



CHALMERS

Återtagning av små fastvingsdrönare i sjöräddningsmiljö

Utveckling och utvärdering av koncept för säker återtagning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik



Andreas Bergman

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

www.chalmers.se

Återtagning av små fastvingsdrönare i sjöräddningsmiljö
Utveckling och utvärdering av koncept för säker återtagning
Andreas Bergman

© Andreas Bergman, 2026

Handledare:

Universitetslektor Göran Gustafsson, Industri- och materialvetenskap
Fredrik Falkman, *Institutionen för forskning och utveckling,
Sjöräddningssällskapet (SSRS)*

Examinator:

Universitetslektor Lars Almefelt, Industri- och materialvetenskap

Förord

Examensarbetet utfördes på uppdrag av Sjöräddningssällskapet.

Jag vill tacka Sjöräddningssällskapet för deras varma hjälpsamhet genom arbetets gång.

Jag vill också tacka min examinator Lars Almefelt och min handledare Göran Gustafsson för deras rådgivning gällande rapportens utformning.

Göteborg 2026

Andreas Bergman

Sammanfattning

Detta examensarbete har genomförts på uppdrag av Sjöräddningssällskapet (SSRS), som använder drönare som stöd vid sjöräddningsinsatser. I kustnära miljöer med litet utrymme och varierande vindförhållanden är konventionella landningsmetoder för fastvingsdrönare inte alltid lämpliga. Projektets syfte har därför varit att utveckla ett koncept för säker infångning och återtagning av en mindre fastvingsdrönare anpassad till SSRS operativa behov.

Arbetet har bedrivits enligt en strukturerad produktutvecklingsprocess. Efter kravspecifikation och funktionsanalys genererades lösningsprinciper med hjälp av en morfologisk matris. Delfunktioner och helhetskoncept reducerades genom en systematisk elimineringsprocess där tekniskt olämpliga alternativ uteslöts. De återstående koncepten analyserades vidare med avseende på energihantering, genomförbarhet och operativ användning.

Det slutliga konceptet utgörs av ett portabelt, modulärt infångningssystem baserat på mekanisk energiupptagning via vajer mellan två sammankopplade enheter. Dimensioneringen grundas på drönarens kinetiska energi vid inflygning, vilket möjliggör en kompakt konstruktion jämfört med storskaliga kommersiella system. Analytiska beräkningar indikerar att konceptet är genomförbart på konceptuell nivå och kan hantera aktuella belastningar.

Arbetet visar att en etablerad infångningsprincip kan skalas och anpassas till sjöräddningsverksamhet genom systematisk konceptutveckling. Fortsatt arbete bör omfatta prototyputveckling och experimentell verifiering under realistiska förhållanden.

Abstract

This thesis work was conducted in collaboration with Sjöräddningssällskapet (SSRS), which utilizes unmanned aerial vehicles (UAVs) to support maritime rescue operations. In coastal environments with small landing space and variable wind conditions, conventional landing methods for fixed-wing UAVs are not always suitable. The objective of this project was therefore to develop a conceptual system for safe mid-air capture and retrieval of a small fixed-wing UAV adapted to SSRS operational requirements.

The work followed a structured product development process. After establishing system requirements and performing a functional analysis, solution principles were generated using a morphological matrix. Partial solutions and overall concepts were reduced through a systematic elimination process, excluding technically unsuitable or impractical alternatives. The remaining concepts were further analysed with respect to energy absorption, feasibility, and operational applicability.

The final concept consists of a portable, modular capture system based on mechanical energy absorption through a tensioned line between two interconnected units. The system is dimensioned according to the UAV's kinetic energy at approach, enabling a compact design compared to large-scale commercial systems. Analytical calculations indicate that the concept is feasible at a conceptual level and capable of handling the expected loads.

The study demonstrates that an established capture principle can be scaled and adapted to maritime rescue applications through systematic concept development. Future work should include prototype development and experimental validation under realistic operating conditions.

**Återtagning av små fastvingsdrönare i
sjöräddningsmiljö**

Utveckling och utvärdering av koncept för säker återtagning

Andreas Bergman



CHALMERS

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

Göteborg 2026

Innehåll

1 inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Vad är en fastvingsdrönare?	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Problemformulering.....	2
1.4 Mål	2
1.5 Metod.....	2
1.5.1 Olika aspekter.....	2
1.6 Avgränsningar	3
2 Problem	3
2.1 Problembeskrivning.....	3
2.2 Undersökning av problem.....	3
2.3 Kunden.....	4
2.4 Kundens behov	4
3 Produktspecificering	5
3.1 Kravspecifikation.....	5
3.2 Funktionsanalys.....	8
4 Konceptframtagning	10
4.1 Systematisk konceptgenerering	10
4.2 Ytterligare lösningar.....	14
4.3 Konceptkatalog.....	21
5 Utvärdering av koncept	28
5.1 Utvärdering av kvarstående koncept	30
5.2 Resultterande lösningsförslag	31
5.3 Anpassning till drönare.....	31
5.4 Anpassning av krokmekanismen	32
5.5 Anpassning av återtagningsmekanisms enhet	36
5.6 Resultterande lösningsarkitektur.....	40
6 Analys av resultat	41
7 Diskussion och fortsatt arbete	44
8 Slutsatser	46
Referenser	47
Bilaga A – Sammanställning av information från intervju med SSRS	A1
Bilaga B – Enkätfrågor samt sammanställda svar	B1

1 Inledning

Sjöräddningssällskapet (SSRS) är en ideell organisation som arbetar med sjöräddningsinsatser längs den svenska kusten med fokus på samhällsnytta, säkerhet och tillförlitlighet. Under senare år har drönare i allt större utsträckning beaktats som ett stöd inom sjöräddning, då de möjliggör snabb täckning av stora områden och kan bidra till en övergripande och tydlig lägesbild vid pågående eller potentiella räddningsscenarier.

För SSRS innebär detta ett viktigt stöd vid bedömning av läget innan räddningsinsatser påbörjas.

1.1 Bakgrund

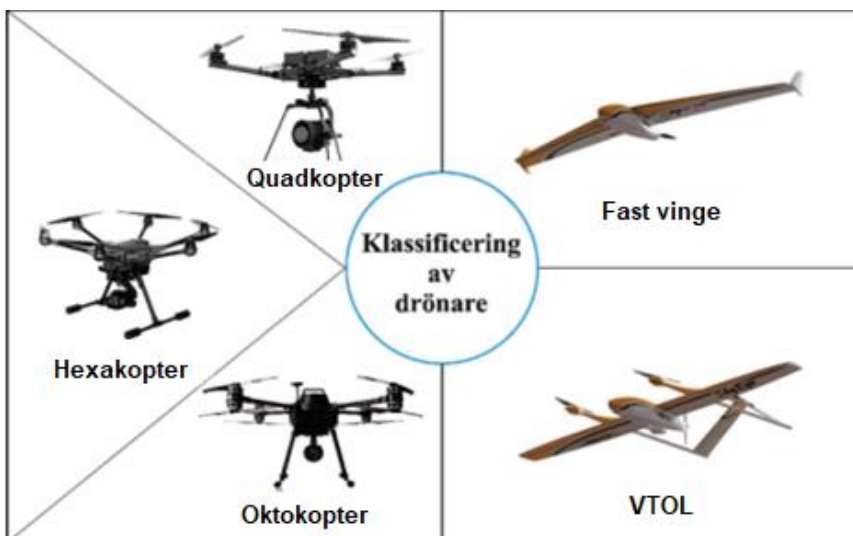
Små fastvingsdrönare erbjuder tekniska fördelar i form av lång flygtid och räckvidd, vilket gör dem väl lämpade för att övervaka stora havsområden. Samtidigt medför dessa drönare betydande utmaningar vid återtagning, särskilt i kustmiljöer där vattenlandningar inte alltid är möjliga och landbaserade landningar kan vara osäkra eller opraktiska.

SSRS har därför efterfrågat utveckling av en återtagningslösning för små fastvingsdrönare som ska möjliggöra säkrare, mer effektiv och tillförlitlig återtagning av dem i krävande kustmiljöer.

Målet är att säkerställa att drönarna kan användas effektivt under hela sina uppdrag utan driftstopp eller skador och kunna återanvändas. Genom detta ska drönarnas livslängd förlängas, underhållskostnaderna minskas och uppdragsberedskapen förbättras. Dessutom skulle en robust återtagningsmetod öka räddningsbesättningens säkerhet, eftersom den minimerar riskerna i samband med manuell hantering under utmanande förhållanden.

1.1.1 Vad är en fastvingsdrönare?

En fastvingsdrönare är en obemannad flygfarkost (UAV) som, likt ett traditionellt flygplan, är konstruerad med styva vingar som genererar lyftkraft genom framåtrörelse. Till skillnad från helikopterliknande drönare, där lyftkraften skapas av rotorerna som roterar i ett horisontalplan, hålls fastvingsdrönare i luften av sina aerodynamiska vingar medan framdrivningen sker via propeller. Denna konstruktion möjliggör längre flygtid och effektiv täckning av stora områden.



Figur 1. Exempel på drönare med multirotor, fast vinge, och hybrider med fast vinge med möjlighet för vertikal start och landning (VTOL).

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla en teoretisk lösning för återtagning av små fastvingsdrönare i sjöräddningsmiljö.

1.3 Problemformulering

Hur kan en teknisk lösning utformas för att möjliggöra infångning och säker hantering av fastvingade drönare vid sjöräddningsinsatser?

1.4 Mål

Projektets mål är att utveckla och leverera en validerad, konceptuell design av en lösning med hög operatörssäkerhet. Som ska ge en säker, tillförlitlig och repeterbar drönåtertagning och som överensstämmer med SSRS operativa krav.

1.5 Metod

Projektet kommer att genomföras enligt en iterativ produktutvecklingsprocess. Arbetet inleds med insamling av information från relevanta intressenter och referensgrupper som sammanfattas i en behovslista som i sin tur omvandlas till en lista med mätbara krav och önskemål på lösningen.

Därefter kommer koncept att genereras genom exempelvis brainstorming, analys av intressentförslag och studier av befintliga lösningar. Dessa jämförs sedan med varandra och utvärderas med avseende på krav och önskemål, och relativt sämre alternativ elimineras successivt tills bara några få återstår, vilka därmed kommer att vara de som bäst uppfyller alla kriterier.

De kvarvarande koncepten kommer att vidareutvecklas genom skisser, modellering och tekniska beräkningar (data från Maskinelement och eventuellt kompletterande material). Materialutvärderingen kommer att behandlas på samma sätt, genom jämförelser och eliminering av mindre lämpliga alternativ.

Slutligen kommer det resulterande konceptet eller koncept att förfinas genom iterationer.

Projektet är huvudsakligen på en konceptuell nivå men eventuell/a Prototypen/prototyperna kan testas under relevanta förhållanden för att utvärdera funktionalitet och validera att den/de uppfyller SSRS krav.

1.5.1 Olika aspekter

Med tanke på projektets tekniska och utforskande karaktär är bedömningen av dess ekologiska påverkan något begränsad. Arbetet kommer främst att utföras genom design, modellering och prototypframtagning, med materialanvändning begränsad till småskaliga tester. Ekologiska överväganden kommer dock genomföras för att reducera materialavfall vid produktion och test av lösningen. Etiska implikationer är också relativt enkla men kräver fortfarande reflektion. Eftersom projektet inte involverar känsliga uppgifter eller konfidentiell information är frågor som integritet och samtycke inte direkt relevanta. I stället fokuseras de etiska aspekterna för att säkerställa att lösningen bidrar till säkrare verksamhet för SSRS-personal, inte ökar risken för operatörerna och utvecklas med transparens gällande begränsningar och antaganden.

1.6 Avgränsningar

De tekniska avgränsningarna av arbetet är att:

- Projektet inte kommer att gå djupt in på navigationsprogramvara som ARduPilot, men det kommer att beaktas för framtida integration.
- Materialdata baseras på databasen i Granta EduPack, som är en utbildningsanpassad materialdatabas som används av Chalmers, men med begränsat urval jämfört med kommersiella materialbibliotek. Detta innebär att viss materialdata kan saknas eller vara förenklad.
- Vidareutveckling av en fullskalig lösning kanske inte är möjlig på grund av en mängd olika faktorer, såsom tidsbegränsningar som leder till användning av koncept-test och småskaliga modeller, men inte en fullt realiserad lösning.
- Fysisk prototypframställning kan begränsas av tillgång till material, tillverkningsanläggningar eller komponenter, vilket innebär att viss validering främst kommer att förlita sig på simuleringar.

2 Problem

Under detta avsnitt studeras problemet, och därefter upprättas en kravprofil och produktens funktioner förklaras.

2.1 Problembeskrivning

I dagsläget sker drönarlandningar ofta i vatten, vilket medför flera praktiska problem. Vid hård sjö, stark vind eller begränsad sikt blir sådana landningar osäkra och riskfyllda. Drönarna är dessutom utrustade med känsliga kameror och elektronik som är känsliga för fukt, vilket innebär att långvarig exponering för vatten kan leda till skador och driftstörningar.

För att säkerställa en pålitlig och hållbar användning av drönarna behöver SSRS en lösning som möjliggör säker infångning av fastvingade drönare på land utan att skada dem.

2.2 Undersökning av problemet

För att kunna utveckla en effektiv lösning för säker återtagning av drönare är det viktigt att förstå hur en infångning kan ske utan att orsaka skador på drönaren.

En flygande drönare besitter kinetisk energi som beror av massa och hastighet, och denna energi måste tas upp på ett kontrollerat sätt när drönaren fångas in.

Infångningslösningen kan därför betraktas som ett bromssystem, där drönarens rörelseenergi gradvis omvandlas eller absorberas genom olika metoder som deformation som i ett fordon som kolliderar, där bilens deformationszoner absorberar energin så att passagerarna skyddas, friktion som i en vanlig handbroms eller någon annan metod till mekanisk dämpning, så att drönaren kan bringas till stillastående utan att ta skada.

Generellt kan ett inbromsningsförlopp av en drönare delas in i fyra steg:



Figur 2. Schematisk inbromsningsprocess av drönare.

I fallet med SSRS drönare handlar problemundersökningen om att analysera hur dessa principer kan tillämpas för att möjliggöra säker landning på land. Detta innebär att utvärdera olika metoder för att bromsa och fånga drönaren på ett kontrollerat sätt, så att den kan bringas till stillastående utan att skadas, samtidigt som dess känsliga elektronik skyddas.

2.3 Kunden

I detta projekt är SSRS kunden och kravställaren för den tekniska lösningen.

Organisationen ställer höga krav på driftsäkerhet, användarvänlighet och hållbarhet, samt på lösningar som fungerar tillförlitligt i krävande marina miljöer.

Återtagningslösningen för små fastvingsdrönare ska därför inte enbart betraktas som en teknisk produkt, utan som ett operativt hjälpmedel som ska kunna integreras i SSRS dagliga räddningsarbete och bidra till organisationens övergripande mål att rädda liv till sjöss.

2.4 Kundens behov

I detta avsnitt behandlas de krav som identifierats från kunden. Kraven kan vara explicita, direkt uttryckta av kunden, men även implicita grundkrav som bör betraktas som självklara vid utvecklingen av en återtagningslösning.

En intervju med SSRS-representanten Fredrik Falkman genomfördes för att få en djupare förståelse för nuvarande arbetssätt med drönare och de största utmaningarna med återtagning av små fastvingsdrönare. Intervjun visade att den nuvarande lösningen med vattenlandning kan fungera under ideala förhållanden, men innebär stora risker för drönaren vid hårt väder och kräver manuell insats för återtagning, vilket inte alltid är praktiskt under pågående räddningsinsatser. De mest framträdande kraven som identifierades var hög säkerhet för både drönare och personal, enkelhet i underhåll, hög tillförlitlighet samt robusthet i kustmiljö. Därutöver framfördes önskemål om framtida automatisering, såsom automatisk laddning av drönarnas batteri efter landning och start från samma plats som återtagning.

Som komplement till intervjun genomfördes även en enkätundersökning under en veckas tid. Den riktade sig till möjliga intressenter med liknande erfarenheter, såsom drönarentusiaster, modellflygare och drönarteam med fokus på kartläggning. Resultaten från enkäten bekräftade i stor utsträckning de behov som framkommit i intervjun och gav ytterligare perspektiv på användarvänlighet och praktisk hantering.

De fullständiga sammanställningarna av intervjun respektive enkätundersökningen återfinns i Bilaga A och Bilaga B.

3 Produktspecifisering

I detta avsnitt undersöks de krav, önskemål och begränsningar som ställs på produkten.

3.1 Kravspecifikation

Kravspecifikationen, se tabell 1, utgör en teknisk översättning av de behov och förutsättningar som identifierades i avsnitt 2.4 genom intervju och enkätundersökning. De kvalitativa insikterna från förstudien har här strukturerats och formulerats som mätbara krav och önskemål kopplade till systemets funktion och prestanda.

Kraven måste uppfyllas, medan önskemålen har viktats på en femgradig skala där 1 motsvarar låg prioritet och 5 hög prioritet.

Tabell 1. Kravspecifikation.

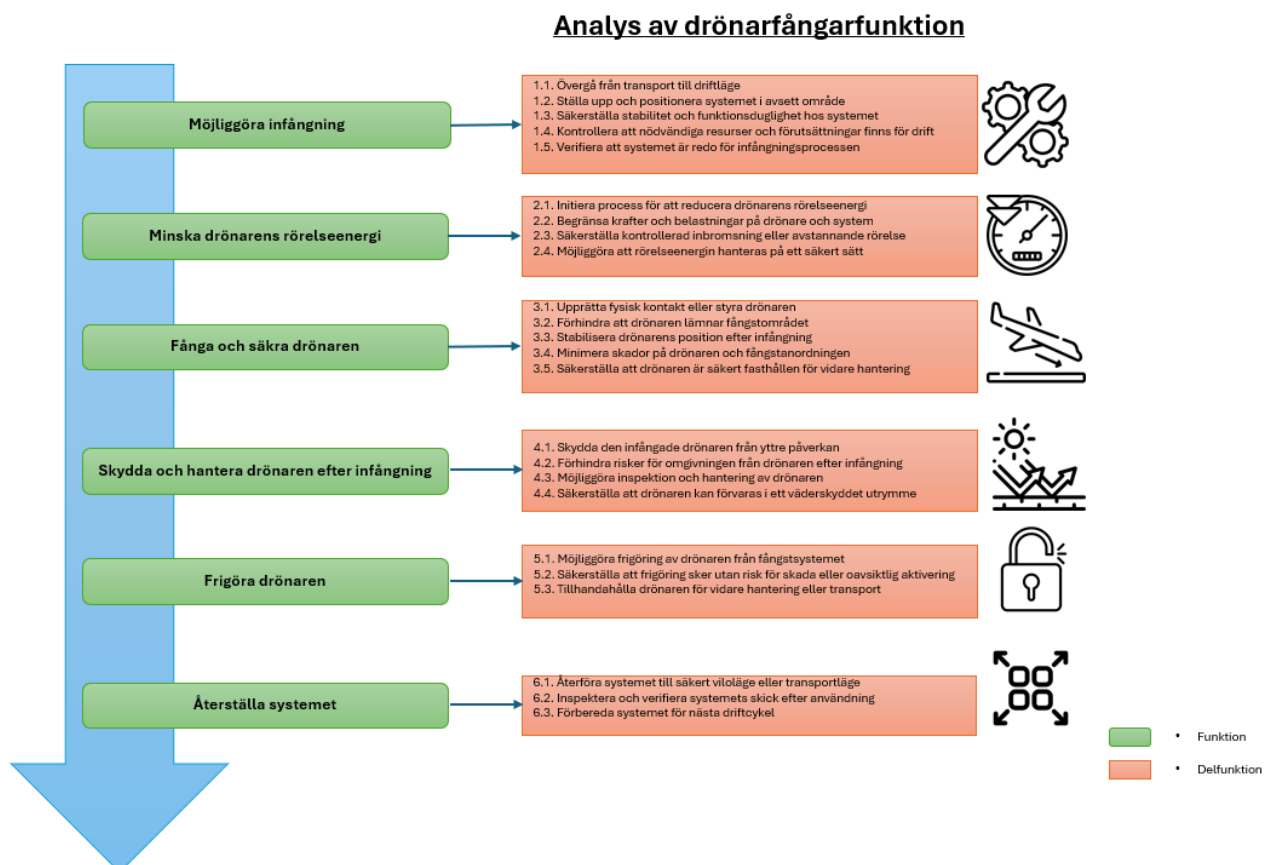
Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation				
	Projekt	Återtagningslösning till fastvingsdrönare				
Utfärdare:		Skapad: 2025-09-30				
		Modifierad: 2026-1-27				
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)	
Funktion/er						
	Lösningen ska kunna återta en fastvingsdrönare vid landning.	K		Test	SSRS	
	Drönare har en massa på 900 gram, höjd 35 mm, bredd 862 mm och längd 520 mm.					
	Lösningen ska fungera på land.	K		Test	SSRS	
	Drönaren ska vara startklar från samma plats där den återtagits.	Ö	2	Test	SSRS	
1.	Prestanda					
1.1	Infångning fart: $11 \text{ m/s} \leq v \leq 30 \text{ m/s}$.	K		Hållfasthetsberäkning	SSRS	
	Systemet ska klara infångning av drönare med inflygningshastigheter upp till 30 m/s, där normal driftshastighet är ca 11 m/s. Den högre hastigheten motsvarar en säkerhetsmarginal för oförutsedd vindpåverkan.					
1.2	Krafter: $\leq 400 \text{ N}$.	K		Test/Hållfasthetsberäkning	SSRS	
	Drönaren kan motstå en kraft på 400 N utan att skadas.					
1.3	Skadenivå: Lösningen får inte orsaka kosmetiska skador.	Ö	3	Test	SSRS	
	Kosmetiska skador innebär repor, färgavkavning och märken.					
1.4	Skadenivå: Lösningen får inte orsaka stora skador på drönaren, så drönaren ska alltid vara flygduglig efter infångning.	K		Hållfasthetsberäkning	SSRS	
1.5	Detektionsavstånd: Upptäcka drönaren som förbereder sig för landning från $\leq 200 \text{ m}$.	K		Test/Hållfasthetsberäkning	SSRS	
1.6	Reaktionstid: $\leq 0,5 \text{ s}$.	K		Test	SSRS	
	Från det ögonblick då drönaren kommer in i detektionsområdet måste lösningen reagera på högst 0,5 sekunder.					
1.7	Fångningsprecision: $\leq 1 \text{ m}^2$, så fångaren ska kunna fånga drönaren inom ett område på 1 m^2 vid inflygning.	K		Test	SSRS	
1.8	Tid för lösgörning: $\leq 10 \text{ min}$, den tid som behövs för att extrahera drönare från lösningen efter infångning som kan vara manuellt eller automatiskt.	K		Test	SSRS	
2.	Miljö					
2.1	Vind: $\leq 15 \text{ m/s}$ stadigt och $\leq 20 \text{ m/s}$ i vindbyar.	K		Hållfasthetsberäkning	SSRS	

	2.2	Korrosionstålighet: \geq C4 (ISO 12944).	K		Hållfasthetsberäkning	SIS (Svenska Institutet för Standarder)
		C4 eller högre beläggningens kvalitet är lämplig för att undvika skador från fukt, salt och UV-strålning i kustmiljöer, (ISO 12944-skalan går från C1, vilket är det lägsta skyddet, till C5, vilket är det högsta skyddet).				
3.	Livslängd					
	3.1	Infångningscykler: \geq 500 fullskaliga infångningscykler, säkrad och eventuellt förpackad i fångarsystemet.	K		Test	SSRS
	3.2	Infångning: \geq 1000 fullskaliga infångningscykler.	Ö	3	Test	SSRS
	3.3	Livslängd: 5 år utan större reparationer.	K		Hållfasthetsberäkning	SSRS
		En större reparation definieras som en åtgärd som kräver utbildad tekniker eller innebär byte av huvudstrukturell komponent som inte kan utföras på plats under normal drift.				
4.	Underhåll					
	4.1	Underhåll: Underhåll ska kunna utföras av personal utan specialutbildning.	K		Test	Produktplanering
		Underhåll avser åtgärder såsom rengöring, enklare smörjning eller utbyte av slidedelar, och regelbundet underhåll ska krävas högst en gång per 50 infångningar, och ta högst 30 minuter att utföra.				
	4.2	Större reparationer: \leq 1 gång per 5 år vid normal användning.	K		Hållfasthetsberäkning	SSRS
5.	Tillverkningskostnad					
	5.1	Prototypkostnad: \leq 1000 kr.	K		Budgetberäkning	Produktplanering
	5.2	Fullskalig lösning: $<$ 300 kkr.	K		Budgetberäkning	SSRS
		En framtida färdig lösning ska vara markant billigare än nuvarande lyftsystäm som idag kostar 300–500 kkr., den exakta kostnaden är svår att uppskatta i detta skede, men målsättningen är en avsevärt lägre kostnad.				
6.	Paketering/Transport					
	6.1	Transport: Lösningen ska kunna transporteras i personbil och eventuellt släpkärra.	K		Test	SSRS
	6.2	Transport: Lösningen ska kunna transporteras i en takbox.	Ö	5	Test	SSRS
	6.3	Transport: Lösningen ska vara hopfällbar och kunna hanteras som en resväska vid manuell transport.	Ö	5	Test	SSRS
7.	Storlek					
	7.1	Transport / förvaring: Längd: \leq 2 m, Bredd: \leq 0,7 m, Höjd: \leq 0,3 m.	K		Beräkning mha CAD	Produktplanering
	7.2	Drift: Längd: \leq 1 m, Bredd: \leq 1 m, Höjd: \leq 3 m.	K		Beräkning mha CAD	Produktplanering
8.	Massa					
	8.1	Bärbarhet: \leq 35 kg.	K		Beräkning mha CAD	Produktplanering
	8.2	Drift: $<$ 650 kg.	K		Beräkning mha CAD	Produktplanering
		Extra vikt från drönaren och ballast under användning.				
9.	Estetik och yta					
	9.1	Estetik: Mekanismerna ska vara eleganta och tilltalande. Viktigt för finansiering via donationer.	Ö	3	Design	SSRS
10.	Material					
	10.1	Driftstemperatur: $-15\text{ °C} \leq v \leq +35\text{ °C}$.	K		Materialtest	SSRS
		Lösningen ska kunna användas pålitligt inom detta temperaturområde utan att material deformeras eller funktion försämras.				
	10.2	Förvaringstemperatur: $-20\text{ °C} \leq v \leq +60\text{ °C}$.	K		Materialtest	SSRS
		Lösningen ska kunna lagras i detta temperaturområde under längre tid utan att ta skada.				
	10.3	Återvinningsbar: 90% av materialet i anordningen bör kunna återvinnas.	Ö	4	Materialtest	Produktplanering
11.	Produktlivscykel					
	11.1	Reservdelstillgänglighet: Standardkomponenter och utbytbara delar ska användas för att underlätta framtida reparationer.	Ö	4	Komponentlista	Produktplanering
	11.2	Transport och lagring: Systemet ska kunna transporteras och förvaras säkert mellan 3–6 månader utan att påverkas negativt.	Ö	3	Transport- och lagringstest	
	11.3	Installation och demonteringstid: \leq 1 timma med standardverktyg och utan specialutbildning.	K		Test	SSRS
12.	Ergonomi					

	12.1	Hanterbart: Ergonomisk design för manuell transport, På grund av lösningens massa kommer ergonomi att beaktas vid manuell transport och driftsättning.	K		Design/Test	Produktplanering
13.	Kvalitet och tillförlitlighet					
	13.1	Tillförlitlighet: $\geq 99\%$ lyckad återtagning.	K		Statistisk utvärdering/Test	SSRS
		Lösningen bör säkerställa att drönaren kan återtas utan haveri i minst 99 % av fallen under normala driftförhållanden, vilket inkluderar typiska vind- och väderförhållanden i kustnära miljöer.				
	13.2	Konstruktion och finish: Hög kvalitet, mekanismer bör vara precisa och estetiskt tilltalande	K		Design/Test	SSRS
		Systemet ska upplevas som robust, professionellt och hållbart. Delar bör vara korrekt monterade och finishen ska tåla exponering för kustmiljö				
14.	Lagerlivslängd					
	14.1	Lagerlivslängd: ≥ 6 månader	K		Simulering/Test	SSRS
		Du bör kunna förvara lösningen säkert i ett lager eller liknande i minst sex månader utan att behöva kontrollera den och att den bibehåller sin integritet.				
15.	Säkerhet					
	15.1	Säkerhet: Återtagningslösningen får inte innebära risker för personalens säkerhet vid användning.	K		Test	SSRS
		Risker för personal vid användning av lösningen inkluderar allvarliga skador eller funktionsfel som skulle hindra räddningsinsatser.				
	15.2	Säkerhet: Återtagningslösningen får inte utgöra risker för personalens säkerhet under installation och demontering.	K		Test	SSRS
		Risk för personal vid montering och demontering av lösningen innebär klämrisk, vassa kanter eller behöva arbeta i farliga positioner under montering och demontering.				

3.2 Funktionsanalys

En funktionsanalys genomfördes för att tydliggöra vilka funktionella behov som måste uppfyllas för att återtagningssystemet ska fungera i enlighet med SSRS krav och operativa förutsättningar. Syftet med analysen var att skapa en strukturerad och systematisk förståelse för systemets nödvändiga funktionella beteende genom att bryta ned det övergripande återtagningsproblemet i separata funktionella delproblem, samt att säkerställa att samtliga relevanta delproblem identifieras. Genom att dela upp problemet i mindre och mer avgränsade funktionella delproblem möjliggörs en metodik där lösningar kan undersökas och utvecklas för respektive funktion oberoende av varandra. Detta angreppssätt syftar till att förenkla utvecklingsarbetet jämfört med att direkt försöka ta fram helhetslösningar till det kompletta systemet. Den ursprungliga funktionsstrukturen, som redovisas i figur 3, består av sex funktionella grupper. Dessa grupper representerar övergripande funktionsområden inom vilka systemets tekniska beteende kan delas in. Inom dessa sex grupper identifierades totalt 24 delfunktioner som tillsammans beskriver de tekniska delproblem som måste lösas för att realisera ett komplett återtagningssystem. Funktionsanalysen och dess delfunktioner verifierades i dialog med SSRS och utgjorde därmed basen till funktionsmodellen för projektet.



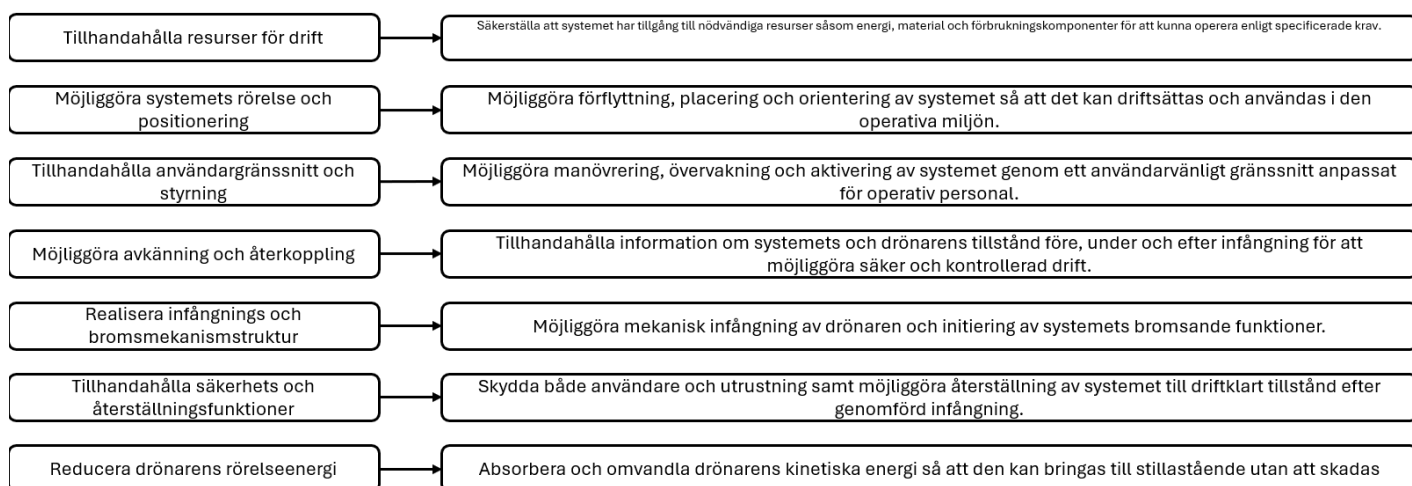
Figur 3. Funktionsanalys.

I samband med funktionsanalysen konstaterades att flera av de identifierade delfunktionerna var formulerade på en låg abstraktionsnivå och i praktiken beskrev tekniska lösningsprinciper snarare än funktionella behov. Flera delfunktioner var exempelvis kopplade till specifika komponenter eller

tekniska realiseringar, vilket innebar att funktionsstrukturen i viss utsträckning begränsade det möjliga lösningsutrymmet redan i detta skede.

För att möjliggöra en mer teknikneutral och funktionsbaserad funktionsmodell beslutades därför att delfunktionerna skulle konsolideras till ett mindre antal mer övergripande systemfunktioner. Konsolideringen avsåg funktionsstrukturen för återtagningssystemet och syftade till att behålla den fullständiga funktionella täckningen från figur 3, men formulera funktionerna på en abstraktionsnivå som bättre beskriver *vad* systemet ska göra, snarare än *hur* detta ska realiseras tekniskt. Genom denna sammanslagning reducerades funktionsstrukturen från sex funktionella grupper med totalt 24 detaljerade delfunktioner till sju övergripande systemfunktioner. Dessa funktioner beskriver återtagningssystemets nödvändiga funktionella beteende på en nivå som är tillräckligt generell för att inte förutsätta specifika tekniska lösningar, men samtidigt tillräckligt konkret för att möjliggöra en systematisk vidare bearbetning.

De sju konsoliderade funktionerna utgör därmed en omformulerad och sammanhållen representation av de delfunktioner som redovisats i figur 3. Varje funktion motsvarar ett samlat funktionsområde som i den ursprungliga strukturen representerades av flera separata delfunktioner, den nya funktionsstrukturen redovisas i figur 4.



Figur 4. Funktionsanalys efter konsolidering av funktioner.

4 Konceptframtagning

I detta avsnitt beskrivs processen för framtagning av olika konceptlösningar. Arbetet bygger på strukturerad konceptgenerering och inspiration från lösningar inom andra branscher.

4.1 Systematisk konceptgenerering

Efter den funktionella analysen och konsolideringen av funktioner (figur 4) genererades ett stort antal principiella dellösningar för respektive delfunktion.

Dessa togs fram genom brainstorming samt studier av befintliga tekniska lösningar inom angränsande områden. Målsättningen var att identifiera så många principiellt skilda sätt som möjligt att realisera varje funktion.

För att strukturera och systematisera dessa alternativ sammanställdes de i en morfologisk matris, redovisad i tabell 2. Matrisens rader motsvarar de delfunktioner som identifierades i den funktionella analysen (figur 4), medan kolumnerna representerar alternativa principiella lösningar för respektive delfunktion.

Den morfologiska matrisen utgör därmed ett hjälpmedel för att kombinera olika dellösningar till sammanhängande systemkoncept. Ett koncept genereras genom att ett alternativ väljs för varje delfunktion och kombineras till en helhetslösning.

Som ett förenklat exempel kan en funktionell struktur med fem funktioner och fem möjliga lösningar per funktion generera $5^5 = 3125$ olika principiella systemlösningar. Samma tillvägagångssätt tillämpas på den morfologiska matrisen i tabell 2, vilket resulterar i ett stort antal möjliga konceptkombinationer.

Tabell 2. Morfologisk matris.

Delfunktioner	Lösningalternativ		
	A	B	C
Tillhandahålla resurser för drift	Batteri (12 V) 	USB-Powerbank 	
Möjliggöra systemets rörelse och positionering	Manuell spak 	Fjädermekanism 	Elmotor (låg varvfrekvens) 
Tillhandahålla användargränssnitt och styrning	Vippströmbrytare (på/av) 	Knappanel 	Manuell aktivering 
Möjliggöra avkänning och återkoppling	Gränslägesbrytare 	LED-indikator 	Akustisk signal 
Realisera infångning och bromsmekanismstruktur	Fällbart stativ 	Klämfäste 	Magnetiskt fäste 
Tillhandahålla säkerhets- och återställningsfunktioner	Återställningsknapp 	Mekaniskt lås 	Säkringslänk 
Reducera drönarens rörelseenergi	Styv/mjuk hybridkudde 	Nät 	Vajer 

Den morfologiska matrisen består av 7 konsoliderade systemfunktioner, där varje funktion har två till tre föreslagna lösningalternativ.

Eftersom sex funktioner har tre alternativa lösningar och en funktion har två alternativ uppgår det totala antalet möjliga konfigurationer till

$$3^6 \times 2 = 1458.$$

Alla identifierade delfunktionslösningar är dock inte lika lämpliga att föra vidare i konceptgenereringen. Vissa alternativ bedömdes vara tekniskt svaga, opraktiska eller otillräckliga i förhållande till projektets krav och operativa förutsättningar.

Av denna anledning genomfördes en inledande reduktion på delfunktionsnivå, där mindre lämpliga lösningsalternativ eliminerades innan kombinationer av helhetskoncept genererades. Syftet med denna reduktion var att begränsa lösningsrymden till tekniskt rimliga och funktionellt relevanta alternativ, och därmed skapa ett mer meningsfullt underlag för den fortsatta konceptgenereringen.

Följande steg togs för att reducera matrisen genom att tillämpa mer heuristisk eliminering:

Tillhandahålla resurser för drift: Med tanke på att lösningen kommer att utföra mekaniskt arbete och möjligheten till elektriska system är båda alternativen lämpliga.

Möjliggöra systemets rörelse och positionering: Manuell spak och Fjädermekanism kan vara lämpliga för små delar av lösningen men som huvudrörelselösning behövs robusthet, vilket Manuell spak och Fjädermekanism inte har. Så de togs bort.

Tillhandahålla användargränssnitt och styrning: Knapppanel och Vippströmbrytare är onödigt komplicerade och olämpliga att använda när manuell aktivering innebär fjärrstyrd aktivering (mobilapplikation eller annat), så de är redundanta och togs därför bort.

Möjliggöra avkänning och återkoppling: Med tanke på att lösningen eventuellt kommer att fjärrstyras skulle en akustisk signal inte vara effektiv, särskilt inte i kustmiljöer där andra ljud kan störa. Och LED-indikatorer, även om de är enkla att implementera, ger inte någon betydande återkoppling. Så båda de ströks.

Realisera infångning och bromsmekanismstruktur: En magnetisk bas skulle kräva förberett järnhaltigt material för att lösningsstrukturen ska kunna fästas magnetiskt, vilket inte är garanterat. Det är också dyrt och tungt. En klämlösning är inte heller genomförbar av liknande anledning (den kräver en förberedd struktur som inte kan garanteras), så båda dessa har eliminerats. Den hopfällbara strukturen är mindre robust men kan underlättas med små transporterbara vikter om det behövs.

Tillhandahålla säkerhets- och återställningsfunktioner: Som tidigare har nämnts kommer lösningen förhoppningsvis att användas på distans efter driftsättning, så en återställningsknapp är överflödigt om fjärrkontroller används. En säkringslänk skulle inte ge den robusthet som behövs för sjöräddningsmiljön, så båda dessa togs bort.

Reducera drönarens rörelseenergi: En hybridkudde skulle kunna fungera som en kompletterande lösning för energireduktion, men som den enda lösningen skulle det vara för dyrt att producera en som är tillräckligt energiabsorberande. Så den togs bort.

Tabell 3 visar den morfologiska matrisen efter eliminering av sämre alternativa dellösningar. Tabellen baseras på tabell 2.

Tabell 3. Morfologisk matris efter eliminering av sämre alternativa dellösningar.

Delfunktioner	Lösningalternativ		
	A	B	C
Tillhandahålla resurser för drift	Batteri (12 V) 	USB-Powerbank 	
Möjliggöra systemets rörelse och positionering	Manuell spak 	Fjädermekanism 	Elmotor (låg varvfrekvens) 
Tillhandahålla användargränssnitt och styrning	Vippströmbrytare (på/av) 	Knapppanel 	Manuell aktivering 
Möjliggöra avkänning och återkoppling	Gränslägesbrytare 	LED-indikator 	Akustisk signal 
Realisera infångning och bromsmekanismstruktur	Fällbart stativ 	Klämfäste 	Magnetiskt fäste 
Tillhandahålla säkerhets- och återställningsfunktioner	Återställningsknapp 	Mekaniskt lås 	Säkringslänk 
Reducera drönarens rörelseenergi	Styv/mjuk hybridkudde 	Nät 	Vajer 

Efter matrisreduktionsprocessen har den morfologiska matrisen 7 delfunktioner och varje delfunktion har 1-2 alternativa lösningar, vilket ger totalt $2^2 = 4$ lösningkoncept som alla är möjliga att utföra.

De genererade lösningarna är:

- 1L. Nätfångning-Batteri (ACCAABB)**
- 2L. Vajerinfångning-Batteri (ACCAABC)**
- 3L. Nätfångning-USB-Powerbank (BCCAABB)**
- 4L. Vajerinfångning-USB-Powerbank (BCCAABC)**

4.2 Ytterligare lösningar

För att komplettera de systematiskt genererade lösningskoncepten utforskades metoder för att återta flygande objekt från andra branscher och också befintliga lösningar. Efter brainstorming och sökning kom det fram 22 koncept.

5L. Fångstnät (nätkanon)



Figur 5. WCS Nätkanon för fågelfångst.

6L. Fallskärm/stabiliseringsfallskärm



Figur 6. Drönare landar med fallskärm.

7L. Klädstretchfångare/vajerfångare



Figur 7. Drönaråtertagnig med vajer.

8L. Vertikal fångstvajer



Figur 8. RQ-21A Blackjack drönaråtertagning.

9L. Landning i dockningstratt/fångstgrind



Figur 9. Dröndockningstratt.

10L. Stötdämpande kudde eller luftkuddefångst



Figur 10. Uppblåsbar landningsramp.

11L. Robotarm eller mekanisk klämma



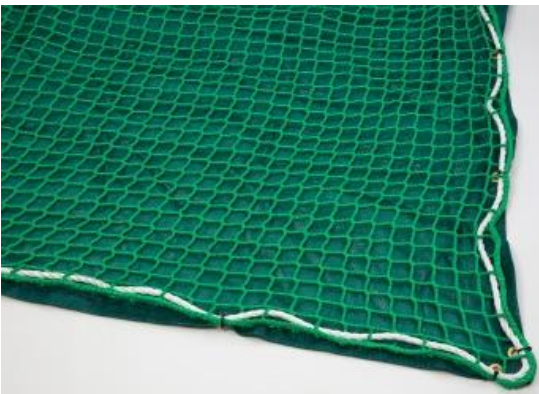
Figur 11. Stor robotarm på rymdstationen Tiangong.

12L. Nätutkastare/projektlnät



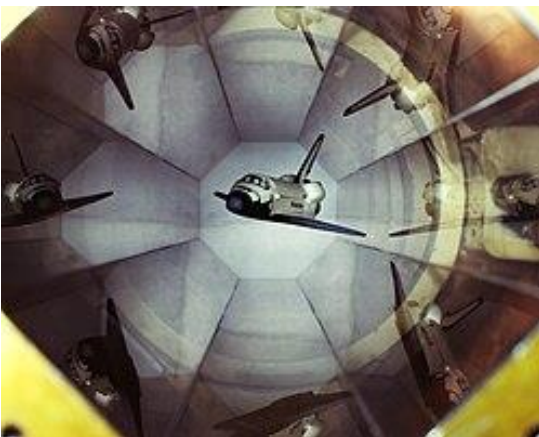
Figur 12. En handhållen nätpistol.

13L. Nät med gradvis ökande styvhet



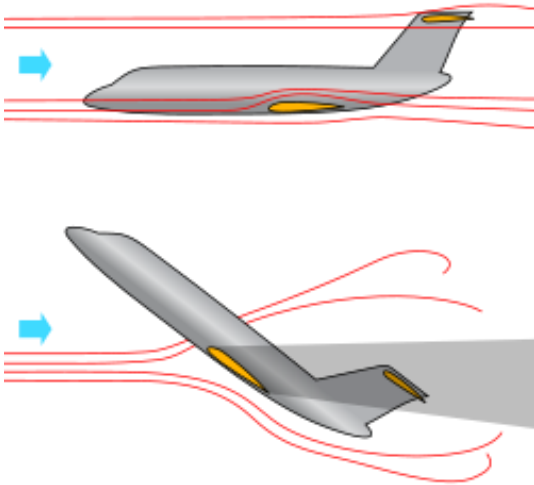
Figur 13. Industriellt skyddsnät i flera skikt.

14L. Magnetisk inneslutning (t.ex. supraledande magneter)



Figur 14. Skyttelmodellen är magnetiskt upphängd i den transparenta hexagontestsektionen på MIT/NASA Langleys 6-tums MSBS.

15L. Djupstallandning (aerodynamisk återhämtning)



Figur 15. Djupstallandning.

En djupstallandning är en kontrollerad landning med hög anfallsvinkel genom att maximera aerodynamiskt motstånd för en nedstigning med låg hastighet.

16L. Maglandning/sladdfångst



Figur 16. Drönare designad för maglandning.

Denna design används främst för långväga uppdrag, kartläggning, mätning och övervakning i avlägsna eller krävande miljöer.

17L. Krok + dämpande vinsch



Figur 17. Polaris ATV elektrisk vinsch med krok.

18L. Rullande fångare (rullar/skenor som matchar hastigheten)



Figur 18. Industriellt rörligt rulltransportband.

19L. Elektromagnetisk bromsning (virvelströmsbromsar)



Figur 19. Virvelströmsbroms i ett tåg.

Virvelströmsbromsar i ett tåg använder elektromagneter monterade på tågets hjul för att generera magnetfält som inducerar virvelströmmar i stålrälen eller en bromsskiva, vilket skapar en kontaktlös bromskraft.

20L. Fastfångst från markfordon



Figur 20. Markfordon för dröনারåtertagning som kan fästas i drönaren.

21L. Fångst-och-håll-vagga



Figur 21. Automatiskt stängande duvfälla.

22L. Aktiv luftflödesbromsning (bakåtriktad kraft/motström)



Figur 22. Inomhusfallskärmshoppningsanläggning där en stor fläkt används för att simulera terminalhastighet.

23L. Jägare-/fångstdrönare (fångst mellan drönare)



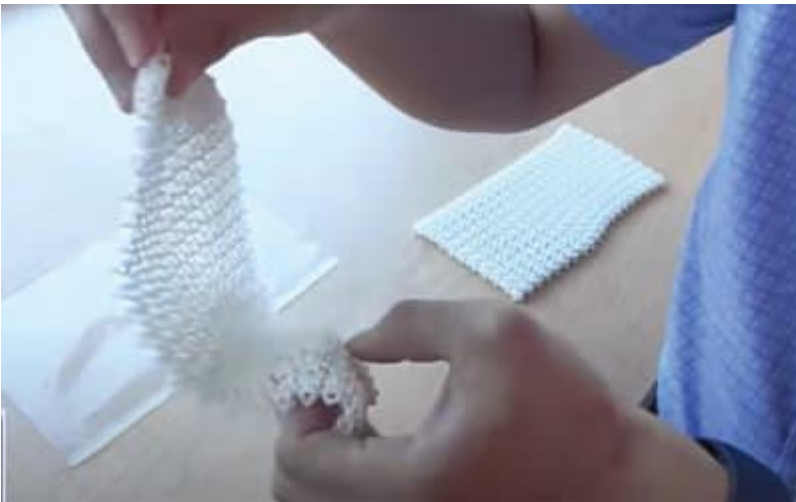
Figur 23. Dronehunter F700 skjuter ut ett fångstnät mot en annan drönare.

24L. Partikeldämpningsbädd (sand/granulat)



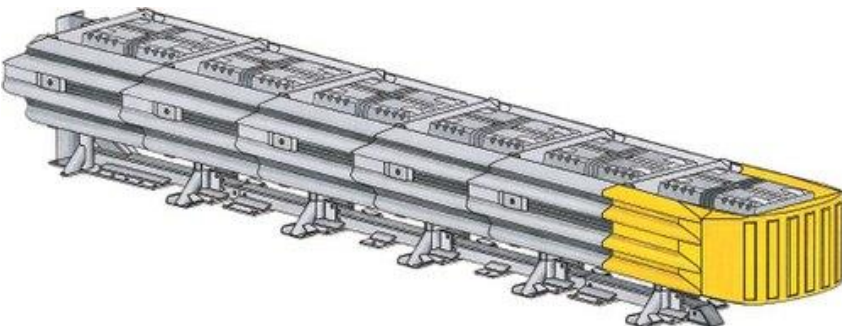
Figur 24. Gymnastiskumgrop.

25L. Nät med variabel styvhet (Funktionsmaterial med justerbar styvhet/MRF)



Figur 25. Prototyp av nylonplastpolymertyg som stelnar vid behov.

26L. Deformerbar stötdämpare/energiabsorberande kraschbarriär



Figur 26. Krockstötfångare.

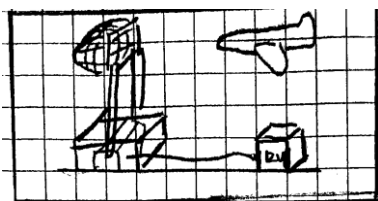
4.3 Konceptkatalog

Totalt finns det alltså nu 26 lösningskoncept, fyra som är framtagna med hjälp av funktionsanalys plus morfologisk matris samt 22 som har producerats med hjälp av brainstorming eller är lösningar till liknande problem.

I det här avsnittet förklaras varje koncept med visuella hjälpmedel för att tydliggöra hur de skiljer sig från varandra.

1L. Nätfångning-Batteri (ACCAABB)

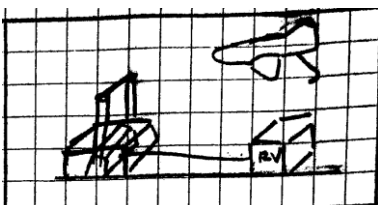
Fällbart nät som hålls upp av två batteridrivna (12 V) rörliga armar.



Figur 27. Koncept 1.

2L. Vajerinfångning-Batteri (ACCAABC)

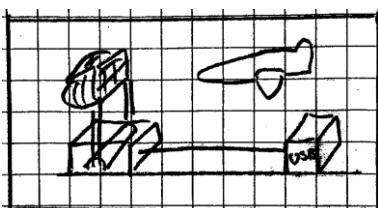
Vajer som hålls upp av två batteridrivna (12 V) rörliga armar och kopplas till en krok under drönaren.



Figur 28. Koncept 2.

3L. Nätfångning-USB-Powerbank (BCCAABB)

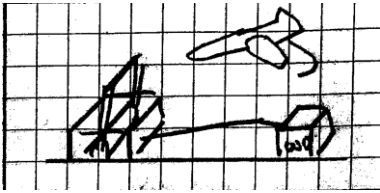
Fällbart nät som hålls upp av två batteridrivna (USB-Powerbank) rörliga armar.



Figur 29. Koncept 3.

4L. Vajerinfångning-USB-Powerbank (BCCAABC)

Vajer som hålls upp av två batteridrivna (USB-Powerbank) rörliga armar och kopplas till en krok under drönaren.



Figur 30. Koncept 4.

5L. Fångstnät (nätkanon)

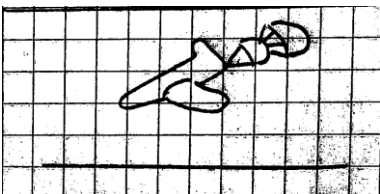
Stationär kanon som skjuter ut ett viktat nät mot drönaren.



Figur 31. Koncept 5.

6L. Fallskärm/stabiliseringsfallskärm

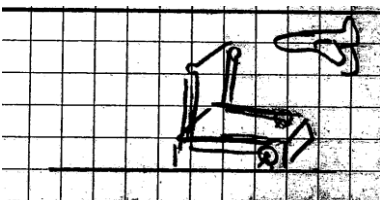
En serie av fallskärmar som ger motstånd tills drönaren stoppar.



Figur 32. Koncept 6.

7L. Klädstrecksfångare/vajerfångare

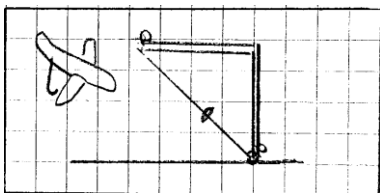
Vajer uppställd mellan två stativ, vajern är kopplad till ett par vinschar som fungerar som bromsar, drönaren kopplas till vajern med en krok.



Figur 33. Koncept 7.

8L. Vertikal fångstvajer

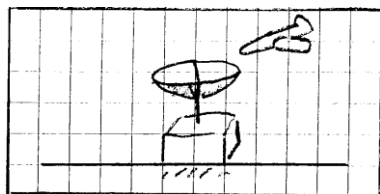
Vajer uppställd diagonalt för att stanna drönaren. Drönaren vänder sig när den flyger in och kopplas till vajern med en krok.



Figur 34. Koncept 8.

9L. Landning i dockningsträtt/fångstgrind

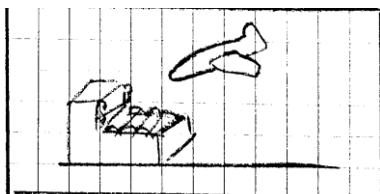
Stor tratt som drönaren flyger in i.



Figur 35. Koncept 9.

10L. Stötdämpande kudde eller luftkuddefångst

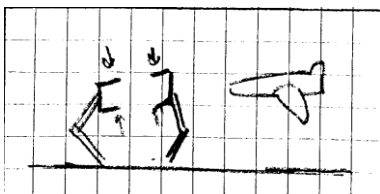
Stor krockkudde som drönaren flyger emot för att stanna.



Figur 36. Koncept 10.

11L. Robotarm eller mekanisk klämma

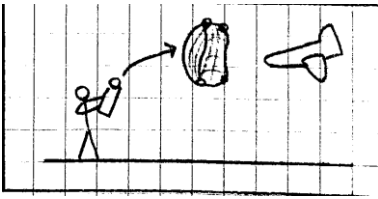
Två mekaniska armar som fångar drönaren när den flyger förbi.



Figur 37. Koncept 11.

12L. Nätutkastare/projektlnät

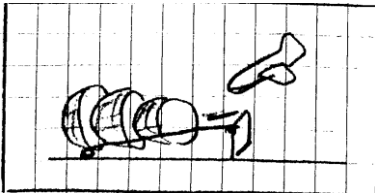
Handhållen kanon som fångar drönaren med hjälp av ett viktat nät.



Figur 38. Koncept 12.

13L. Nät med gradvis ökande styvhet

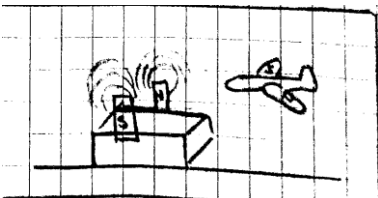
Serie av nät med gradvis ökande styvhet för att bromsa ner drönaren. Alla nät är kopplade till skenor så att de fälls ihop vid inbromsning.



Figur 39. Koncept 13.

14L. Magnetisk inneslutning (t.ex. supraledande magneter)

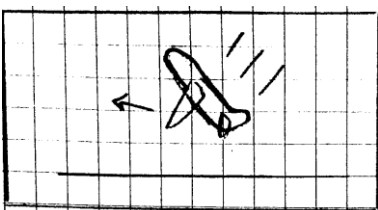
Stärka elektromagneter skapar ett magnetfält där drönaren, modifierad med magnetiskt material, stannar.



Figur 40. Koncept 14.

15L. Djupstallandning (aerodynamisk återhämtning)

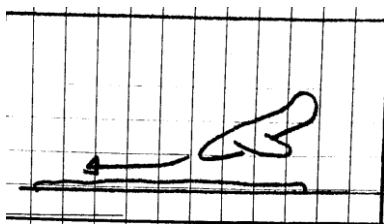
Aerodynamisk metod för att stanna drönaren, där nosen höjs för att få drönaren att stanna genom ökat luftmotstånd.



Figur 41. Koncept 15.

16L. Maglandning/sladdfångst

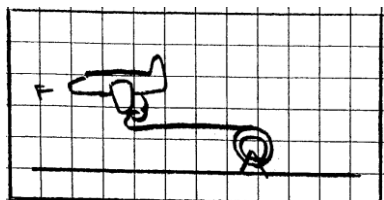
Lång bana gjord av grovt material för att generera friktion. Drönaren stannar genom att landa på banan.



Figur 42. Koncept 16.

17L. Krok + dämpande vinsch

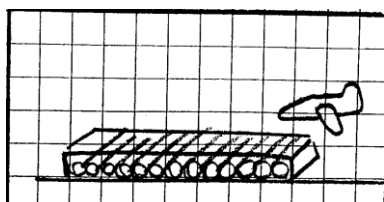
Två krokar, en på drönaren och en kopplad till en vinsch. Drönaren stannas genom att koppla de två krokarna till varandra och utnyttja vinschen som en broms.



Figur 43. Koncept 17.

18L. Rullande fångare (rullar/skenor som matchar hastigheten)

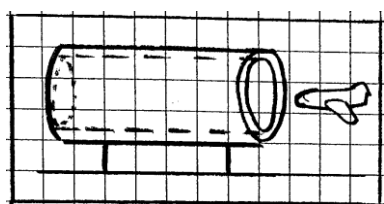
Lång bana där rullar ger motstånd när drönaren landar.



Figur 44. Koncept 18.

19L. Elektromagnetisk bromsning (virvelströmsbromsar)

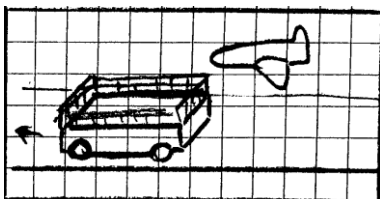
Virvelströmmar uppstår i ett ledande material, som metall, när det utsätts för ett tidsvarierande magnetfält. Konceptet består av ett stort kopparrör som en metalliskt klädd drönare flyger genom och bromsas.



Figur 45. Koncept 19.

20L. Fastfångst från ett markfordon

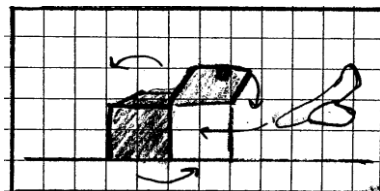
Ett markfordon med en låda som drönaren landar i.



Figur 46. Koncept 20.

21L. Fångst-och-håll-vagga

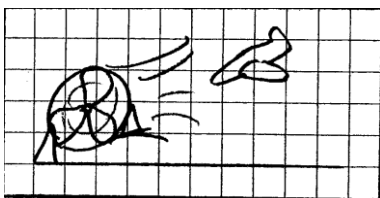
Box med lock som är vadderad på insidan och som drönaren flyger in i. Locket stängs och sedan kanar eller rullar boxen tills den stannar.



Figur 47. Koncept 21.

22L. Aktiv luftflödesbromsning (bakåtriktad kraft/motström)

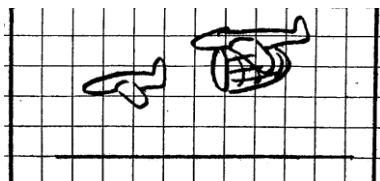
Stor fläkt som ger vindmotstånd för att stanna drönaren.



Figur 48. Koncept 22.

23L. Jägare-/fångstdrönare (fångst mellan drönare)

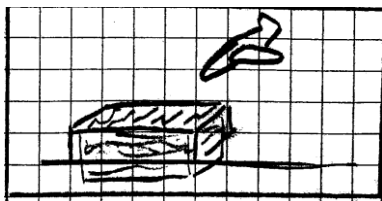
En jakt-drönare som följer den primära drönaren och använder en nätkanon med ett fastbundet nät för infångning, till att sen flyga ner, där jakt-drönaren är mer robust och skyddar den primära drönaren vid landning.



Figur 49. Koncept 23.

24L. Partikeldämpningsbädd (sand/granulat)

Sandlåda fylld med granulat som absorberar kinetisk energi och som drönaren landar i.



Figur 50. Koncept 24.

25L. Nät med variabel styvhet (funktionsmaterial med justerbar styvhet/MRF)

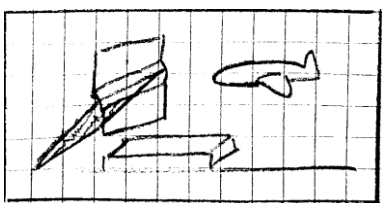
Nät av ett material med variabel styvhet bromsar drönaren, där ändringen i styvheten används som bromsningsmekanism.



Figur 51. Koncept 25.

26L. Deformerbar stötdämpare/energiabsorberande kraschbarriär

Stötfångare som drönaren flyger in i och som minskar dess kinetiska energi innan den landar på en matta.



Figur 52. Koncept 26.

5 Utvärdering av koncept

Efter framtagningen av totalt 26 lösningskoncept genomförs en process för att identifiera och eliminera dem som inte uppfyller projektets krav eller bedöms vara olämpliga för drift i SSRS operativa miljö.

Ytterligare skäl för eliminering:

Överdriven komplexitet i rörelse- eller fångstmekanismen.

Koncept som kräver precis synkronisering, avancerad mekanik eller tidskritiska aktiveringar bedöms som för tekniskt komplicerade i relation till projektets mål och utvecklingsramar.

Koncepten 6L, 11L, 21L och 25L eliminerades.

Bristande miljörobusthet i kustnära, vindutsatta förhållanden.

Koncept som förlitar sig på aerodynamiska fenomen eller system känsliga för vindstörningar bedöms vara opålitliga i verklig SSRS-drift.

Koncept 22L eliminerades.

Avsaknad av tillförlitlig energireduktion.

Systemet måste kunna reducera drönarens kinetiska energi på ett styrt sätt.

Koncepten 9L, 15L, 16L och 18L eliminerades.

Säkerhets- och återställningsproblem.

Risk för kvarhängande drönare, trassel, okontrollerade rörelser eller svåra återställningsförlopp.

Koncepten 1L, 3L, 5L, 8L, 12L, 13L och 26L eliminerades.

Användbarhet i en drönarrelaterad miljö.

Lösningar som inte fungerar med drönarens geometri och/eller bedöms ekonomiskt orealistisk.

Koncepten 14L, 19L, 20L, 23L och 24L eliminerades.

Tabell 4 redovisar en elimineringsmatris som sammanfattar utfallet av den genomförda elimineringsprocessen. Matrisen utgör inte ett separat analyssteg, utan fungerar som en strukturerad redovisning av vilka koncept som har uteslutits och på vilka grunder.

Varje koncept har bedömts mot ett antal övergripande kriterier relevanta för uppdraget och uppdragsgivaren. I tabellen används symbolerna (+), (-) och (?) för att indikera positiv uppfyllelse, negativ uppfyllelse respektive osäker eller otillräcklig bedömning.

Kolumnen "*Tillräcklig information*" avser huruvida konceptet kan analyseras på ett meningsfullt sätt baserat på tillgängligt informationsunderlag och förståelse för dess funktion.

Tabell 4. Elimineringssmatris.

Lösning	Uppfyller alla krav	Realiserbar i projektet	Passar uppdragsgivaren	Tillräcklig information	Beslut
1L	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)
2L	(?)	(+)	(+)	(+)	(+)
3L	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)
4L	(?)	(+)	(+)	(+)	(+)
5L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
6L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
7L	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
8L	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
9L	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
10L	(-)	(+)	(-)	(?)	(+)
11L	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
12L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
13L	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
14L	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
15L	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
16L	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
17L	(?)	(+)	(+)	(+)	(+)
18L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
19L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
20L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
21L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
22L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
23L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
24L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
25L	(?)	(-)	(-)	(-)	(-)
26L	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)

De återstående lösningskoncepten är alltså 2L, 4L, 7L, 10L och 17L.

5.1 Utvärdering av kvarstående koncept

De fem återstående koncepten uppfyller samtliga grundläggande krav och bedömdes vara tekniskt genomförbara.

Syftet med den fortsatta utvärderingen var därför inte att verifiera funktion, utan att möjliggöra en jämförande bedömning mellan koncepten i syfte att ytterligare reducera antalet tills ett huvudkoncept återstår för vidare utveckling.

Koncepten 2L och 4L eliminerades på grund av att den stela vajern i avsaknad av dämpning skulle överföra hela belastningen direkt till kroken och konstruktionen, vilket riskerar både skador och en instabil inbromsningssekvens.

Koncept 10L eliminerades på grund av att krockkudden riskerar att deformeras och inte expandera helt på grund av väderförhållanden, och det kan leda till skador på drönaren.

Koncept 7L är likvärdigt med koncept 17L, men koncept 17L saknar det bredare låsmekanismen på svanskroken som är fäst vid drönaren och elimineras av det skälet.

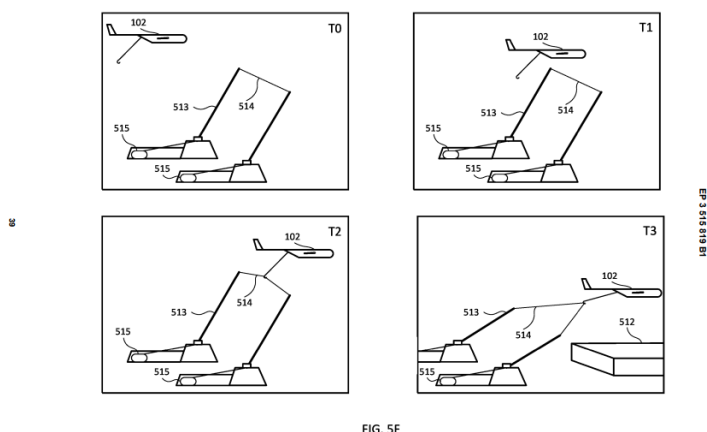
Koncept 7L är alltså det resulterande förslaget till lösning på det aktuella problemet.

Med tanke på att koncept 7L är det sista bestående konceptet kommer det nu bara att hänvisas som koncept 7.

Konceptet baseras på en princip för infångning av fastvingsdrönare som redan används operativt inom kommersiell drönarlogistik.

En välkänd tillämpning av denna princip återfinns hos företaget Zipline, som bedriver medicinska leveranser med fastvingsdrönare i bland annat avlägsna och infrastruktursvaga områden.

Denna lösning är patenterad, och figur 53–54 visar utdrag ur patentskyddat material som illustrerar infångningsprincipen samt drönarens utfällbara krok. Figurerna används i detta arbete i syfte att belysa den principiella funktionaliteten bakom koncept 7 och utgör inte ett förslag på direkt kopiering av den patenterade lösningen.



Figur 53. Patentbild av koncept 7, infångningsprocess av Zipline.

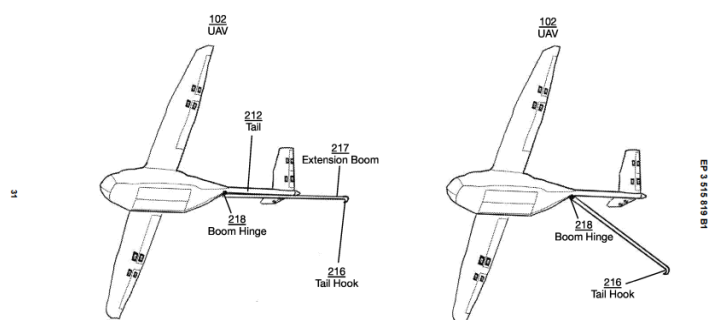


FIG. 2C

Figur 54. Patentbild av koncept 7, kopplingskrok av Zipline.

5.2 Resulteraende lösningsförslag

Det framtagna lösningskonceptet baseras på den tidigare beskrivna infångningsprincipen, men har dimensionerats och anpassats för den mindre fastvingsdrönaren som studeras i projektet. Ziplines faktiska implementation är dock dimensionerad för betydligt större och tyngre drönare samt för stationär markinstallation, vilket medför en infångningsstruktur och dämpningssystem som är för stora och tunga för SSRS tillämpning.

För att konceptet ska vara tillämpbart inom projektets ramar krävs därför en anpassning av infångningssystemets komponenter för att matcha den studerade drönarens massa, geometri och inflygningsförutsättningar. En jämförelse mellan systemen redovisas i tabell 5.

5.3 Anpassning till drönare

Tabell 5. Jämförelse mellan Zipline-drönare och koncept 7-drönare

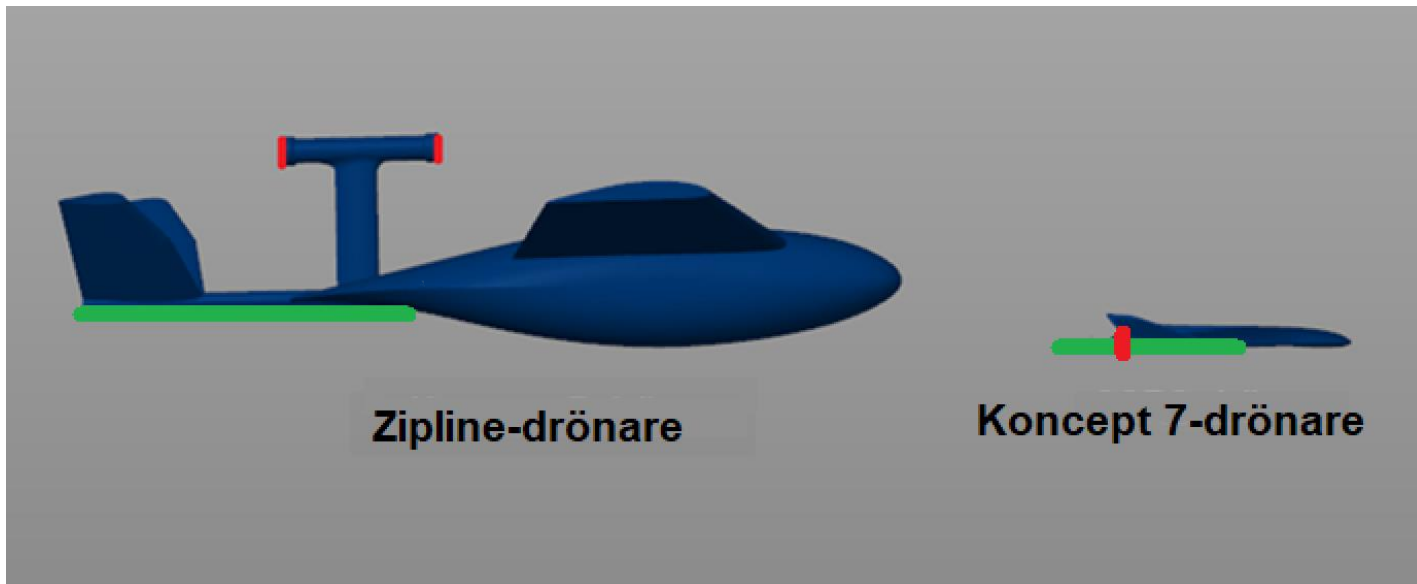
Parameter	Zipline-drönare	Koncept 7-drönare
Bredd	3300 mm	862 mm
Längd	2180 mm	520 mm
Höjd	610 mm	35 mm
Massa	20 kg	900 g
Genomsnittlig flyghastighet vid landning	28 m/s	20 m/s
Kinetisk energi	7840 J	180 J

Den avgörande skillnaden mellan referenssystemet och koncept 7 är inte främst drönarens storlek, utan den kinetiska energi som måste tas upp vid infångning. Som framgår av tabell 5 uppgår drönarens rörelseenergi i koncept 7 till cirka 180 J, medan motsvarande för referensdrönaren är cirka 7840 J. Detta innebär att energin i referensfallet är ungefär 44 gånger större.

Eftersom infångningssystemets dimensionering i första hand bestäms av den energi som ska absorberas kan återtagningmekanismen i detta projekt göras betydligt mindre och lättare, samtidigt som den fortfarande uppfyller kraven på säker energireduktion. Detta möjliggör en mer portabel och mindre resurskrävande konstruktion.

5.4 Anpassning av krokmechanismen

Drönaren som används i Ziplines implementation skiljer sig även geometriskt från den drönare som utgör grunden för koncept 7, särskilt avseende framdrivningssystemets utformning som visas i figur 55. Detta innebär att krokmechanismen har behövt anpassas för att fungera med den studerade drönarens propellerplacering och geometri.

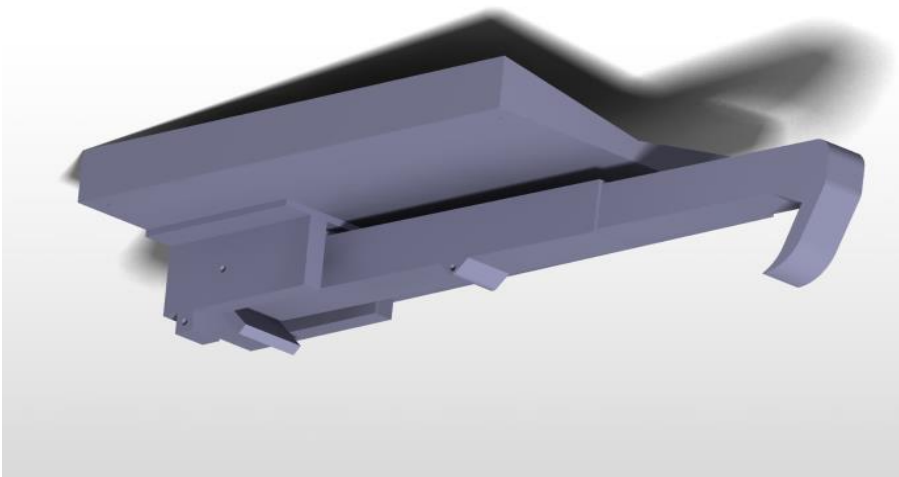


Figur 55. Jämförelse av positionering av Zipline:s och koncept 7-drönarens framdrivning (röd) samt krokposition (grön).

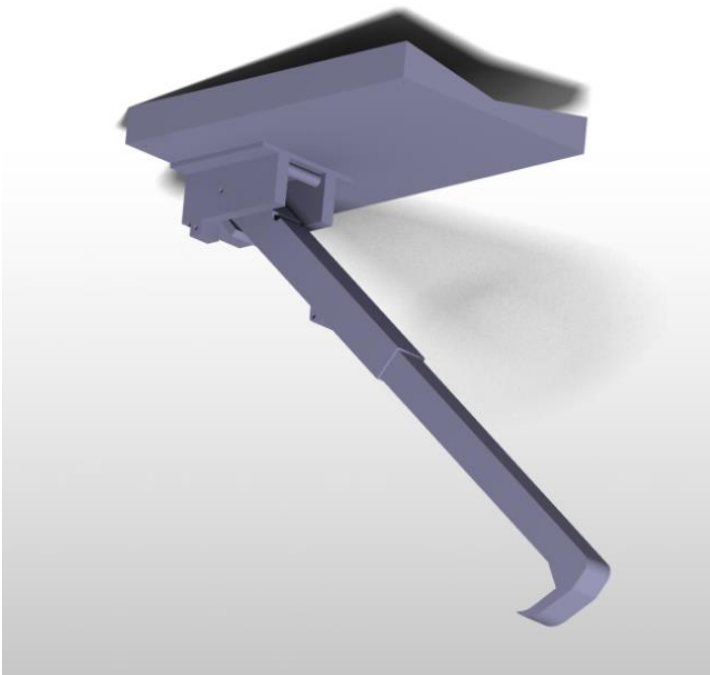
Den ursprungliga krokdesignen skulle fastna i propellern på koncept 7-drönaren, så en vikbar design för kroken skapades i en storlek som skulle passa den, Inspiration hämtades också från den typ av krok som används i jetplan vid landning på hangarfartyg, exempel visas i figur 56 ,eftersom de också är vikbara för att hantera det lilla utrymme som är tillgängligt.



Figur 56. Kroken som används på militärflygplanet F/A-18 för att haka i gripvajern i ett Mk-7-bromssystem på ett hangarfartyg.

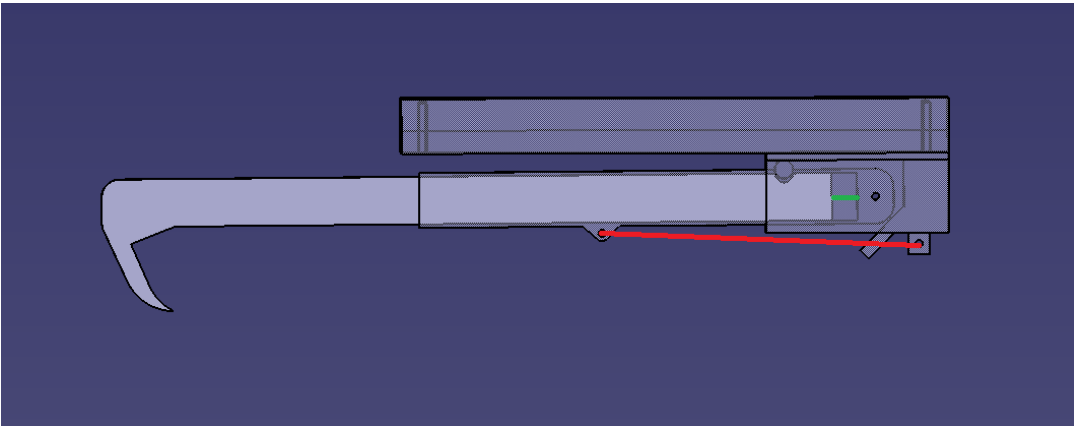


Figur 57. Fällbar krokmeکانism för koncept 7-drönare (hopvikt).

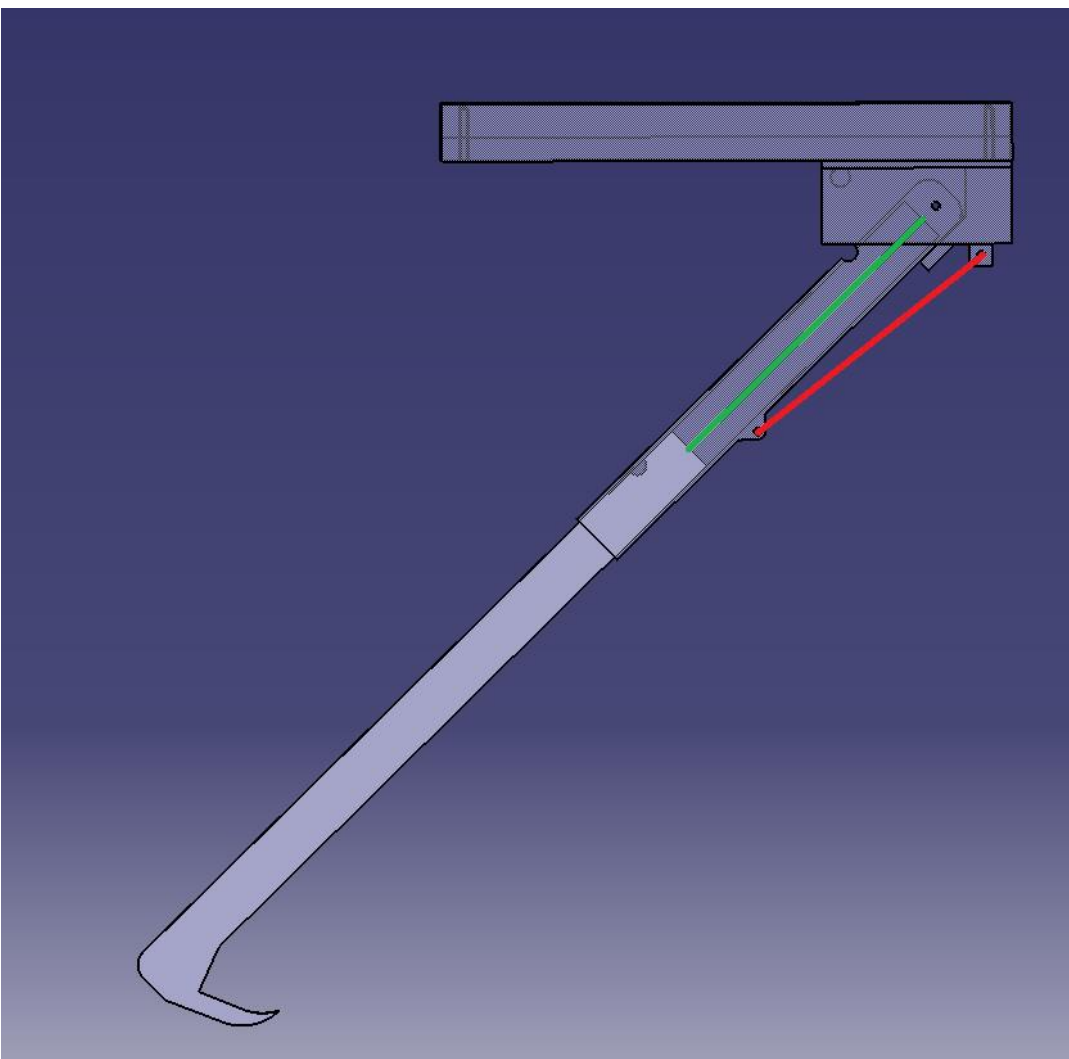


Figur 58. Fällbar krokmeکانism för koncept 7-drönare (utvikt).

Figurerna 57 och 58 visar den slutliga utformningen av den anpassade krokkonstruktionen. Kroken är utformad som en fällbar mekanism med två integrerade fjädrar som tillsammans säkerställer korrekt funktion under infångningsförloppet. Den första fjädern är dimensionerad för att fälla ned kroken från drönarkroppen till en vinkel om cirka 45°, vilket skapar en gynnsam geometri för att fånga vajern på ett kontrollerat och repeterbart sätt. Denna vinkel minskar risken för glidning längs vajern och bidrar till att stabilisera kroken vid initial kontakt. Den andra fjädern ansvarar för att föra kroken till sitt fullt utfällda läge efter nedfällning. Detta möjliggör ett tillräckligt ingreppsdjup mellan krok och vajer för att säkerställa en pålitlig infångning även vid mindre avvikelser i inflygningshöjd eller orientering. Hur båda fjädrarna fungerar och deras placering i hopvikt och utvikt läge på kroken visas i figur 59 och 60.

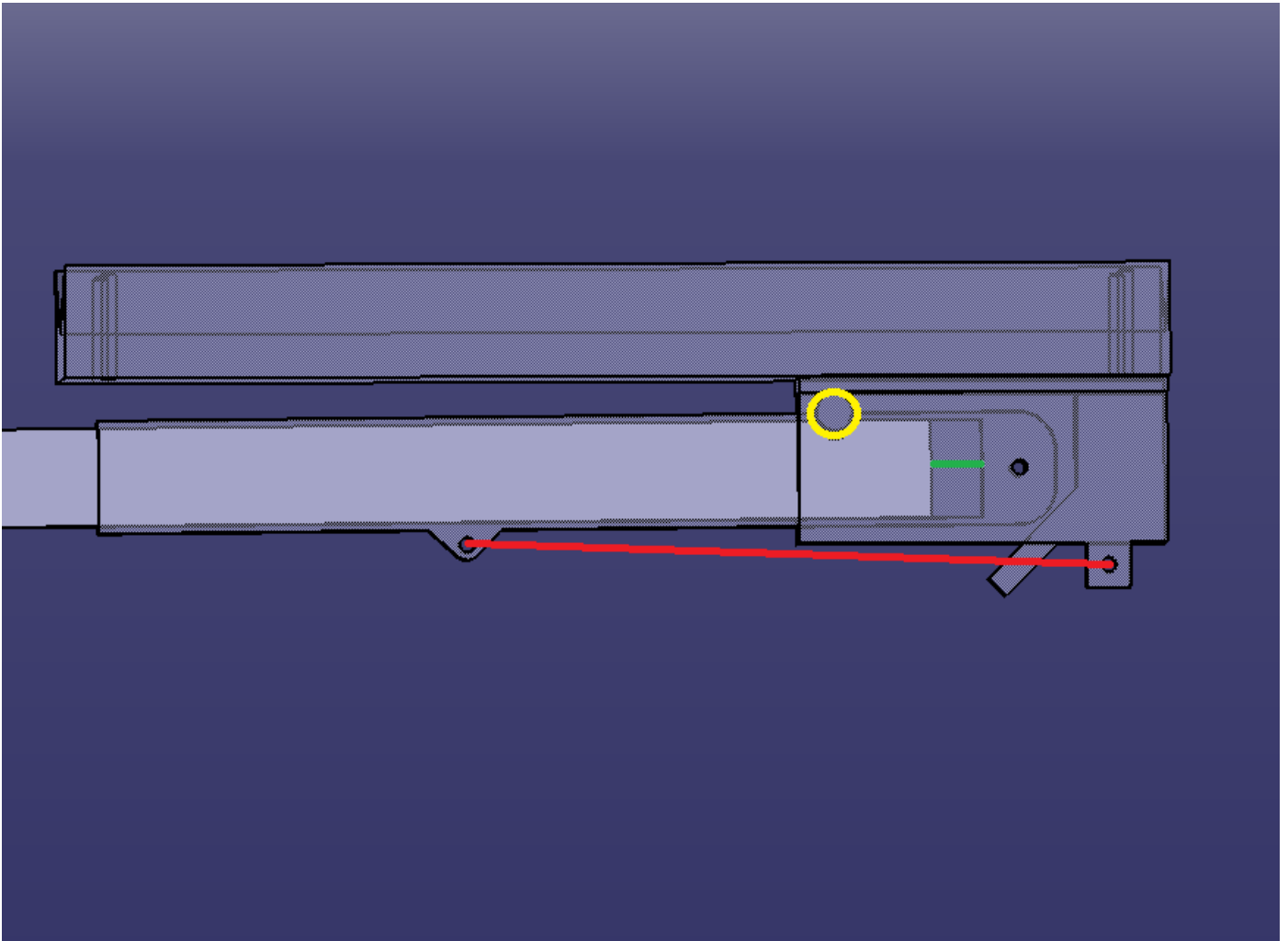


Figur 59. Fällbar krokmeکانism för koncept 7-drönare (hopvikt) med expansionsfjäder (grön) och dragfjäder (röd).



Figur 60. Fällbar krokmeکانism för koncept 7-drönare (utvikt) med expansionsfjäder (grön) och dragfjäder (röd).

För att förhindra att kroken vid utfällning interfererar med den bakre propellern har en mekanisk stoppanordning integrerats i konstruktionen. Denna utgörs av en fast begränsningsstång som definierar krockens maximala utsträckning och säkerställer att ett säkert avstånd till propellern upprätthålls under samtliga driftlägen och mekanismen redovisas i figur 61.



Figur 61. Fällbar krockmekanism för koncept 7-drönare (hopvikt), med mekanisk stoppanordning (gul), expansionsfjäder (grön) och dragfjäder (röd).

På så sätt kombineras funktionssäker infångning med skydd av kritiska roterande komponenter.

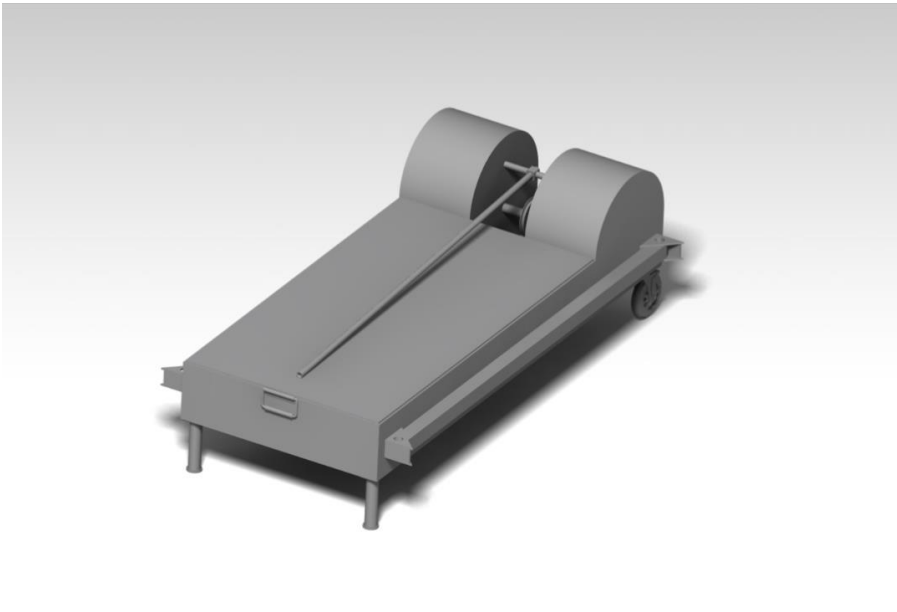
5.5 Anpassning av återtagningsmekanisms enhet

Den ursprungliga utformningen av koncept 7 baserades på en storskalig, permanent installerad återtagningsstruktur bestående av höga metallpyloner som bar upp en spänd vajer som används av Zipline, men den bedömdes vara olämplig för SSRS på grund av skillnader i skala, operativa krav och systemets användningsområde. Särskilt konstruktionens storlek, massa och fasta installation står i konflikt med SSRS-systemets krav på portabilitet, snabb etablering och flexibel användning. Trots detta är den grundläggande återtagningsprincipen i koncept 7 väl anpassad till SSRS-systemets funktionella behov.

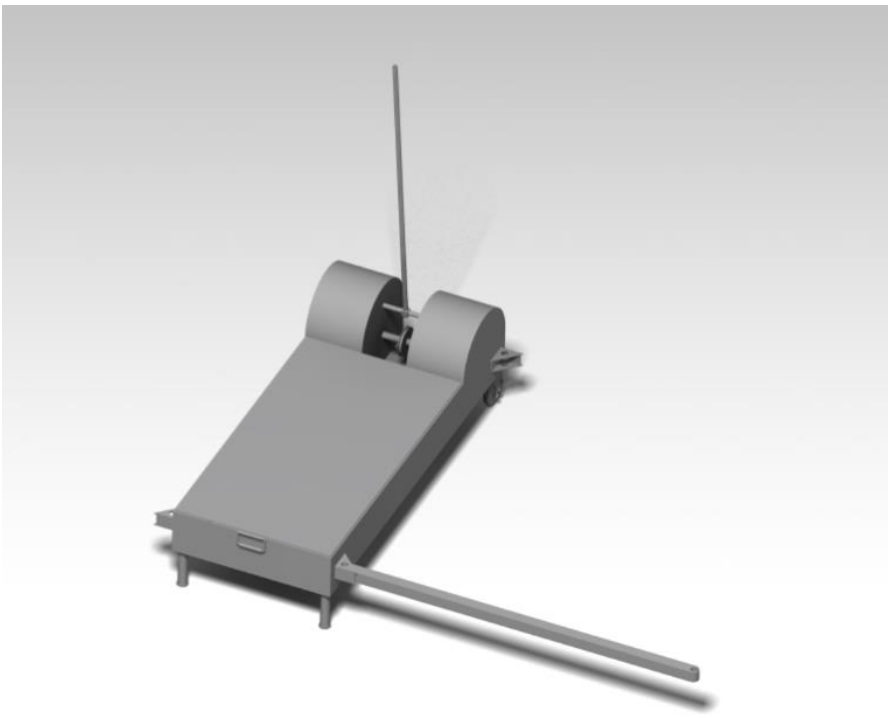


Figur 62. F/A-18 landar med hjälp av en gripvajer på ett hangarfartyg.

Med utgångspunkt i denna princip har återtagningsmekanismen omarbetats för att behålla funktionen hos den uppspända vajern, som visas i figur 62, samtidigt som systemets storlek och strukturella komplexitet har reducerats. Den omarbetade lösningen ersätter permanenta pyloner med en lätt, modulär bärstruktur som kan fällas samman för transport och snabbt monteras i fält. Konstruktionen är skalad för att motsvara den lägre massan och de lägre inflygningshastigheterna hos SSRS-systemets måldrönare, vilket medför reducerade laster och förenklade krav på energiupptagning. Genom denna anpassning bibehålls fördelarna hos det ursprungliga konceptet samtidigt som SSRS-systemets krav på rörlighet och praktisk användbarhet uppfylls.



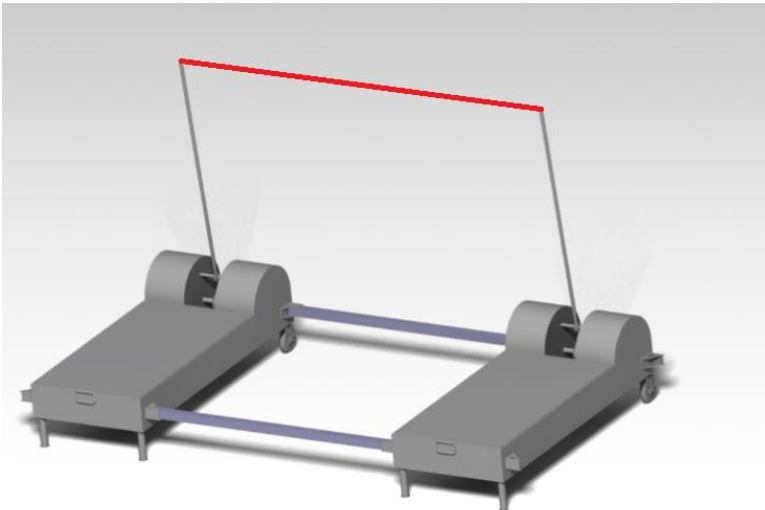
Figur 63. Hälften av återtagningsenheten utvecklad för SSRS (hopvikt).



Figur 64. Hälften av återtagningsenheten utvecklad för SSRS (utvikt).

Figur 63 och 64 visar återtagningsenheten i infällt respektive utfällt konfigurationsläge. Enheten är utformad som en kompakt boxstruktur som kan fällas ut för att sammankopplas med en spegelvänd motsvarande enhet och därigenom bilda ett komplett återtagningssystem.

I utfällt läge sträcker sig en förlängningsarm ut från boxstrukturen. Denna arm är motoriserad och dess position regleras av en intern drivmotor, vilket möjliggör kontrollerad inställning av dess position. Mellan förlängningsarmarna hos de sammankopplade enheterna spänns en vajer som utgör den fångande komponenten i infångningsprocessen.



Figur 65. Kompletta återtagningssystemet utvecklat med vajer markerad i rött.

Inuti boxstrukturen är en elektrisk vinsch integrerad, vilken är mekaniskt kopplad till vajern. Vinschen fungerar som broms under återtagningen genom att kontrollera vajerns utmatning och därigenom absorbera drönarens rörelseenergi på ett kontrollerat sätt.

Dimensioneringen av återtagningssystemets vinschar baserades på den belastning som uppstår när drönarens rörelseenergi reduceras vid infångning. Den studerade drönaren har en massa på cirka 0,9 kg, vilket tillsammans med kroksystemet avrundades till 1 kg för dimensioneringsändamål. Normal inflygningshastighet är cirka 20 m/s, med maximala topphastigheter upp till 30 m/s.

Vid infångning sker en dynamisk inbromsning där drönarens rörelsemängd reduceras till noll under en begränsad tidsperiod. Stoppförloppet modellerades förenklat som en kontrollerad retardation med en bromstid på 0,5 s, vilket motsvarar den tid som krävs för att lasten ska överföras via fångstvajern till vinschsystemet.

$$F = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t} ; a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

vilket ger en dimensionerande kraftnivå som därefter multiplicerades med en dynamisk förstärkningsfaktor för att ta hänsyn till stötblastning vid plötslig lastupptagning.

Systemet är konstruerat med två symmetriskt placerade vinschar som i normalfallet delar belastningen lika. För att säkerställa robusthet analyserades även ett konservativt en-felsfall där en ensam vinsch antas uppta hela belastningen.

De vinschar som valdes för konstruktionen är dimensionerade för en statisk last motsvarande cirka 600 kg, vilket ger en mycket hög säkerhetsfaktor i förhållande till den dimensionerande dynamiska lasten från en 1 kg drönare. Detta innebär att vinschsystemet har betydande kapacitetsmarginal även vid ogynnsamma lastfall.

$$F_{Drönare} = 1 \cdot \frac{20}{0.5} = 40 \text{ N} ; F_{Vinsch} = 600 \cdot 9.81 \approx 5886 \text{ N} \approx 5900 \text{ N}$$

$$\frac{5900}{40} \approx 147$$

Även med en dynamisk förstärkningsfaktor på 10, vilket är för ett extremt dynamiskt system, har marginalfallet med en enda vinsch som tar upp all drönarkraft en säkerhetsfaktor på 14,7.

Valet av vinsch baserades således på den beräknade minsta erforderliga bromskapaciteten, medan den faktiska komponenten valdes med avsevärt högre lastklass för att säkerställa tillförlitlighet, livslängd och robust funktion i kustnära miljöer.

Denna lösning möjliggör justerbar bromsning och anpassning till olika inflygningsförhållanden och drönartyper.

För att uppfylla kraven på mobilitet och snabb insats är återtagningsenheten utrustad med låsbara hjul samt ett integrerat handtag. I infällt läge kan enheten därmed transporteras på ett sätt som motsvarar en rullväska, vilket underlättar förflyttning och hantering av systemet i fält.

En systematisk genomgång av samtliga krav i kravspecifikationen (tabell 1) har genomförts i relation till det framtagna konceptet.

De funktionella kraven, såsom infångningshastighet (11–30 m/s), kraftbegränsning (≤ 400 N) och krav på begränsad skadenivå, har verifierats genom energiberäkningar och dimensioneringsanalys.

Resultaten visar att systemet arbetar med betydande säkerhetsmarginaler i förhållande till de maximala belastningar som kan uppstå vid infångning.

Geometriska och logistiska krav, exempelvis transportmått, bärbarhet (≤ 35 kg) och installationstid, har beaktats vid dimensionering av den vikbara och modulära konstruktionen. Systemets massa och volym understiger de uppställda gränsvärdena.

Miljö- och hållbarhetskrav, såsom korrosionsbeständighet (C4), temperaturintervall och livslängd, bedöms uppfyllas genom val av kommersiellt tillgängliga komponenter avsedda för utomhusbruk samt ytbehandling av bärande struktur.

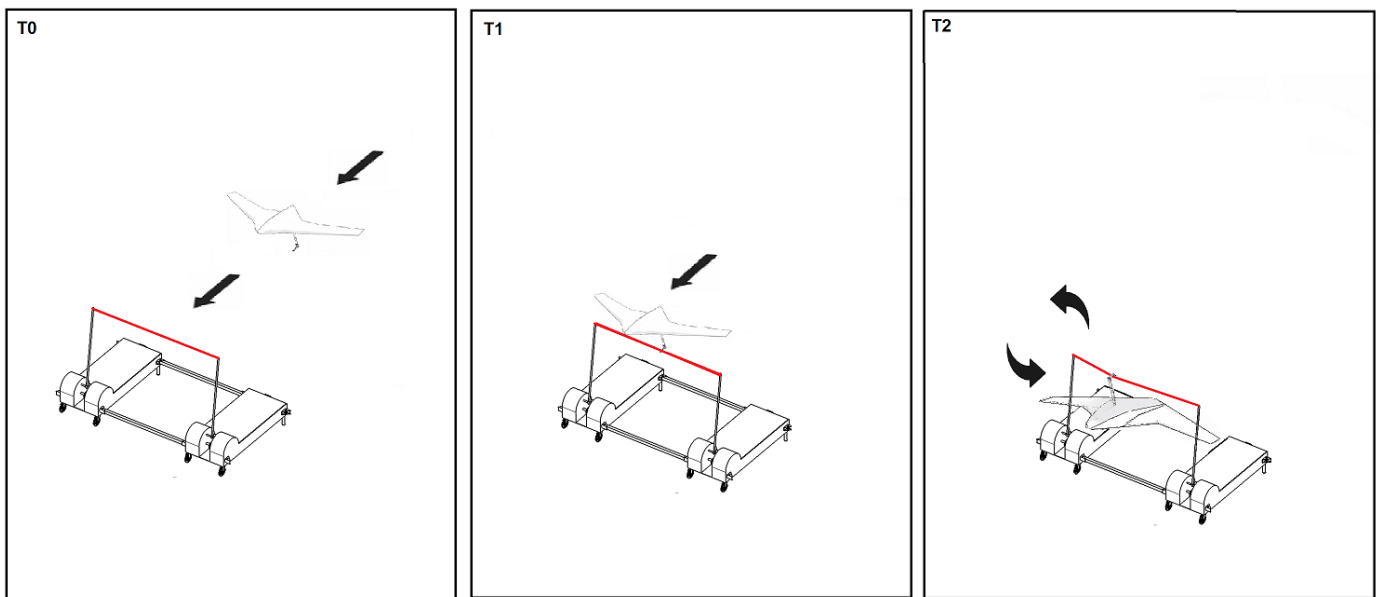
Driftsäkerhet (≥ 99 % lyckad infångning), långtidshållfasthet och underhållsintervall kan dock inte fullt verifieras på konceptuell nivå och kräver funktionsprototyper samt fälttester för slutlig validering. Sammantaget visar analysen att det framtagna konceptet uppfyller samtliga identifierade krav på konceptuell nivå, med undantag för de parametrar som kräver experimentell verifiering.

5.6 Resultande lösningsarkitektur

Systemet består av två identiska, spegelvända återtagningsenheter placerade mittemot varandra och mekaniskt sammankopplade via en fångstvajer samt kopplingsarmar, markerade i figur 65.

Fångstvajern är uppspänd mellan enheternas förlängningsarmar och utgör den primära mekaniska gränssytan vid infångning av drönaren. Vid kontakt mellan drönarens krok och vajern överförs lasten symmetriskt till de båda återtagningsenheterna, där rörelsen bromsas genom de integrerade vinschmekanismerna.

Den symmetriska uppbyggnaden bidrar till jämn lastfördelning och reducerar risken för snedbelastning under infångningsförloppet. Infångningssekvensen illustreras stegvis i figur 66.



Figur 66. Stegvis infångningsprocess koncept 7.

6 Analys av resultat

Analysen visar att den föreslagna lösningen uppfyller SSRS operativa behov på flera nivåer. Systemets funktion har verifierats på konceptuell nivå genom analytiska beräkningar, vilka visar att de belastningar som uppstår vid infångning och inbromsning av drönaren kan hanteras inom rimliga gränser utan risk för strukturell överbelastning.

De material som återstår efter den genomförda elimineringsprocessen är främst aluminium och kolfiberbaserade kompositer. I den inledande materialgenomgången beaktades även tätare konstruktionsmaterial såsom stål och andra höghållfasta metaller, men dessa eliminerades på grund av sin höga densitet i förhållande till kraven på portabilitet och låg totalmassa. Även material med otillräcklig styvhet eller begränsad korrosionsbeständighet sorterades bort. Aluminium och kolfiberkompositer kombinerar låg densitet med hög specifik styvhet och god tillverkningsbarhet, vilket gör dem väl lämpade för både kroksystem och bärande struktur. Därmed kan systemets totala massa hållas låg utan att funktion eller strukturell robusthet försämras.

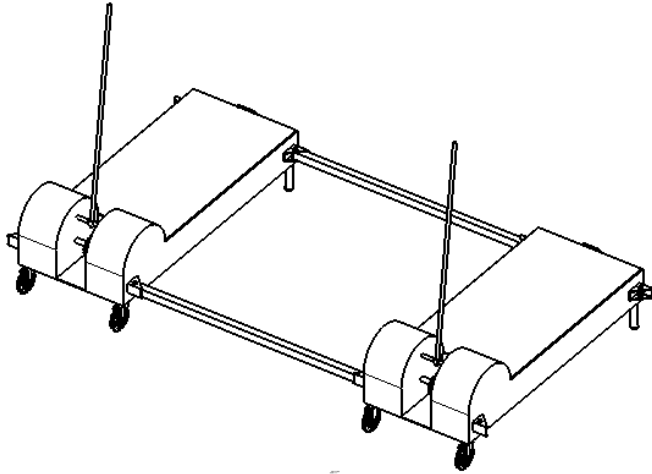
Lösningen är vidare utformad för att kunna integreras med befintlig drönarstyrning. Detta möjliggörs genom att systemets aktiva komponenter är enkla mekanismer, exempelvis servodrivna ställdon för kroksystemet, vilka kan styras via befintliga kontrollgränssnitt i drönarens programvara, såsom ArduPilot. Därmed krävs ingen separat styrplattform, vilket förenklar både implementation och användning.

Den föreslagna konstruktionen är även anpassad för praktisk hantering i kustnära miljöer. Återtagningsenheternas dimensioner möjliggör transport i standardiserade släpvagnar och snabb driftsättning på plats, vilket är avgörande vid operativa räddningsinsatser.

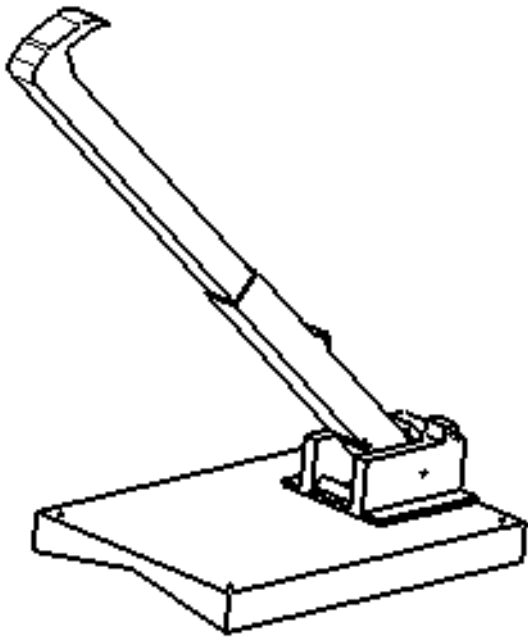
Sammanfattningsvis visar analysen att den slutliga lösningen uppfyller SSRS krav avseende funktionalitet, portabilitet, kostnad och säkerhet. Lösningen bygger på en enkel och robust grundprincip som är tekniskt genomförbar, lätt att integrera i befintliga system och möjlig att vidareutveckla för framtida behov.

För att konkretisera det valda konceptet redovisas i figurerna 67, 68, 69 och 70 den föreslagna återtagningsstrukturens geometri och den fysiska utformningen av kroksystemet. De isometriska vyerna visar den konceptuella utformningen av återtagningsenheten och dess huvudkomponenter, medan fotografierna illustrerar en fysiskt framtagen krokprototyp samt dess montering på en testdrönare.

Syftet med dessa bilder är att visa hur konceptet kan realiseras i praktiken samt att verifiera geometrisk kompatibilitet och monterbarhet, snarare än att presentera en färdig konstruktionslösning.



Figur 67. Isometrisk vy av monteringsdesign.



Figur 68. Isometrisk vy av krokdesign.



Figur 69. Krokprototyp på testdrönare (PLA).



Figur 70. Krokprototyp fäst på en testdrönare (polyuretanskum) i utvikt (vänster) och hopvikt (höger) läge.

7 Diskussion och fortsatt arbete

Den föreslagna lösningen visar att en etablerad infångningsprincip kan anpassas till mindre fastvingsdrönare inom sjöräddningsverksamhet. En central insikt i arbetet är att dimensioneringen i första hand styrs av den kinetiska energi som ska absorberas, snarare än av drönarens fysiska storlek. Detta har möjliggjort en betydligt mer kompakt konstruktion jämfört med storskaliga kommersiella system. Samtidigt innebär denna skalning att toleranser och säkerhetsmarginaler blir proportionellt mer kritiska, särskilt vid varierande inflygningshastigheter och vindförhållanden.

Metodmässigt har arbetet följt en strukturerad produktutvecklingsprocess med morfologisk matris och systematisk eliminering. Denna metod har varit effektiv för att bredda lösningsrymden och samtidigt behålla spårbarhet i beslutsfattandet. Samtidigt innebär den kvalitativa elimineringsprocessen att vissa bedömningar baseras på ingenjörsmässig uppskattning snarare än experimentell verifiering. Resultatet är därför starkt på konceptuell nivå men ännu inte empiriskt validerat.

De analytiska beräkningarna indikerar att systemet kan hantera de förväntade belastningarna. Dock bygger dessa på idealiserade antaganden om lastfall och energifördelning. I verklig drift kan asymmetrisk infångning, vindbyar eller variationer i krokens angreppspunkt påverka lastfördelningen mellan enheterna.

Detta understryker behovet av praktiska tester för att verifiera systemets dynamiska beteende.

En ytterligare aspekt är systemets operativa användning. Den modulära och bärbara utformningen är anpassad för kustnära miljöer, men praktisk hantering, uppställningstid och robusthet mot korrosion och saltpåverkan behöver studeras närmare. Projektet har främst fokuserat på den tekniska huvudfunktionen, energireduktion och infångning, medan långsiktig hållbarhet och underhållsstrategier endast har behandlats översiktligt.

Sammanfattningsvis visar arbetet att konceptet är tekniskt genomförbart på teoretisk nivå och metodiskt välgrundat, men att dess praktiska tillförlitlighet och operativa effektivitet måste verifieras genom mer prototyputveckling och fälttester.

En aspekt som identifierades under presentation och opposition är dimensioneringen av konstruktionsmaterialen, särskilt användningen av aluminiumplåt med en tjocklek på 6 mm i huvudstrukturen. Valet baserades initialt på standarddimensioner för kommersiellt tillgängliga aluminiumplåtar samt behovet av strukturell robusthet i en utsatt kustmiljö. Det är dock möjligt att konstruktionen är överdimensionerad. En reducerad materialtjocklek, exempelvis 3 mm i kombination med skyddande ytbehandling, skulle potentiellt kunna ge tillräcklig hållfasthet samtidigt som systemets totala massa minskar. Detta bör analyseras vidare genom detaljerade hållfasthetsberäkningar och utgör ett relevant område för framtida arbete.

Vidare genomfördes materialurvalet genom en förenklad elimineringsprocess baserad på övergripande kriterier såsom låg massa, korrosionsbeständighet, tillverkningsbarhet och tidigare beprövad användning inom drönar- och marinrelaterade konstruktioner. Detta innebar att material som aluminium, kolfiberkompositer, konstruktionsstål och vissa polymera material prioriterades, medan alternativ med hög densitet, låg miljötålighet eller begränsad bearbetningsbarhet exkluderades. En mer systematisk och kvantitativ materialelektion, exempelvis med fler viktade kriterier och livscykelanalyser, skulle ytterligare kunna stärka metodens transparens och utgör därför ett förbättringsområde.

Under konceptreduceringsprocessen kan en viss överrepresentation av vajerbaserade infångningslösningar noteras. Detta var dock inte resultatet av en avsiktlig metodmässig bias, utan snarare en följd av att vajerbaserad energiupptagning är en beprövad och driftsäker princip för infångning av fastvingsdrönare. Metoden erbjuder förutsägbar lastfördelning, robust mekanisk funktion och har visat god tillämpbarhet i befintliga system. Det bör samtidigt betonas att det framtagna konceptet inte nödvändigtvis representerar en optimal slutlösning, utan snarare en tekniskt anpassad och praktiskt genomförbar lösning inom projektets ramar.

Det finns därför utrymme för vidare konceptuell breddning. Alternativa infångningsmetoder, såsom system där en fångstvajer bärs upp av två samverkande luftburna plattformar, har exempelvis demonstrerats i experimentella studier vid NTNU. Sådana lösningar skulle potentiellt kunna erbjuda ökad flexibilitet i miljöer där markbaserade system är svåra att installera.

Slutligen bör även miljömässiga och ekonomiska aspekter beaktas i större utsträckning vid fortsatt utveckling. Materialval, tillverkningsprocesser och systemets totala resursanvändning påverkar både klimatavtryck och livscykelkostnader. Det är möjligt att mer avancerade material eller alternativa konstruktionsprinciper kan ge förbättrad prestanda, men detta kräver verifiering genom fullskaliga prototyper och praktiska fälttester.

8 Slutsatser

Projektet har resulterat i ett konceptuellt utformat, portabelt infångningssystem för fastvingsdrönare, baserat på mekanisk energiupptagning via en uppspänd fångstvajer mellan två sammankopplade återtagningseenheter. Systemet är dimensionerat utifrån drönarens kinetiska energi vid inflygning (cirka 180 J) och utgör en skalad anpassning av en etablerad infångningsprincip till sjöräddningens operativa förutsättningar.

Följande slutsatser kan dras:

- Det framtagna konceptet uppfyller projektets huvudmål genom att möjliggöra kontrollerad energiupptagning och säker återtagning av en mindre fastvingsdrönare inom definierade last- och hastighetsintervall.
- Analytiska beräkningar visar att systemets dimensionering är tillräcklig för att absorbera den aktuella rörelseenergin utan strukturell överbelastning, under de antaganden som gjorts för lastfall och inflygningshastighet.
- Den använda utvecklingsmetodiken, baserad på morfologisk matris och systematisk eliminering, har möjliggjort en spårbar och strukturerad konceptframtagning där tekniskt olämpliga lösningar successivt har uteslutits.
- Den modulära och vikbara konstruktionen skapar förutsättningar för transport, snabb uppställning och praktisk användning i kustnära miljöer, vilket är centralt för operativ tillämpning inom sjöräddning.

Sammanfattningsvis visar arbetet att en etablerad infångningsprincip kan skalas och anpassas till ett portabelt system för drönaråtertagning, med teknisk genomförbarhet på konceptuell nivå. Slutlig verifiering av systemets prestanda och robusthet kräver dock prototyputveckling och experimentell validering.

Referenser

[1] Quantum-Systems. "Fixed Wing Drone: The Complete Guide for Professionals". [Online]. Tillgänglig: <https://quantum-systems.com/blog/geo/fixed-wing-drone-the-complete-guide-for-professionals/> (hämtad: 2025-09-17)

[2] Evertsson M., Melkersson K. och Mägi M. (2017). Maskinelement. (Upplaga 1:2). Studentlitteratur AB, Lund.

[3] Bild från Wingfors mfl. 2023 8.

[4] Wildlife Control Supplies. "WCS Net Blaster™ — Product Code: SP-10500.". [Online]. Tillgänglig: WildlifeControlSupplies.com, <https://www.wildlifecontrolsupplies.com/animal/SP-10500.html> (hämtad: 2025-12-01)

[5] DVIDS. "VMU-2 flies RQ-21A in 'Class D' airspace." DVIDS Hub, 21 Mar. 2016,. [Online]. Tillgänglig: <https://www.dvidshub.net/news/193468/vmu-2-flies-rq-21a-class-d-airspace>. (hämtad: 2025-12-01)

[6] Advexure. "Hextronics Atlas.". [Online]. Tillgänglig: <https://advexure.com/products/hextronics-atlas?srsId=AfmBOoqrcTp0dWmsewrp-emSq2ptDVfL2vhHBzlpkLZUjRtVWx0UkpPK>. (hämtad: 2025-12-01)

[7] Winsun. "Winsun-WSP-231". [Online]. Tillgänglig: <https://winsunusa.com/product/airbag-landing-pad/> (hämtad: 2025-12-01)

[8] safetynet365. "Safety Nets with Overlay Panels". [Online]. Tillgänglig: <https://safetynet365.com/Safety-Nets-with-Overlay-Panels:::292.html> (hämtad: 2025-12-01)

[9] Aeromao. "Talon Fully Autonomous Belly Landing". [Online]. Tillgänglig: <https://aeromao.com/2018/10/18/talon-fully-autonomous-belly-landing/> (hämtad: 2025-12-01)

[10] Raptordynamic. "The RoadRunner.". [Online]. Tillgänglig: <https://raptordynamic.com/products/the-roadrunner-pickup-box-drone-tendering-unit> (hämtad: 2025-12-01)

[11] Fortem "Dronehunter F700.". [Online]. Tillgänglig: <https://fortemtech.com/products/dronehunter-f700/> (hämtad: 2025-12-01)

[12] Wikimedia Commons. "Olika bilder använda i denna rapport.". [Online]. Tillgänglig: <https://commons.wikimedia.org/> (hämtad: 2025-12-02)

Bilaga A – Sammanställning av information från intervju med SSRS

Nuvarande återtagning:

- Drönaren används för närvarande i begränsad omfattning.
- Landning sker vanligtvis i vatten, vilket kräver att båten kör fram till drönaren för att återta den.
- Detta är inte alltid praktiskt, särskilt om besättningen behöver transportera en räddad person till sjukhus.

Fördelar med nuvarande metod:

- Enkel lösning under ideala väderförhållanden.
- Vattenlandning fungerar relativt smidigt vid lugnt väder.
- Drönarens konstruktion är fördelaktig gällande hastighet, bildkvalitet och låg vikt.
- Minimal modifiering av nuvarande drönare föredras i en framtida lösning.

Problem med nuvarande metod:

- Hög risk för skador vid landning i ogynnsamma väderförhållanden.
- Manuell återtagning är tidskrävande och opraktisk under pågående insatser.
- Svårt att göra drönaren helt vattentät, särskilt med känslig avbildningsutrustning.
- Drönare som lämnas i vatten eller på mark exponeras för väder och kan snabbt ta skada.
- Landbaserade landningar kräver stora öppna ytor, vilket räddningsbåtar och kustmiljö sällan erbjuder.
- Vindförhållanden gör marklandningar riskabla.

Viktiga kriterier:

- **Säkerhet:** Drönare och personal ska skyddas mot skador.
- **Enkelhet i underhåll:** Begränsade resurser för reparation och tillsyn finns tillgängliga.
- **Hög tillförlitlighet:** Lösningen måste ha en hög lyckandefrekvens.
- **Robusthet:** Utsatt kustmiljö kräver tålighet mot salt, fukt och korrosion.
- **Skydd mot väder:** Om drönaren blir kvar i återtagningslösningen under längre tid måste den skyddas mot elementen.

Önskemål:

- Automatisk laddning efter återtagning.
- Automatiserat system för att göra drönaren startklar från samma plats där återtagning sker.

Prioritering:

1. Effektivitet
2. Säkerhet
3. Enkel installation och underhåll

Övriga förslag:

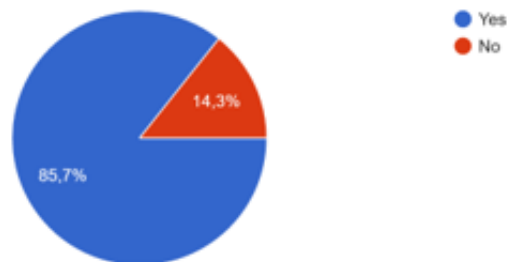
- Utforska VTOL-lösningar där drönaren startar vertikalt och övergår till horisontell flygning.

Bilaga B - Enkätfrågor samt sammanställda svar

What is your experience level with drones?



Have you used or flown fixed-wing drones before?



In your opinion, what are the safest methods for landing a small fixed-wing drone on land?

Autoland and parachute

Vtol tail sitters are safest.

standard runway / wheels or net catch mechanism (think volleyball net)

Soft or netted surface / basket

probably a net or something similar

Often landing in grass into the wind works best. Soft-ish surface and no need to align to a narrow runway. Obviously the aircraft needs to have a smooth bottom with a skid plate, and a 2-bladed (so it can rotate flat) or folding prop is ideal. A 3-bladed prop can dig in and break things.

Parachute

What challenges do you see with fixed-wing drone landings in general?

Unknown terrain

Landing space / approach constraints.

wind / weather and runway length

Instability at low speeds. Risk of prop damage or wing damage.

it would need a lot of space to land

Wind is often the mitigating factor, especially gusty wind because it can knock the aircraft around.

Relatively high speed impact with the ground.

If you had to recall (retrieve) a fixed-wing drone in a limited landing area (e.g. near water or on a vessel), what method would you prefer?

Autoland if possible

A net.

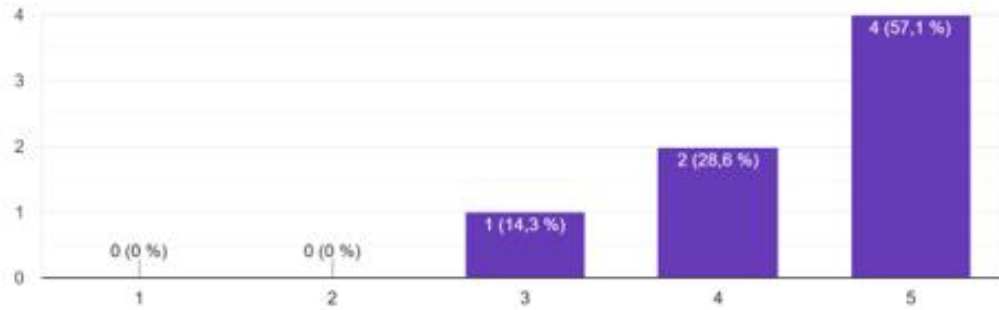
net catch mechanism

A net

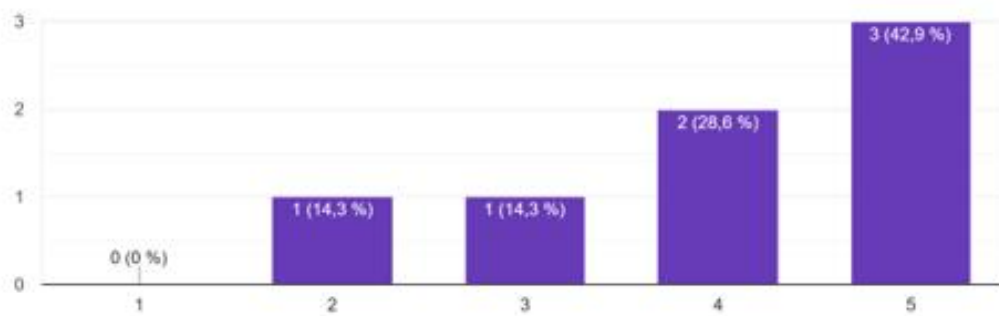
maybe a netted landing area

Landing into a net would probably be best, especially one which the props can tangle in because it decelerates slowly and sticks to the net. Also because you don't need great alignment like hand catching or a runway or an arresting wire needs. I've accidentally crashed my quads and planes into soccer nets and it works great.

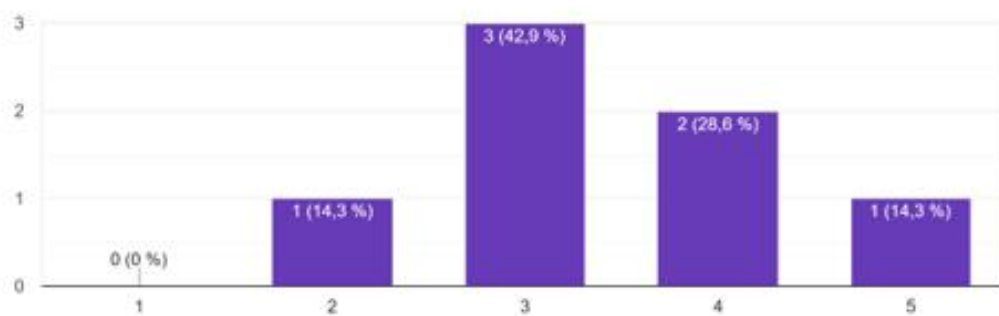
Preventing drone damage



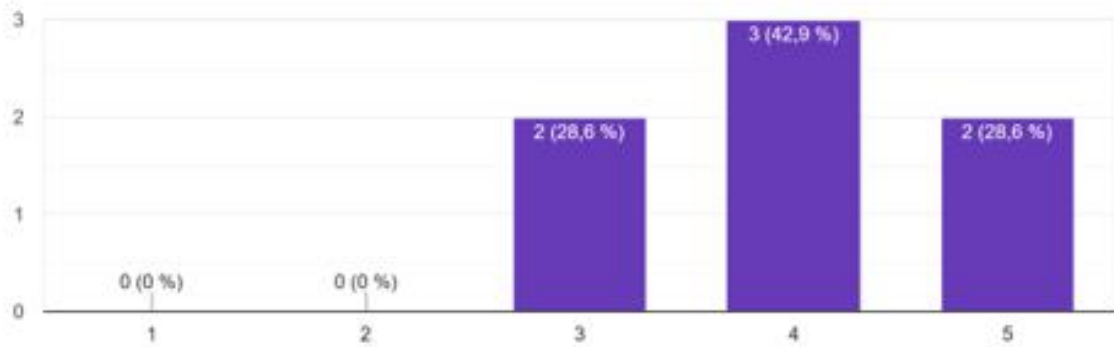
Quick and reliable recovery



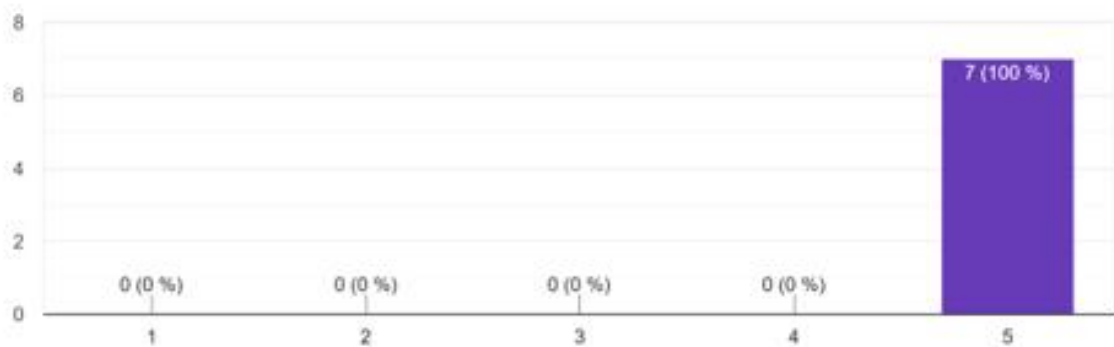
Ease of installation and use



Ability to function in limited space



Safety of operator and crew (The landing/recovery method should not pose a risk of injury to the person flying the drone, or to nearby people helping with the operation.)



Have you seen or used any particularly good landing or catching mechanisms for drones? (e.g. nets, parachutes, hand-catching, special gear)

Parachutes and nets

I usually fly tail sitters or belly Landers

nets

A net basket that can be flown into

just vertical landing of propeller drones

What improvements would you like to see in current drone landing/recovery solutions?

Choose landing options

Image positioning to improve landing accuracy for tail sitters.

Portability

that it takes up less space, portable maybe

Any other ideas or suggestions for safely recovering a small fixed-wing drone in a rescue/support scenario?

Nets are complicated in setup, parachute is preferable

An array of superconductors to magnetically contain the drone on re-entry

if the drone is small enough maybe it could have a landing base where it can also take off from

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

www.chalmers.se



CHALMERS