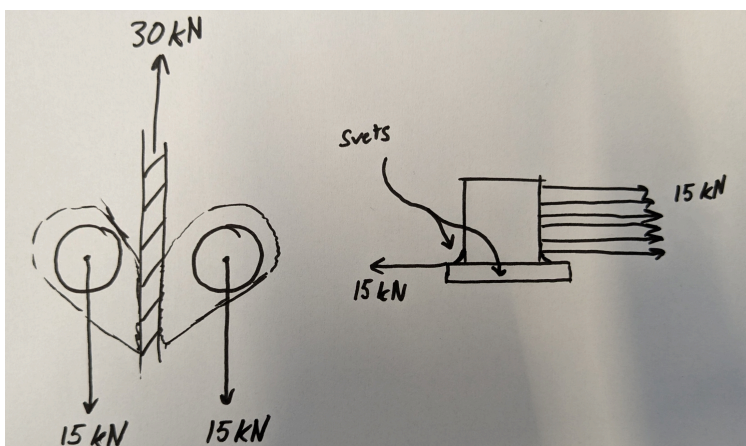
Figur 32: Cirkelradie 2100 mm med släppningsvinkel 2.5 grader

5.3 Detaljkonstruktion

Återstående att konstruera är fästplattan med axlar där kammarna är monterade, placering av excentriska rotationspunkten för kammarna, slutgiltig kamgeometri samt bultarna för att hålla kammarna på plats vid nödutlösning.

5.3.1 Axlar fästplatta

För underlag till prototyp tillverkning behövs ungefärligt mått på axlarna. Med avseende på att prototypen är till för att genomföra ett fullt fungerande fysiskt test är de mest värdefullt att göra prototypen enkel att tillverka. Därför har materialet Kolstål 141312-00 valts, eftersom det är lätt att svetsa och bearbeta. Belastningsfallet axlarna utsätts för ser ut enligt följande figur 33.



Figur 33: Belastningsfall för fästplattans axlar förutsatt att Cam Cleaten är ledad

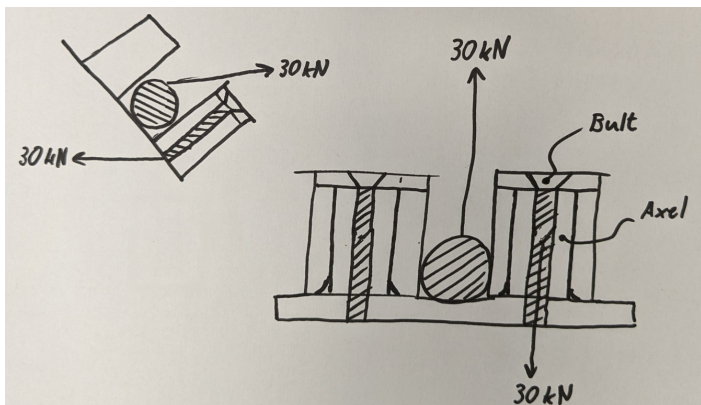
Förutsett att Cam Cleatsen är ledade på samma sätt som dagens bogseranordningar, fördelas dragningskraften symmetriskt mellan de två axlarna. Följaktligen dimensioneras en axel för 15 kN. Axlarna utsätts för skjuvning och kommer dimensioneras därefter. Axlarna konstrueras med ihållighet avsedd för bultförbandsinfästning mellan Cam Cleat och konsolen. En förenklad antagande är att bultarna är av samma material som resterande av plattan. Således beräknas axlarna som homogena enligt följande:

Ett ingenjörstantagande görs att ultimata skjuvspänningen, τ är 60% av brottgränsen, σ_b . Kolstålets materialdata har brottgräns 360 MPa (Dahlberg, 2001). Således blir ultimata skjuvspänningen, $\tau = \sigma_b * 0.6 = 216 \text{ MPa}$.

Detta ger: $\tau = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\tau} = \frac{15 * 10^6}{216 * 10^6} = 0.000069444 \text{ m}^2$, där F är kraften och A är tvärsnittsarean. Med hänsyn till tvärsnittsarean och förenklingen att bulten är av kolstål beräknas axlarnas radie till, $A = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{A/\pi} = 47 \text{ mm}$. En godtycklig dimensionering ansågs vara 15 mm, då svetsarna är de som är kritiskt dimensionerande. En större omkrets på axeln medför en större svetsyta. Tilltänkta svetsytor är omkretsen runt axeln och pluggsvets mellan plattan och cylindern enligt figur 33. Vidare kan beräkningar för fogens storlek och hållfasthet göras med beräkningar eller simuleringar, men i detta projekt frångås detta då det inte påverkar geometrin på Cam Cleatsen avsevärt.

5.3.2 Bultar

Maximala belastningsfallet som bultarna utsätts för, med ett konservativt tänkande, inträffar vid kritisk slagsida 30° enligt tidigare. Detta illustreras till vänster i figur 34.

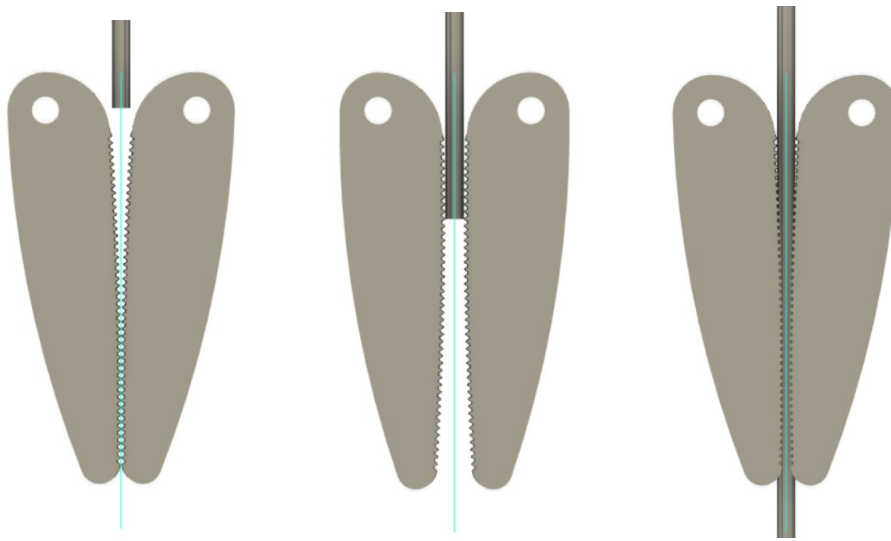


Figur 34: Belastningsfall för en bult vid kritisk vinkel 30°.

Vid slagsida fördelas all kraft på en bult. För att bulten ska hålla kvar kameran krävs det att en bult klarar 30 kN. Enligt tabelldata för bultar klarar en M7x1.00 med klassning 10.9 dragkraften 31 kN (Nordic Fastening Group, 2022).

5.3.3 Rotationspunkt kammor

Placering av den excentriska rotationspunkten för kammarna är avgörande för att uppnå den självhämmande egenskapen och önskade beteende för Cam Cleaten. Genom en excentrisk placering av rotationspunkten till ingreppsgeometrin, rör sig kammarna mot varandra och självhämmer. Iterativt genomfördes försök för att identifiera en välfungerande placering av rotationspunkten, se figur 35.

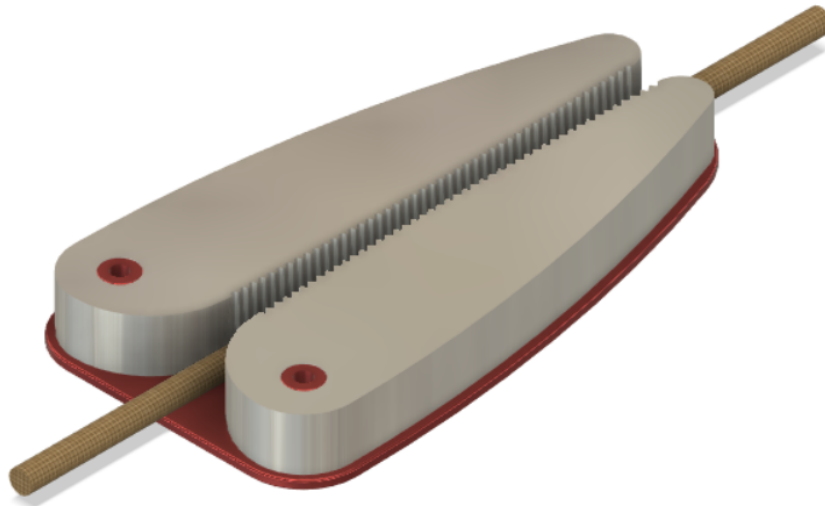


Figur 35: Cam Cleat test av funktioner med färdigställd placering av den excentrisk rotationspunkt

I det stängda läget är önskat beteende att Cam Cleaten tillåter tjockleken på linan att matas in mellan kammarna. När linan matas in roterar kammarna och skapar ett ökat avstånd mellan dem, vilket möjliggör att linan kan passera. Till höger i figuren illustreras appliceringen av en dragkraft där kammarna pressas samman och självhämmer. Placeringen av rotationspunkten uppfyller önskat beteende, men det krävs fysisk testning för att validera detta.

5.4 Prototyp

En slutgiltig prototyp har konstruerats, se figur 36. Den är baserad på det som presenterats i avsnitt 5.3. Ritningarna är framtagna för att ge SSRS möjligheten att tillverka en prototyp. Både manuell nödutlösning och vridfjädrar som får Cam Cleatsen att återgå till stängt läge är exkluderade. Anledningen till att de inte finns med är att de ej krävs för att genomföra tester som verifierar att bogseranordningen klarar av bärigheten och den automatiska nödutlösningen.



Figur 36: Prototyp för bogseranordning till ELINN

Sammanställningar av ritningar återfinns i bilaga 4 och är till för tillverkningsändamål av prototyp.

6 Fortsatt arbete

Det här är en rekommendation till ett fortsatt arbete med att utveckla och tillverka en fullt fungerade bogseranordning för ELINN.

6.1 Trumma

Något som är ett önskemål och som ses som en god delfunktion för ELINN är att linan placeras på en trumma med tillhörande vev och linspridare. Trumman gör att bogserlinan förvaras på ett torkande och lättillgängligt sätt mellan användningstillfällen, veven möjliggör enkel in- och utmatning av bogserlinan och linspridaren minskar risken att bogserlinan fördelas ojämnt över trumman och trasslar in sig.

Det går att utföra bogsering utan att implementera en trumma, däremot bedöms den vara värdeskapande och något som bör finnas i den slutgiltiga bogseranordningen.

6.2 Bogserlina

Bogserlinan påverkar bogseranordningen och ett val av lina behöver genomföras. Det krävs att linan ska vara svagare än bogseranordningen så ett linbrott sker innan bogseranordningen går sönder eller släpper från båten. Det går att anpassa en bogserlina genom att en svagare del som går av vid en förutbestämd belastning placeras på linan. Vid den svagare delen går det också att nyttja den som ryckdämpare om en stelare lina används.

Efter samtal med Liros finns det två linor som de rekommenderar. Den ena är Liros D-pro Vision. Det är en dyneemalina med en diameter på 10 mm. Den är lätt och har en töjbarhet på mindre än 1%, däremot går det att använda en ryckdämpare som kan förse bogserlinan med töjbarhet om så önskas. Brottlasten för linan är 9000 kg vilket är tre gånger mer än vad som krävs för ELINN. Den andra linan som rekommenderades var en lina som heter Squareline-PP. Den har en diameter på 16 mm, brottgräns på 3600 kg och en töjbarhet som är större än 15%. Den har en inbyggd flytkraft och absorberar knappt vatten.

För ELINN bedöms båda de föreslagna bogserlinorna som fullgoda alternativ. Dyneemalinen är lättare och det arbete som utförts i kapitel 5 utgår från en bogserlina med en diameter på 10 mm. Därför rekommenderas den som bogserlina för prototypen.

6.3 Fysiska tester och optimering

Cam Cleats behöver tillverkas för att möjliggöra fysiska test. I kapitel 5 presenteras ett underlag som kan vara en god grund att använda för vid tillverkning av en prototyp. Målet med testerna är att bekräfta om Cam Cleatsen klarar av bärighetskravet. Även om Cam Cleatsen inte klarar av fysiska tester kan misslyckade tester bidra till mer

information kring vad som kommer krävas för att klara bärigheten. Extrapoleringen i kapitel 5 baseras på få datapunkter, fler datapunkter kan införskaffas vid tester för att öka förståelsen och optimera konstruktionen. Om bärigheten uppfylls är det också viktigt att utvärdera hur olika klämkrifter påverkar bogserlinan, både maxlasten men även om mindre klämkrifter under tid nöter på bogserlinan.

Den automatiska nödutlösningen behöver också testas. Vid eventuella problem går det att öka kontaktytan och antalet tändar som pressar på linan. Det går också att modifiera släppningsvinkeln för tändarna, det kan reducera hur mycket kraft som krävs för att linan ska börja makroglida vid nödutlösning.

6.4 Leda bogseranordningen

Att leda bogseranordningen medför att den kan vinklas för att anpassas efter haveristens båt. Om en båt som bogseras avviker från räddningsbåtens förlängda längdaxel finns risken att dragkraften i bogserlinan får räddningsbåten att börja vrida runt sin egen längdaxel. Den risken kan minimeras genom att bogseranordningen är ledad, det gör att den havererade båten har möjlighet att bogseras normalt även om den avviker från räddningsbåtens förlängda längdaxel. På grund av ovan nämnd anledning är bogseranordningarna på SSRS befintliga räddningsbåtar ledade. Av samma skäl är det starkt rekommenderat att leda bogseranordningen på ELINN.

6.5 Minimera risker

De risker som listades i avsnitt 2.6 Riskanalys måste följas upp. Risken att bogserlinan fastnar i propellern nästintill elimineras om valet av bogserlina blir den med flytkraft. Om dyneemalinen väljs går det att förse bogserlinan med delar som flyter. Att båten kapsejsar på grund av bogsering kommer inte kunna ske om den automatiska nödutlösningen fungerar, vilket är ett krav. Det är ändå nödvändigt att utrusta båten med en kniv som kan användas för att kapa bogserlinan som sista lösning. Klämrisken och riskerna vid brott av bogserlinan, som identifierades i början av projektet, har det inte arbetats aktivt med. Då det inte finns någon färdig prototyp utan det istället är ett framtaget koncept har det inte prioriterats. Tidigt i projektet genomfördes idégenerering kring hur de två kvarvarande riskerna kan minimeras, de idéerna återfinns i bilaga 5.

6.6 Om Cam Cleats ej klarar bärighet

Om Cam Cleatsen inte klarar av bärigheten trots modifikationer rekommenderar vi att välja en av lösningarna L4 och L5.

7 Slutsats

En utmaning med vinnande konceptet, som har utvecklats till prototypen, har varit att undersöka dess förmåga att uppfylla bärighetskravet på 30 kN. Detta då de i dagsläget inte finns Cam Cleats med sådan hög bärighet. Simuleringsmöjligheter och beräkningar har undersökts och testats, men på grund av tidsbegränsningar var de för omfattande för att inkluderas i detta projekt. Prototypen dimensionerades efter en framtagen modell baserad på befintliga Cam Cleats, där samband mellan bärigheten och liningrepp etablerades. Datapunkterna extrapolerades och nödvändigt liningrepp för att uppnå önskad bärighet identifierades. Med fysiskt test av prototyp valideras bärigheten och förståelsen för hur bogserlinan påverkas. Detta möjliggör säkerställande av konceptet och livslängsaspekter för bogserlinan.

Projektets mål har varit att presentera en fullt fungerande fysisk Bogseranordningsprototyp som kan monteras på SSRS nya eldrivna prototypräddningsbåt för funktionstest. En fysisk prototyp har inte framställts och därmed inte heller genomgått fysiska tester. Följaktligen har inte funktionstest och målvärden enligt kravspecifikationen ännu verifierats. Ritningar, beräkningar och underlag avsedda för tillverkning av prototyp presenteras i rapporten. Därtill är produktutvecklingsprocessen och tillämpade produktutvecklingsmetoder systematiskt dokumenterade i rapporten, vilket möjliggör att följa de beslut som har fattats. Detta underlättar uppföljning och det fortsatta arbetet av ELINNs bogseringsanordning.

Arbetet som utförts i projektet kommer ligga till grund för SSRS fortsatta utveckling av ELINNs bogseranordning. Det fortsatta arbete vi rekommenderar finns beskrivet i kapitel 6.

Referenslista

- Carlsson, J., & Olsson, T. (2020). *Målbild av miljövänlig räddningsbåtsprototyp*. Göteborg: Sjöräddningssällskapet, interndokument.
- Dahlberg, T. (2001). *Teknisk hållfasthetslära*. Lund: Studentlitteratur AB .
- Goll-Rasmussen, A. (2020). *Målbild av miljövänlig räddningsbåtsprototyp*. Göteborg: Sjöräddningssällskapet, internt dokument.
- Nordic Fastening Group. (2022). *Hållfasthet (brottkraft och sträckkraft) för metriska grovgångor*. Hämtat från <https://www.nfgab.se/teknik-och-kvalitet/tekniska-sidor/hallfasthet/metriska-grovgangor>
- Ronstan. (den 7 5 2023). *C-Cleat™ Carbon Fibre Cam Cleat*. Hämtat från C-Cleat™ Carbon Fibre Cam Cleat - Ronstan: <https://www.ronstan.com/marine/range.asp?RnID=061>
- Sjöräddningssällskapet. (2023). *Vårt uppdrag*. Hämtat från <https://www.sjoraddning.se/om-oss/vart-uppdrag>
- Statistikmyndigheten. (den 9 10 2018). *Varannan svensk har övervikt eller fetma*. Hämtat från <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2018/varannan-svensk-har-overvikt-eller-fetma/>
- Valham, E. (den 27 5 2021). *Sjöräddningssällskapet bygger den första emissionsfria räddningsbåten*. Hämtat från <https://www.mynewsdesk.com/se/sjoeraedningssaellskapet/pressreleases/sjoeraedningssaellskapet-bygger-den-foersta-emissionsfria-raeddningsbaaten-3102538>
- YR. (den 7 6 2023). *Temperatur historik*. Hämtat från <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-2256191/Norge/Oslo/Oslo/G%C3%B8teborggata?q=2022>

Bilagor

Bilaga 1 - Intervjuformulär

Intervjufrågorna är listade i nummerordning nedan

1. Vilka problem har du haft med tidigare bogseringsanordningar?
2. Finns det något som fått dig att tveka inför bogsering, finns det något som skulle få dig att tveka inför det?
3. Vilka risker finns?
4. Vad kan gå fel med utrustningen?
5. Vad blir skillnaden för dig när bogserlinan löper ut från en upphöjning? Vilka risker medför det enligt dig?
6. Vilka risker kan uppstå under färd där bogsering utförs?
7. Vad krävs för att du ska kunna bogsera?
8. Vilka egenskaper bör lösningen ha för att underlätta ditt arbete?
9. Vilka egenskaper skulle du uppskatta/skulle vara önskvärda?

Bilaga 2 – Bollard prov Gunnel Larson-klassen

Information kring dragkraften som en båt i Gunnel Larson-klassen kan generera.



N180

Datum: 2023-05-29

Sida: 1 (1)

Protokoll provning

LEVERANSPROV

Prov: 4 Bollard Pull
Fartyg: SSC N180 8-57
Datum: 2020-04-09
Bilagor:

Förutsättning: Fartyget uppkopplat till kaj med tross kopplad till bogserkrok. Dynamometer fastsatt i kaj.

Utförande: Provning utförs som mätning av dragkraft. Provet utförs vid olika varvtal och dragkraft mäts. Eventuella avvikelser i motorparametrar iaktas. Prov med nödsläppning provas vid full dragkraft.

Resultat:



Varvtal rpm	Dragkraft Fram	Dragkraft Back
1000	130 kg	130 kg
1500	260 kg	160 kg
2000	420 kg	240 kg
2500	590 kg	360 kg
3000	830 kg	480 kg
3500	850 kg	480 kg
3800	780 kg	470 kg

Inga onormala motorparametrar observerades under 5 minuters dragprov. Nödsläppning av bogserkrok från förarplats avprovat vid max bollard Pull.

Kontrollant för SSRS: Jonas Carlsson
Adam Goll Rasmussen

Kontrollant för SSC: Christian Oscarsson

Släpp ut lina
Återställ lina

Fjäder/ sladdvinda
dammsugare

Vev

Motor

För hand

Linutkastare
(pilbåge/kanon)

Fixera lina i räddningbåt

Fixera trumma



Låspinne

Trumbroms

Roller brake

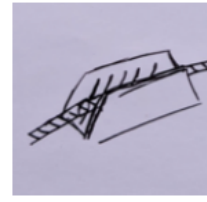
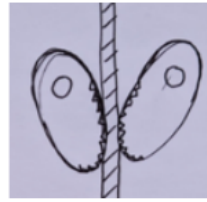
Skivbroms

Hulling

Magnetbroms
fiskrulle

Elmotor till
vinsch

Fixera lina

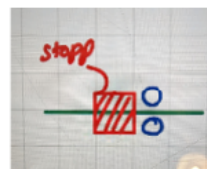


Pollare

Krok

Spänne
skidpjäxa

Skruvstäd



Hårklämma

Nödutlösning manuell

Applicera frisläpp

Fotpedal

Drag i lina
placerad i
närheten av
bogseranordningen

Drag i
handtag hos
rorsman

Handtag på
konsolen

Tryckknapp

Frisläpp mekanism

Splint

Bygel som
lyfter upp
linan ur
låsning

Kapning av
lina

Lossa
bogseranordning

Frisläpp lina

Nödutlösning slagsida

Ej friktion i
lodrätt
riktning

Förändrad
gravitations-
vinkel

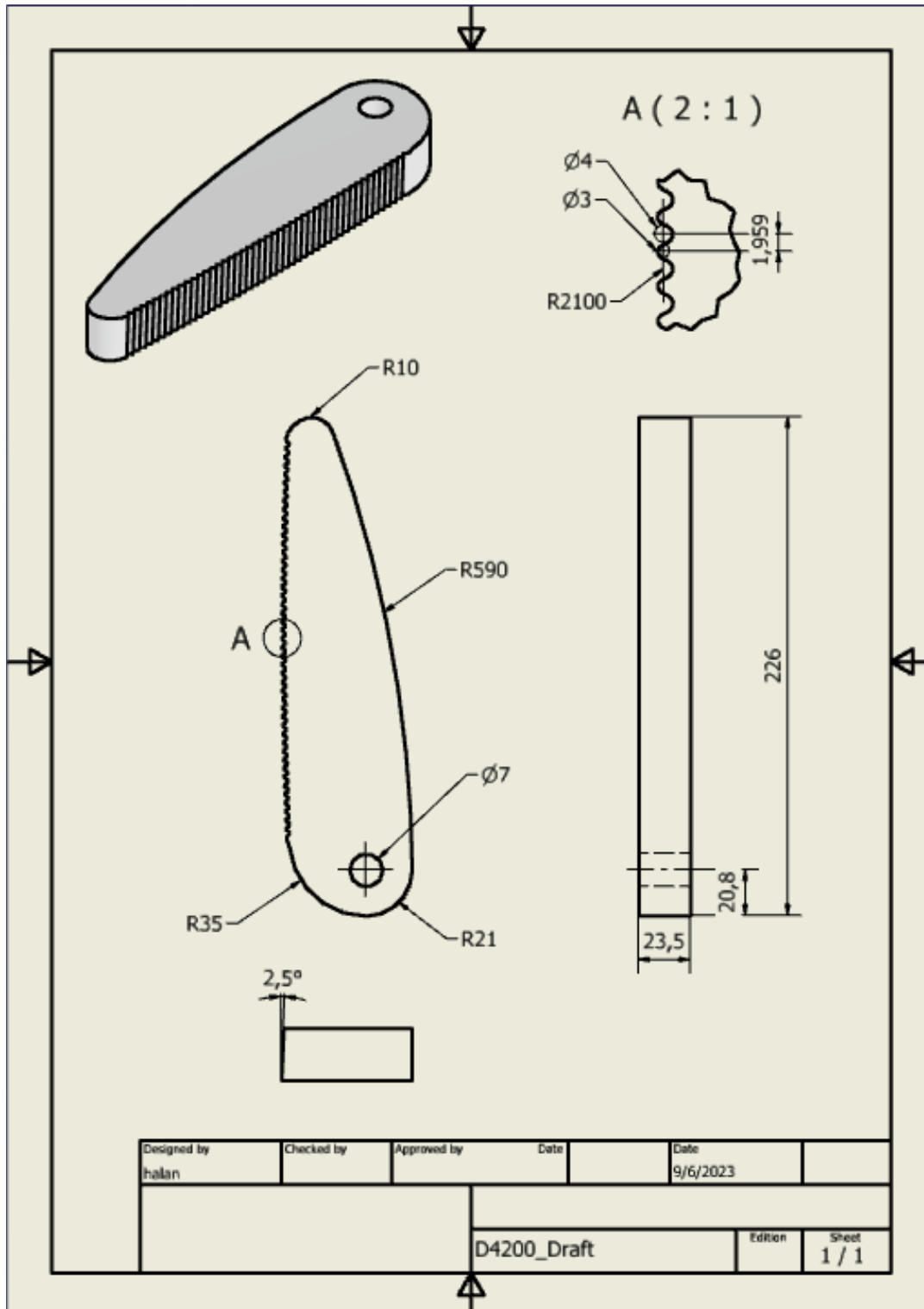
Sensorer
aktiverar
nödutlösning
vid slagsida

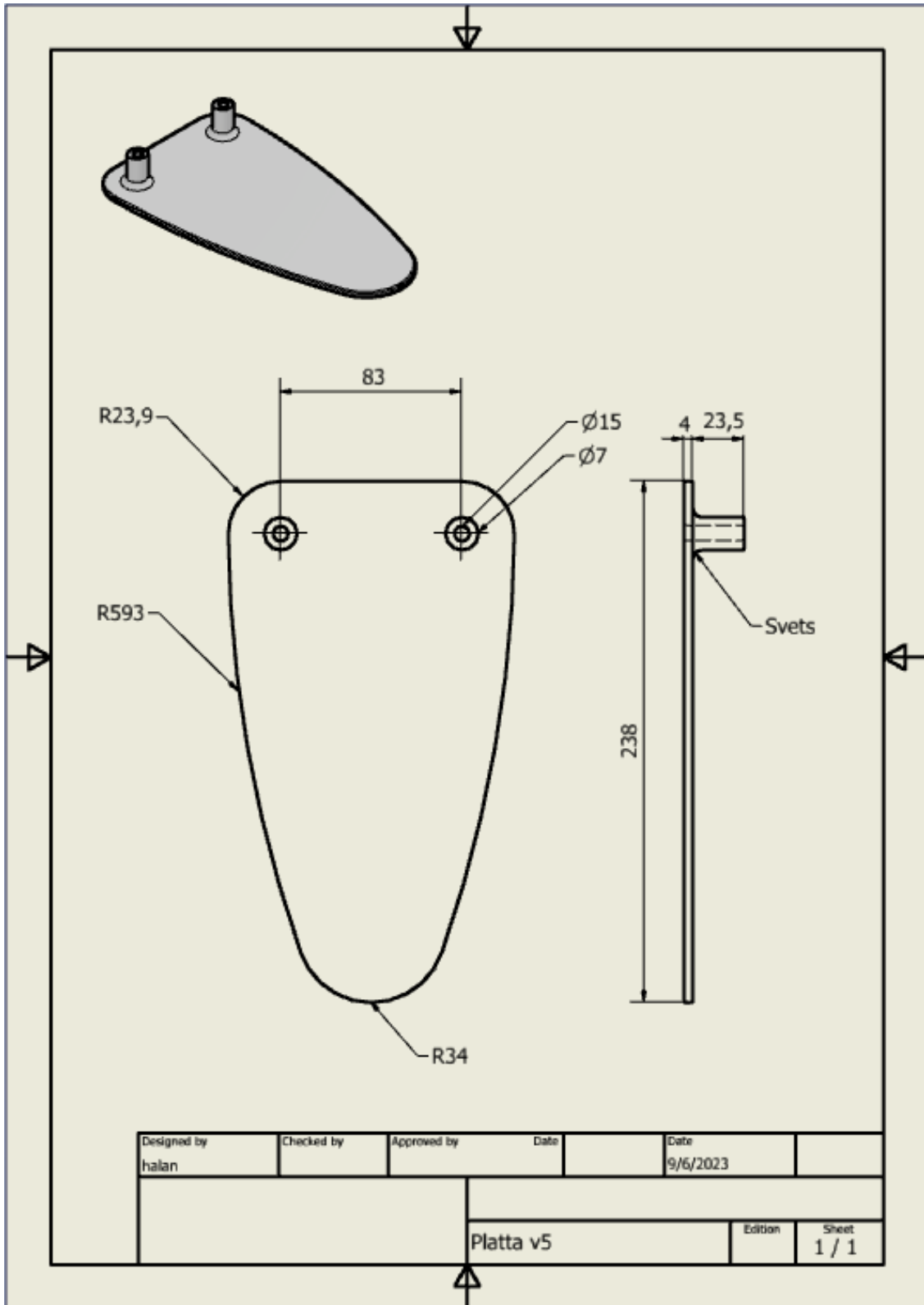
Tiltbrytare



Bilaga 4 – Ritning Cam Cleats

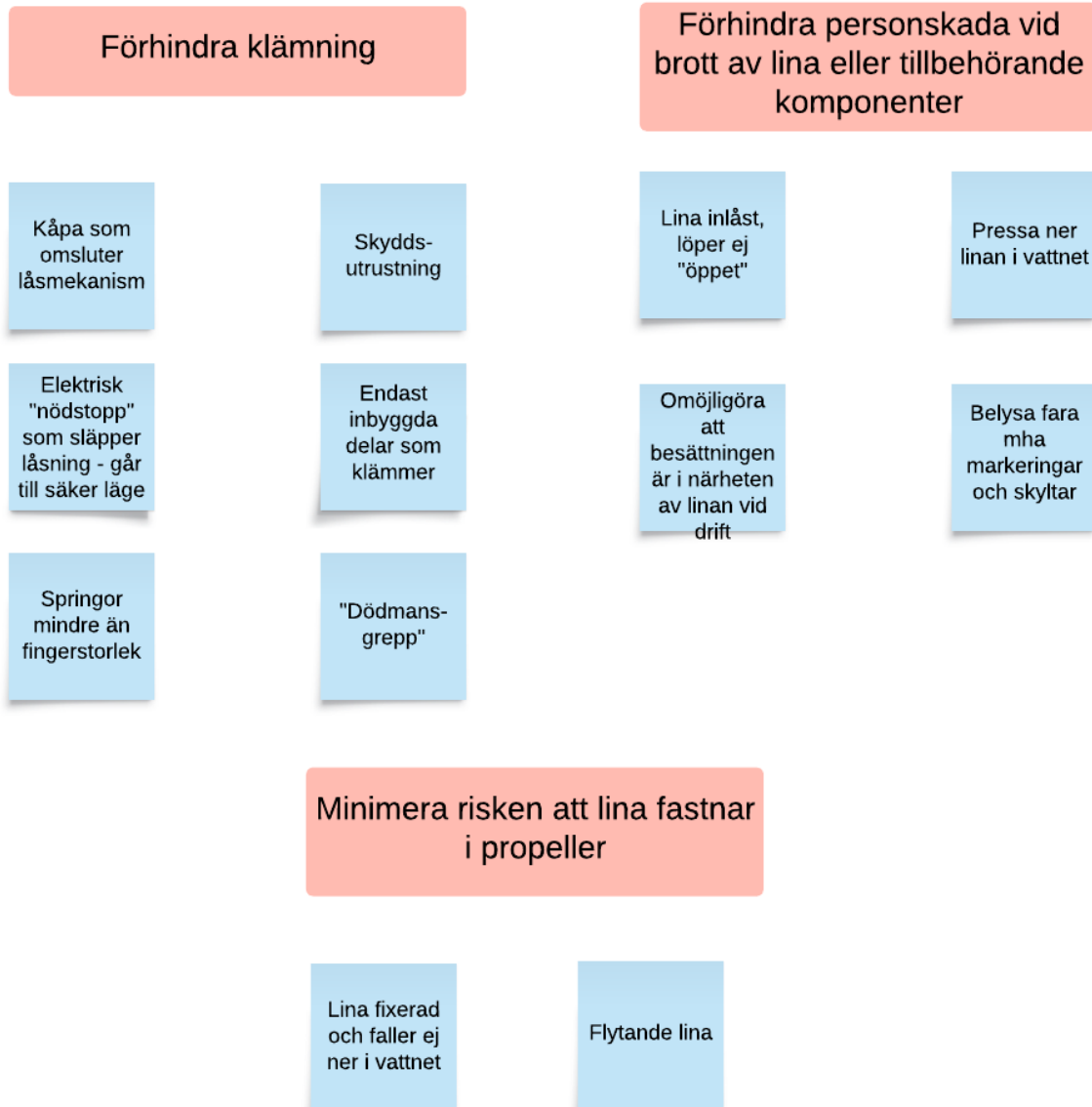
Alla mått anges i mm.





Bilaga 5 – Karta över brainstorming för riskminimering

Karta över idégenerering kring riskminimering.



INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS