



CHALMERS



Skydd av avionik mot vatten i sjöräddningsdrönare

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

YASIN DEMIRCI
SIMON LUNDIN

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

Förord

I denna rapport beskrivs arbetsgången och resultatet från ett examensarbete med 15 högskolepoäng utfört av studenter från maskinteknikprogrammet med inriktningen konstruktion på 180 högskolepoäng. Arbetet utfördes på uppdrag av Sjöräddningssällskapet där Fredrik Falkman var gruppens externa handledare och kontaktperson. Examinator och handledare för projektet var universitetslektor Göran Gustafsson vid institutionen för industri- och materialvetenskap.

Vi vill rikta ett stort tack till Fredrik Falkman på SSRS för hans tålamod och möjligheten att arbeta med detta intressanta projekt.

Vi riktar även ett mycket stort tack till vår handledare Göran Gustafsson för all hjälp, vägledning och feedback som har varit vitalt för detta arbete.

Sammanfattning

Sjöräddningssällskapet, SSRS, bedriver sjöräddning inom större insjöar och längs våra kuster. Information om omständigheterna kring olycksplatsen och kommunikation är av ytterst vikt för att ge så goda förutsättningar som möjligt för en lyckad räddningsinsats. SSRS utvecklar därför en sjöräddningsdrönare, som ska ta sig till olycksplatser för att filma och sända bild direkt till sjöräddare som då får mycket värdefull information om läget vid olyckan.

Då drönaren utfört ett uppdrag vid en olycksplats landar den i vattnet i väntan på att sjöräddare plockar upp den i sin båt. Drönarens elektronik måste därför ha ett gediget skydd mot vatten.

Denna rapport beskriver det examensarbete som utförts av studenter inom högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik, Chalmers tekniska högskola, på uppdrag av SSRS. Gruppens uppgift är att se över och skapa en design för hur drönarens skydd mot vatten kan se ut. Inkluderat i uppdraget är att se över hur laddningen av drönarens batterier ska kunna ske effektivt och säkert.

Det resulterande konceptet blev en lösning där elektroniken fästs i en låda med vattentätande element inuti drönaren. Laddning av drönarens batterier sker via en enkelt lösryckbar kontakt baktill på drönaren som möjliggör laddning fram till start.

Abstract

Swedish Sea Rescue Society, SSRS, performs sea rescue in larger lakes and along the Swedish coastlines. Information regarding the circumstances around the accident site and communication is of key importance to allow for as good prerequisites as possible for a successful rescue operation. SSRS is therefore developing a sea rescue drone, which is meant to fly to the accident site to then record and stream the footage live to the rescue team which will provide much valuable information about the situation around the accident.

After the drone has completed a mission at an accident site, it lands in the water waiting to be picked up by the rescue team into their boat. The electronics of the drone therefore needs to have a solid protection against water.

This report describes the bachelor thesis performed by students from the mechanical engineering bachelor's programme at Chalmers University of Technology. The group's objective is to investigate and create a design for how the drone's protection against water might look like. Included in the objective is to also investigate how the recharging of the drone's batteries could be done effectively and safe.

The resulting concept is a solution where the electronics are attached to the inside of a box with water sealing elements which is then put inside the drone. The recharging of the drone's batteries will be done via an easily detachable connector in the rear end of the drone.

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Inledning..... | 1 |
| 1.1 | Bakgrund | 1 |
| 1.2 | Syfte..... | 1 |
| 1.3 | Avgränsningar | 1 |
| 1.4 | Precisering av problemet | 2 |
| 2 | Metod | 2 |
| 2.1 | Kundbehovslista | 2 |
| 2.2 | Kravspecifikation..... | 2 |
| 2.3 | Funktionsanalys | 2 |
| 2.4 | Konceptgenerering..... | 2 |
| 2.5 | Koncepteliminering | 3 |
| 2.6 | Test & validering | 3 |
| 3 | Resultat..... | 4 |
| 3.1 | Kundbehovslista | 4 |
| 3.2 | Kravspecifikation..... | 5 |
| 3.3 | Funktionsanalys | 7 |
| 3.4 | Konceptgenerering..... | 8 |
| 3.4.1 | Morfologisk matris | 9 |
| 3.4.2 | Konceptens massa | 20 |
| 3.5 | Koncepteliminering | 21 |
| 3.5.1 | Elimineringsmatris | 21 |
| 3.5.2 | Pughs matris | 23 |
| 3.5.3 | Kesselringmatris..... | 24 |
| 3.6 | Preliminär slutprodukt | 26 |
| 3.7 | Test & validering | 30 |
| 4 | Slutsats | 35 |
| 5 | Diskussion | 36 |
| 6 | Vidareutveckling av det framtagna konceptet..... | 37 |
| | Referenser..... | 39 |
| | Bilagor | |

1 Inledning

Projektet har utförts åt Svenska Sjöräddningssällskapet (SSRS) för att undersöka möjligheterna att skydda ett obemannat mindre flygplans elektronik mot vattenskador. Drönaren, som flygplanet kommer att kallas i rapporten, ska användas i sjöräddningssyfte och kommer i sin livscykel att ha mycket kontakt med vatten.

1.1 Bakgrund

I SSRS arbete är god kommunikation och ledning livsviktigt. Utförlig information om läget kring olycksplatser ute till havs eller på sjöar har stor betydelse för förutsättningarna för en lyckad räddningsinsats. För att göra räddningsarbetet ute på sjön eller havet säkrare och effektivare arbetar SSRS för att drönare ska kunna vara en del av insatserna till sjöss genom att underlätta just kommunikationen och ledningen. Drönaren ska skjutas i väg från en utskjutningsanordning och ska vara utrustad med GPS och kameror som kan ge bilder direkt till sjöräddarna som då får en bättre överblick över vad som väntar när de kommer fram. Då drönaren efter en insats landar i vatten krävs det att elektroniken skyddas mot vatten då vattenskador kan göra drönaren helt obrukbar.

1.2 Syfte

Syftet med det här projektet är att konstruera en lösning för att skydda en sjöräddningsdrönarens avionik^[1] mot vatten. Drönaren kommer att användas i olika väderförhållanden och ska även kunna landa på vatten utan att skada elektroniska komponenter. Inkluderat i arbetet är även en lösning för hur laddningen av drönarens batterier ska se ut.

1.3 Avgränsningar

Lösningar som ska utvecklas ska inte påverka drönarens yttre dimensioner då aerodynamiken inte får påverkas. Tillverkning av modeller ska ej utföras då rådande omständigheter med covid-19 försämrar möjligheterna för framtagning av prototyper. Några tester av lösningar i en prototyp kommer därav av samma anledning inte att kunna utföras. Ingen hänsyn kommer att tas till temperaturskillnader mellan de elektriska komponenterna på insidan av drönarens kropp och temperaturen i omgivningen. De elektriska komponenterna i drönaren är förbestämda och får inte ändras.

^[1] Avionik: sammanfattande term för elektroniska system i flyg- och rymdfarkoster för navigering, kommunikation, flyglägeskontroll, identifiering med mera.

1.4 Precisering av problemet

- Hur ska elektroniken skyddas mot vatten?
- Hur ska laddningen av drönarens batterier se ut?

2 Metod

Detta kapitel presenterar alla metoder som ska användas under projektets gång.

2.1 Kundbehovslista

För att få en bättre bild av vad uppdragsgivaren förväntar sig av ska ett eller flera möten hållas med dem. Under mötena ska deras krav och önskemål diskuteras och utefter vad som framkommit kommer en kundbehovslista skapas. Denna kundbehovslista ska sedan fungera som en grund för en framtida kravspecifikation.

2.2 Kravspecifikation

Utifrån kundbehovslistan med dess krav och önskemål kommer en kravspecifikation skapas. I kravspecifikationen ges punkterna från kundbehovslistan ett målvärde som ska vara uppnått för att kravet eller önskemålet ska anses vara uppfyllt. För varje krav och önskemål anges även en verifieringsmetod för att kontrollera om målvärdet är uppfyllt. För att underlätta utvärderingen och jämförelsen av olika koncepts styrkor och svagheter kommer en parvis jämförelse av alla önskemålen utföras. Detta görs med syftet att kunna sätta ett värde på önskemålets viktighet. Kravspecifikationen används sedan för att utvärdera om de genererade lösningarna håller de krav och uppfyller de önskemål som finns i kundbehovslistan.

2.3 Funktionsanalys

Om man ser på projektet som ett problem att lösa, där lösningen består av en enda funktion, är det svårt att hitta lösningar. Delar man i stället upp problemet i mindre delar, delproblem, blir det mycket lättare att hitta lösningar till dessa delproblem. Det blir då inte bara ett stort problem för gruppen att lösa utan fler delproblem att hitta lösningar till. Detta är syftet med den funktionsanalys som utförs.

2.4 Konceptgenerering

Med problemen klagjorda och då tillräckligt med information är insamlad är det dags för konceptgenerering. Metoder som Brainstorming och Brainwriting ska användas för att generera dellösningar för de olika delproblemen från funktionsanalysen och sedan används en morfologisk matris för konceptgenerering. En morfologisk matris är ett enkelt verktyg som förenklar konceptgenereringen på det sättet att det visualiserar processen genom att man i en tabell sätter delproblemen från funktionsanalysen i den vänstra kolumnen och de olika lösningarna i problemens rader. Resultatet blir en tabell där olika lösningar kan kombineras ihop till ett helt koncept. Lösningarna skissas även för att möjliggöra enklare jämförelse

mellan dem i framtiden och vid behov av ytterligare underlag för jämförelse ska även CAD-modeller skapas av lösningen.

2.5 Koncepteliminering

Efter att ha genererat olika koncept med olika metoder är det dags att eliminera svaga lösningar för att i slutändan bara ha kvar det starkaste konceptet som då kan vidareutvecklas. Detta gör gruppen genom att använda en elimineringsmatris som eliminerar koncept som inte håller grundläggande krav. Andra systematiska metoder som kommer användas är Pughs matris och Kesselrings matris då dessa metoder underlättar jämförelsen mellan konceptens styrkor och svagheter som används som underlag för beslut om elimineringar. Då en Kesselringmatris tar hänsyn till hur viktiga önskemålen är ska även en viktning av dem utföras.

2.6 Test & validering

Validering av det resulterande konceptet är viktigt att utföra för att säkerställa att lösningen uppfyller de krav och klarar av de funktioner som det är tänkt att det ska. Testerna utförs på flera etapper och på flera olika testobjekt i stegvis.

3 Resultat

Under resultatdelen kommer kundbehovslista, kravspecifikation, funktionsanalys, framtagning och eliminering av koncepten redovisas.

3.1 Kundbehovslista

Nedan listas de behov som framkommit i samband med möten med SSRS. Under varje punkt anges om behovet är ett krav eller önskemål och även vad det kommer kallas i framtiden.

- Elektroniken i drönaren måste skyddas från vattenskador.
 - Krav: Skydd mot vatten
- Underhåll av drönaren anses vara viktigt att undvika.
 - Önskemål: Underhållsbehov
- Om möjligt ska drönaren inte kunna tas isär utan förstörande behandling.
 - Önskemål: Engångsförslutet
- De lösningar gruppen utvecklar får ej innebära en totalmassa på över 1 kg för drönaren, massa ska minimeras.
 - Krav: Totalmassa
 - Önskemål: Minimerad massa
- Lösningarnas dimensioner måste även hållas inom drönarens yttre mått. Med andra ord får inte lösningarna påverka aerodynamiken.
 - Krav: Lösningen måste få plats inom drönarens dimensioner
- Tillverkningskostnad för lösningarna får ej överstiga kostnaden på de elektriska komponenter som de ska skydda.
 - Krav: Tillverkningskostnad
- Lösningens livslängd ska vara minst lika lång som batteriernas livslängd.
 - Krav: Livslängd
- Giftiga ämnen ska ej förekomma i lösningen.
 - Krav: Ofarlig för miljön
- Då den tänkta avfyrningen av drönaren går ut på att den kastas i väg och att det vid vissa tillfällen kan vara mycket viktigt att drönaren laddas så länge som möjligt ska även en lösryckbar batteriladdning i bakre delen på drönaren finnas.
 - Önskemål: Lösryckbar laddning

3.2 Kravspecifikation

För att kunna skapa kravspecifikationen krävs en parvis jämförelse av önskemålen där varje önskemål får en viktfaktor som beskriver hur viktiga de är.

Innan jämförelsen utförs introduceras ett ytterligare önskemål, nämligen enkelhet. Enkelheten hos koncepten syftar till hur få delar de består av och hur enkelt det är att montera de olika lösningarna. Gruppen beslöt sig för att ta hänsyn till enkelheten då det är en viktig aspekt när det kommer till den framtida produktionen av drönarna.

Matrisen som kommer att användas som hjälp för att jämföra önskemålen visas i tabell 1.

Tabell 1 - Matris för jämförelse av önskemål

| Önskemål | Ö1 | Ö2 | Ö3 | Ö4 | Ö5 | s_i | Andel $A_i = s_i/S$ | Viktfaktor $w_i = A_i/A_{max} * 5$ |
|--|----|----|----|----|----|-------|---------------------|------------------------------------|
| Ö1 | | | | | | | | |
| Ö2 | | | | | | | | |
| Ö3 | | | | | | | | |
| Ö4 | | | | | | | | |
| Ö5 | | | | | | | | |
| Total summa $S = \sum s_i$ | | | | | | | | $A_{max} =$ |

Önskemålen från kundbehovslistan inklusive det önskemål som introducerades tidigare i detta kapitel tilldelas följande beteckningar:

- Ö1 = Engångsförslutet
- Ö2 = Minimerad underhållsbehov
- Ö3 = Minimerad massa
- Ö4 = Lösryckbar batteriladdning baktill
- Ö5 = Enkelhet

I varje ruta jämförs önskemålet från raden som rutan tillhör med önskemålet från kolumnen som rutan tillhör. Om önskemålet från raden är viktigare än önskemålet från kolumnen tilldelas värdet 2 i rutan medan värdet 0 tilldelas vid det motsatta scenariot. Om önskemålen är likvärdiga tilldelas värdet 1 i rutan. I kolumnen med rubriken " s_i " visas summan av varje rad. Den totala summan S beräknas enligt:

$$S = \sum s_i$$

Varje önskemåls andel A_i av den totala summan beräknas som:

$$A_i = \frac{s_i}{S}$$

Den största andelen betecknas A_{max} och till sist beräknas varje önskemåls viktfaktor som:

$$w_i = \frac{A_i}{A_{max}} * 5$$

I tabell 2 visas den ifyllda versionen av tabell 1.

Tabell 2 - Ifylld version av tabell 1

| Önskemål | Ö1 | Ö2 | Ö3 | Ö4 | Ö5 | s_i | Andel $A_i=s_i/S$ | Viktfaktor $w_i=A_i/A_{\max} \cdot 5$ | |
|--|----|----|----|----|----|-------|-------------------|---|--|
| Ö1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0 | |
| Ö2 | 2 | | 0 | 1 | 1 | 4 | 0,1905 | 2,5 | |
| Ö3 | 2 | 2 | | 2 | 2 | 8 | 0,3810 | 5 | |
| Ö4 | 2 | 1 | 0 | | 1 | 4 | 0,1905 | 2,5 | |
| Ö5 | 2 | 2 | 0 | 1 | | 5 | 0,2381 | 3,125 | |
| Total summa $S=\sum s_i$ | | | | | | | 21 | $A_{\max}=A_3=0,3810$ | |

Ett intressant utfall av denna matris är att Ö1, det vill säga önskemålet om att lösningen ska bidra till att drönaren ej kan öppnas utan förstörande behandling får viktfaaktorn 0. Ö1 kommer därför inte att tas hänsyn till i fortsättningen av arbetet.

Med viktningen av önskemålen färdigställd skapas en kravspecifikation (se tabell 3). I kravspecifikationen listas de olika kriterierna, i form av krav och önskemål, med ett angivet målvärde som måste vara uppfyllt för att kriteriet ska anses vara uppfyllt.

Kriterierna delades in i åtta olika kategorier:

1. Prestanda
2. Livslängd
3. Underhåll
4. Tillverkning
5. Storlek
6. Massa
7. Miljö
8. Funktionalitet

Kravspecifikationen anger även vilken verifieringsmetod som ska användas för respektive kriterium och vem som referensen (kravställaren) är.

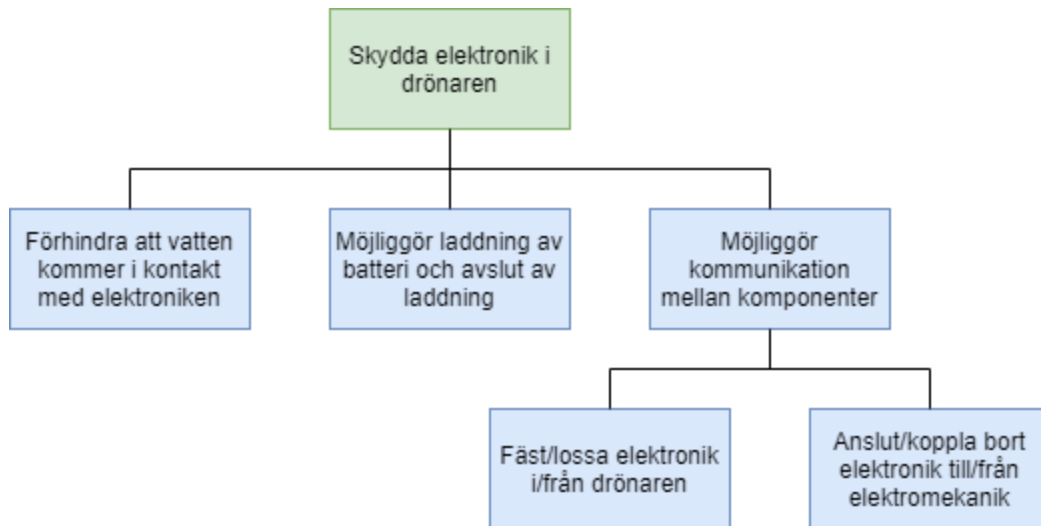
Tabell 3 – Kravspecifikation för vattentätande av elektronik i drönare

| | Dokumenttyp | Kravspecifikation | | | | |
|--------------------------|--|--|------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| Utförare: | Projekt | Skydd av avionik mot vatten i sjöreddningsdrönare | | | | |
| | Simon Lundin | Skapad: 2020-11-14 | | | | |
| | Yasin Demirci | Modifierad: 2021-01-24 | | | | |
| Kriterier | Målvärde | K/O | Vikt | Verifieringsmetod | Referens (kravställare) | |
| Funktion(er) | Möjliggör enkel och säker laddning av batterier | K | | Test | Uppdragsgivare | |
| | Skydda elektroniken mot vatten | K | | Test | Uppdragsgivare | |
| 1. Prestanda | | | | | | |
| 1.1 | Skydd mot vatten | Elektroniken ska skyddas mot vattenskador | K | | Test | Uppdragsgivare |
| 2. Livslängd | | | | | | |
| 2.1 | Livslängd | > Batteriernas livslängd | K | | Test | Uppdragsgivare |
| 3. Underhåll | | | | | | |
| 3.1 | Underhållsbehov | Drönaren ska ej behöva underhåll bortsett från laddning av batterier | Ö | 2,5 | Test | Uppdragsgivare |
| 4. Tillverkning | | | | | | |
| 4.1 | Tillverkningskostnad | Får ej kosta mer än de elektriska komponenterna. (Exakt värde ej tillgängligt) | K | | Beräkning mha CAD | Uppdragsgivare |
| 4.2 | Enkelhet | Lösningen ska bestå av få delar och vara enkel att montera | Ö | 3,13 | | Rapportförfattare |
| 5. Storlek | | | | | | |
| 5.1 | Lösningen måste få plats inom drönarkroppens dimensioner | Bestämda dimensioner av uppdragsgivare (418 x 42 x 350) mm | K | | Beräkning mha CAD | Uppdragsgivare |
| 6. Massa | | | | | | |
| 6.1 | Totalmassa | Lösningens adderade massa till drönaren får ej innebära en totalmassa över 1 kg för drönaren. (Lösningens massa får max vara 119g) | K | | Beräkning mha CAD | Uppdragsgivare |
| 6.2 | Massa ska minimeras | Lösningens massa ska minimeras | Ö | 5 | Beräkning mha CAD | Uppdragsgivare |
| 7. Miljö | | | | | | |
| 7.1 | Ofarlig för miljön | Materialen som används måste vara förenliga med svenska lagar. | K | | Test | Lagar |
| 8. Funktionalitet | | | | | | |
| 8.1 | Lösryckbar batteriladdning vid baksidan av drönaren | Drönaren ska kunna laddas tills det ögonblick då den slungas iväg. | Ö | 2,5 | Test | Uppdragsgivare |

3.3 Funktionsanalys

De olika problemen som projektet innefattar analyserades för att skapa ett funktionsträd med de olika funktioner som löser dessa problem. Detta ger gruppen ett verktyg för att kunna skapa koncept och även ett sätt att utvärdera koncept huruvida de verkligen uppfyller dessa funktioner.

Den huvudsakliga funktionen är att skydda elektronik i drönaren. Denna funktion delas upp i mindre delfunktioner i funktionsträdet (se figur 1). Dessa delfunktioner riktar in sig mer på specifika problem och möjliggör enligt teorin en mer effektiv lösningssökning.



Figur 1 - Funktionsanalys för sjöräddningsdrönaren i form av funktionsträd

3.4 Konceptgenerering

Genom brainstorming, diskussioner och systematiska metoder genererades konceptuella förslag på produkten. Detta har gjorts i två steg där gruppen i första steget har brainstormat dellösningar till de problem som redovisas i funktionsträdet (se figur 1). Det andra steget gick ut på att sätta in dessa lösningar i en morfologisk matris (se tabell 4) och med hjälp av den matrisen har koncepten genererats.

3.4.1 Morfologisk matris

Flera dellösningar har genererats med hjälp av brainstorming för att skapa och använda en morfologisk matris. Nedan beskrivs de genererade dellösningarna kortfattat.

Skydd mot vatten:

Tätningsslistor: Gummilister i form av tätningar kan användas för att skydda elektroniken mot vatten. Denna lösning ska användas främst vid kretskortet då alla viktiga komponenter som behöver skydd sitter på det.

Lim & tejp: Vattentätande tejp och lim kan användas för att skydda elektroniken från vatten och även för att sätta ihop delar.

Tätningar (flera olika material): Det finns olika typer av tätningar och genom att kombinera två eller flera material kan man skapa bättre tätningar som kan användas för att skydda främst kretskortet.

Laddning:

Byta batterier: En batteribehållare med lucka som kan öppnas utifrån skulle möjliggöra batteribyten. Denna lösning kan vara väldigt användbar ifall drönarens batterier inte hinner laddas mellan uppdrag.

Laddning med magnetkontakt: En lätt magnetkontakt kan användas för att ladda batterierna. När drönaren skjuts i väg kan denna kontakt lossa från drönaren utan motstånd.

Trådlös laddning: Som namnet säger, laddning utan trådar. För att använda den tekniken krävs en givare från en energikälla och en mottagare som måste sitta på/i drönaren.

360-graders laddkontakt: En laddkontakt som liknar en AUX-kontakt, som används inom olika ljudsystem (bland annat hörlurar), för att ladda batterierna i drönaren, alltså en liten cylindrisk kontakt vilket gör det möjligt att kontakten lossnar utan svårigheter när drönaren skjuts i väg. Denna typ av laddkontakt kallas också för likströmskontakt.

Montering av elektronik:

Skruvförband: Lämpliga muttrar och/eller skruvar kan användas för att kunna montera avioniken in i drönarkroppen. Utförandet av detta ses i figur 4.

Clips: I stället för att använda skruvförband kan man ha clips runt om kretskortet som håller de olika komponenterna på plats. Clipsen visas i figur 5.

Stripes/tejp: En kombination av stripes och tejp kan användas för att kunna sätta fast avioniken.

Koppling till/från elektromekanik:

Gummiplugg: Gummipluggar är lätta, väldigt billiga och finns i olika storlekar och former. Dessa kan användas där hål behövs för att låta kablar passera.

Tätning: Tätningar kan användas på alla öppningar som skapas för att koppla elektromekaniken till kretskortet. Detta görs för att kunna skydda elektroniken i drönaren.

Vattentäta kontakter: Kontakter med tillräckligt skydd mot vatten för att inte påverkas av eventuell kontakt med vatten.

En morfologisk matris har skapats med delproblemen, från funktionsanalysen, och deras lösningar som just beskrivits ovan (se tabell 4). Ett koncept genereras med hjälp av den morfologiska matrisen genom att kombinera olika lösningsförslag, ett från varje delproblem. Varje genererat koncept blir alltså i detta fall med fyra delproblem en unik kombination av fyra lösningsförslag.

Tre av delproblemen har tre olika lösningar medan ett delproblem har fyra. Det totala antalet koncept som kan genereras med den morfologiska matrisen blir därför $3 * 3 * 3 * 4 = 108$. Flera av de framtagna dellösningarna var dock ej värda att fortsätta vidare med:

- Tätningar med flera olika material är en lösning som på många sätt liknar lösningen med tätningslister, en dubblett helt enkelt.
- Laddning med magnetkontakt var tänkt som en smidig lösning på laddningen av batterierna. Då drönaren ska vara utrustad med kompass som kan störas ut av magneter används ej denna lösning heller.
- Trådlös laddning skulle vara en mycket bra lösning om det inte vore för dess vikt. Denna lösning skulle öka massan för mycket vilket inte skulle vara förenligt med de krav och önskemål om massa som finns.
- Extern laddning av batterier var en lösning som var tänkt att minimera tiden då drönaren skulle vara obrukbar. Efter avstämning med SSRS är denna lösning ej önskvärd då underhållet av batterier ska minimeras.
- Stripes och tejp användes ej heller i konceptgenereringen då denna lösning inte anses vara rimlig då drönaren under sin livstid kommer utsättas för hårda landningar i vattnet och eventuellt på land.
- Vattentäta kontakter skulle ha någon effekt först då vatten trängt in till de komponenter som ska skyddas, därför bortses även denna lösning från under konceptgenereringen.

Sju dellösningar återstår efter uteslutandet av just nämnda dellösningar. I matrisen i tabell 4 visas de sju accepterade dellösningarna med svart text och de uteslutna med grå text. Varje möjlig kombination redovisas under den morfologiska matrisen i tabell 4 och i nästa avsnitt som åtta olika koncept.

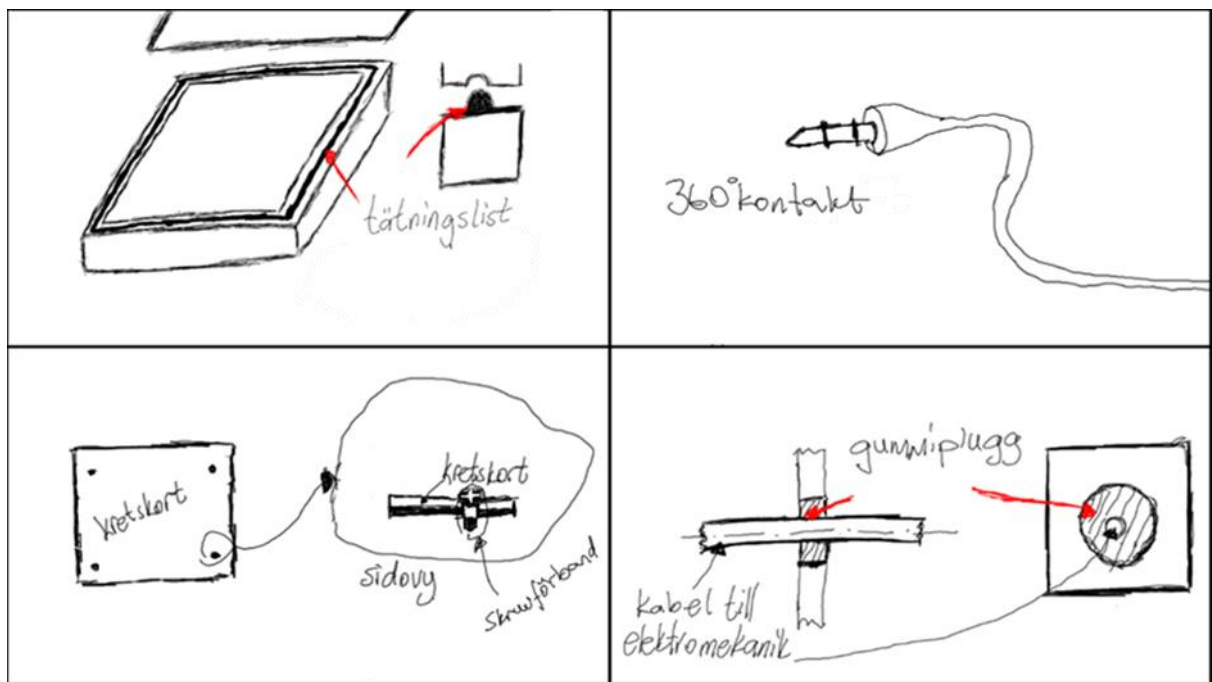
Tabell 4 - Morfologisk matris med delproblem och tillhörande dellösningar samt tabell med de åtta genererade koncepten

| | Lösningar → Delproblem ↓ | A | B | C | D |
|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 | Skydd mot vatten | Tätninglistor | Lim & tejp | Tätningar (flera olika material) | |
| 2 | Batteriladdning | 360-graders laddkontakt | Laddning med magnetkontakt | Trådlös laddning (även kallad för Qi-laddning) | Byta batterier (extern laddning) |
| 3 | Montering av elektronik | Skruvförband | Clips | Stripes/Tejp | |
| 4 | Koppling till/från elektromekanik | Gummiplugg | Tätningar | Vattentäta kontakter | |
| Konceptgenerering | | | | | |
| Koncept | Dellösningar | | | | |
| Koncept 1 | 1A | 2A | 3A | 4A | |
| Koncept 2 | 1A | 2A | 3B | 4A | |
| Koncept 3 | 1A | 2A | 3A | 4B | |
| Koncept 4 | 1A | 2A | 3B | 4B | |
| Koncept 5 | 1B | 2A | 3A | 4A | |
| Koncept 6 | 1B | 2A | 3A | 4B | |
| Koncept 7 | 1B | 2A | 3B | 4A | |
| Koncept 8 | 1B | 2A | 3B | 4B | |

3.4.1.1 Koncept 1

Koncept 1 säkerställer att avioniken skyddas mot vatten genom tätninglistor. Laddning av batterier sker genom en 360-graders lösryckbar laddkontakt i bakkant på drönaren som ska möjliggöra säker laddning ända tills utryckningsögonblicket.

Monteringen av avionik sker genom skruvförband som fäster kretskort och komponenter i insidan av flygplanskroppen. Det krävs en del öppningar för att dra kablage till elektromekanik och lanternor, för att minska risken för vattenskada genom dessa öppningar ska gummiplugg användas (se figur 2 nedan).

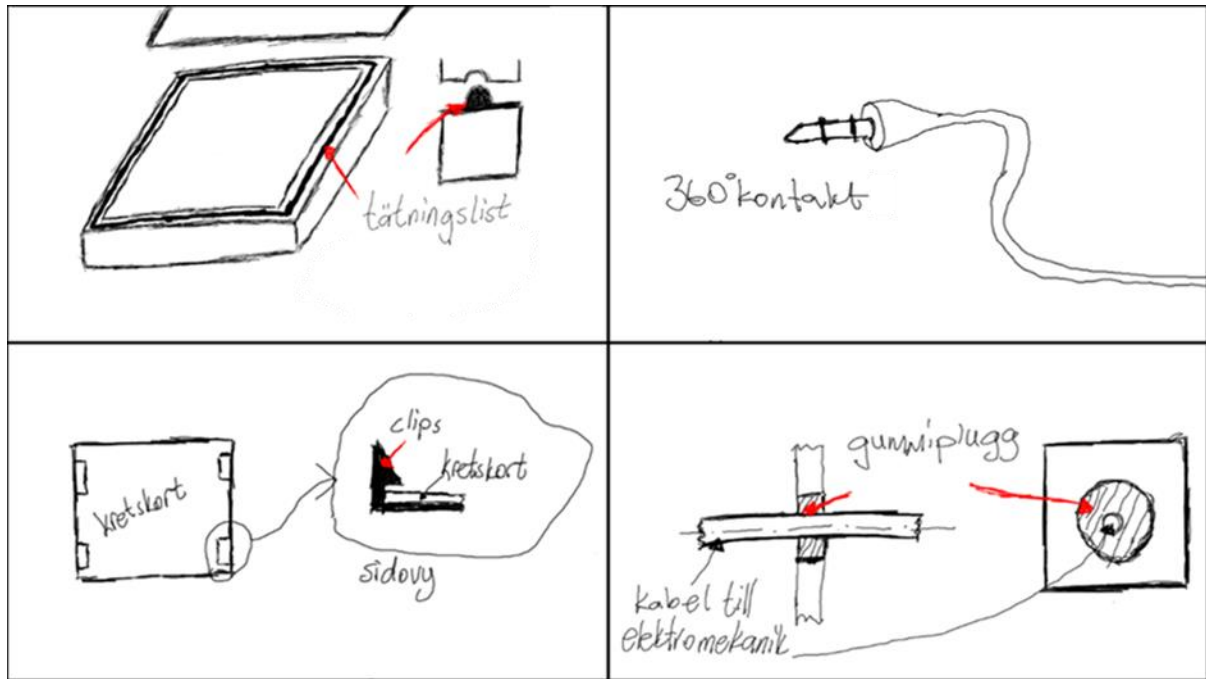


Figur 2 - Skiss av dellösningarna för koncept 1

3.4.1.2 Koncept 2

Koncept 2 säkerställer att avioniken skyddas mot vatten genom tätninglistor. Som koncept 1 och de resterande koncepten används en 360-graders kontakt för att ladda drönaren.

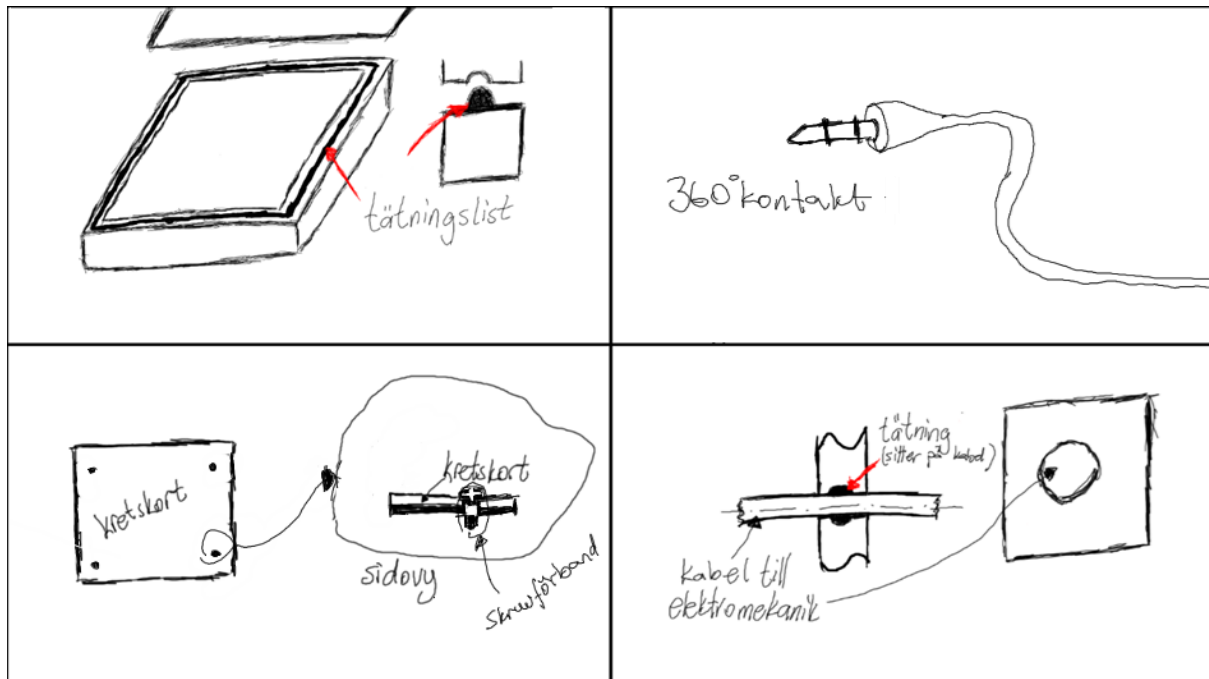
Avioniken monteras med hjälp av clips och kopplingar till och från elektromekaniken görs säkra med hjälp av gummipluggar där de behövs (se figur 3 nedan).



Figur 3 - Skiss av delösningarna för koncept 2

3.4.1.3 Koncept 3

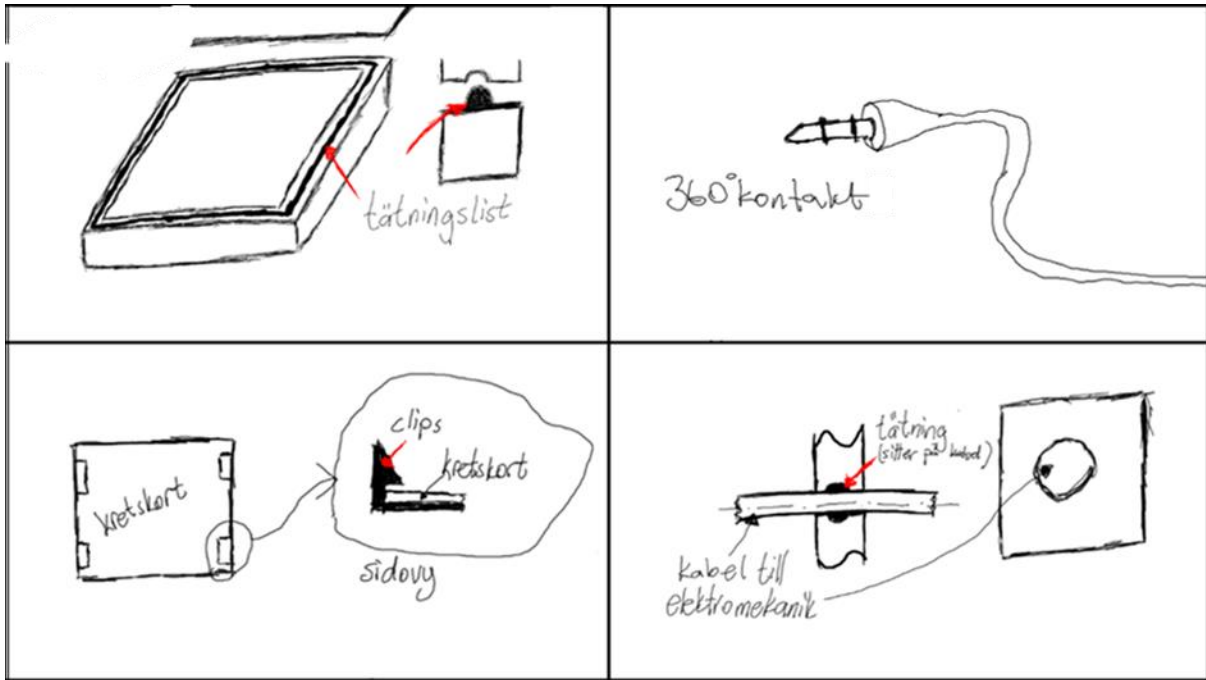
Koncept 3 skyddar de elektriska komponenterna i drönaren med tätningslister och laddas med en 360-graders kontakt. Avioniken monteras med skruvförband och kablage till och från den säkras med tätningar vid öppningar (se figur 4 nedan).



Figur 4 - Skiss av dellösningarna för koncept 3

3.4.1.4 Koncept 4

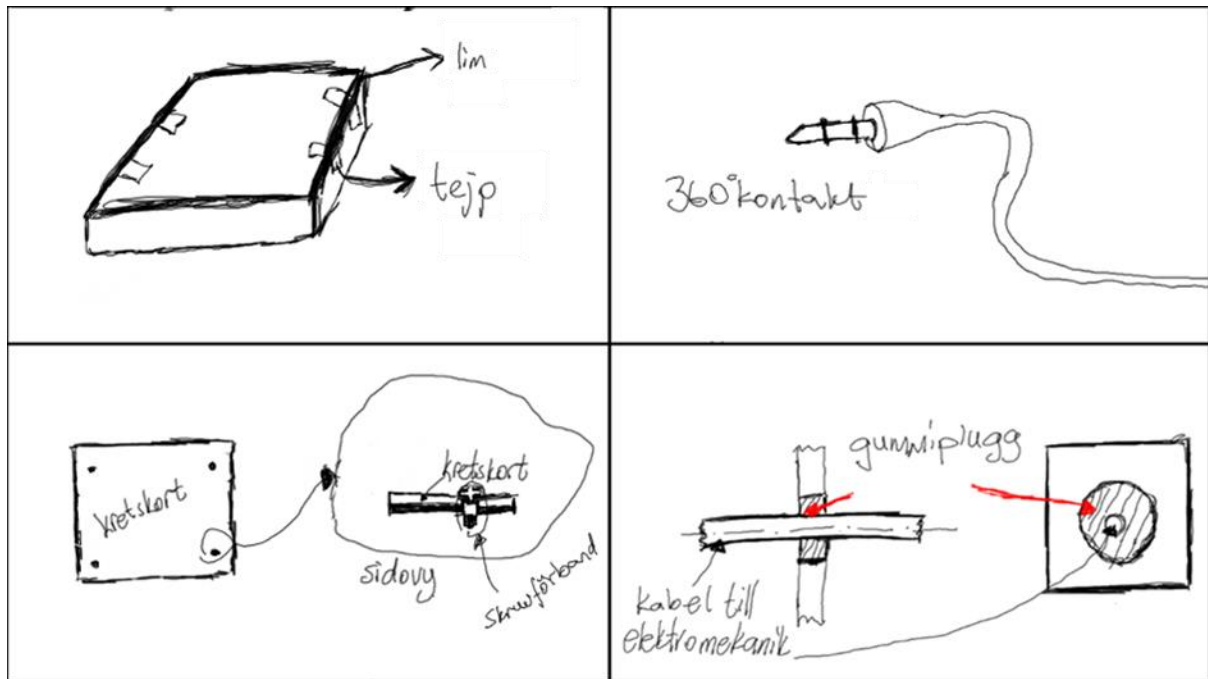
Koncept 4 är det sista av koncepten som använder tätninglistor för att skydda mot vatten. Laddas gör den med en 360-graders kontakt och avioniken fästs med clips. Tätningar används där kablage behöver ta sig genom väggar (se figur 5 nedan).



Figur 5 - Skiss av dellösningarna för koncept 4

3.4.1.5 Koncept 5

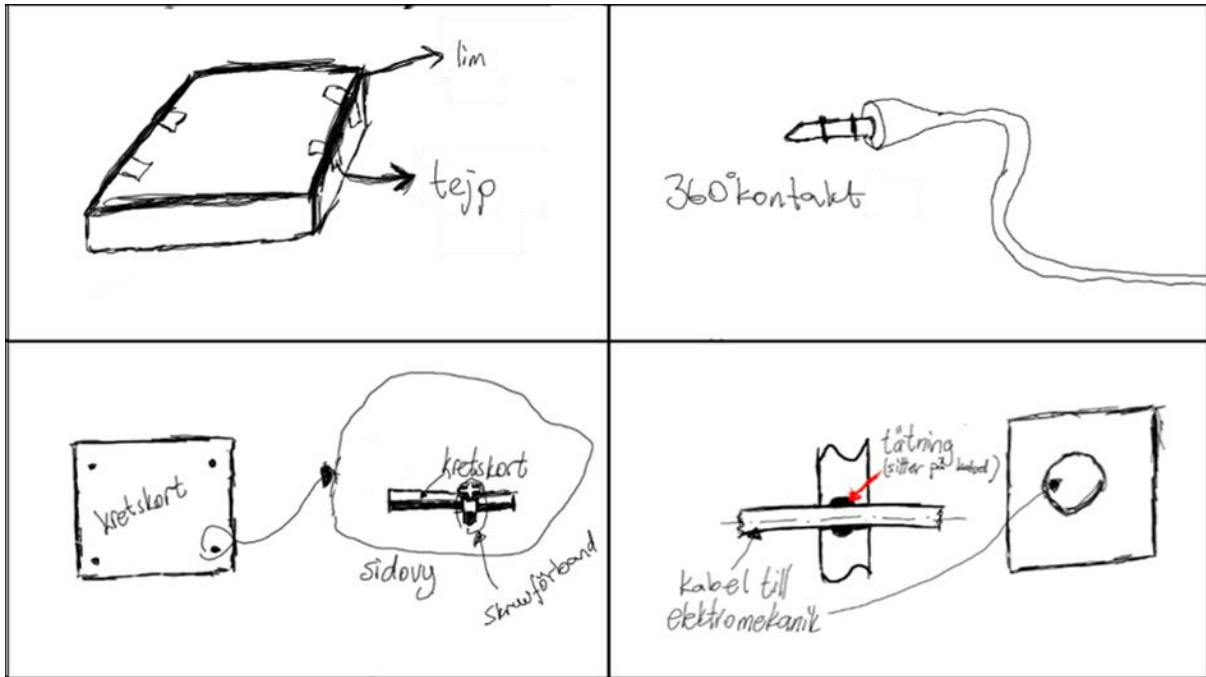
Koncept 5 skyddar sin avionik mot vatten med hjälp av lim och tejp. Batterierna ombord laddas med hjälp av en 360-graders kontakt. Avioniken monteras i drönaren med hjälp av skruvförband. Kablar förses med gummipluggar där de passerar väggar (se figur 6 nedan).



Figur 6 - Skiss av dellösningarna för koncept 5

3.4.1.6 Koncept 6

Lim och tejp används för att skydda avioniken mot vatten i koncept 6. Laddning av batterier sker med hjälp av en 360-graders kontakt och elektroniken ombord monteras med skruvförband. Tätningar gör kabeldragningen ombord vattentät (se figur 7 nedan).

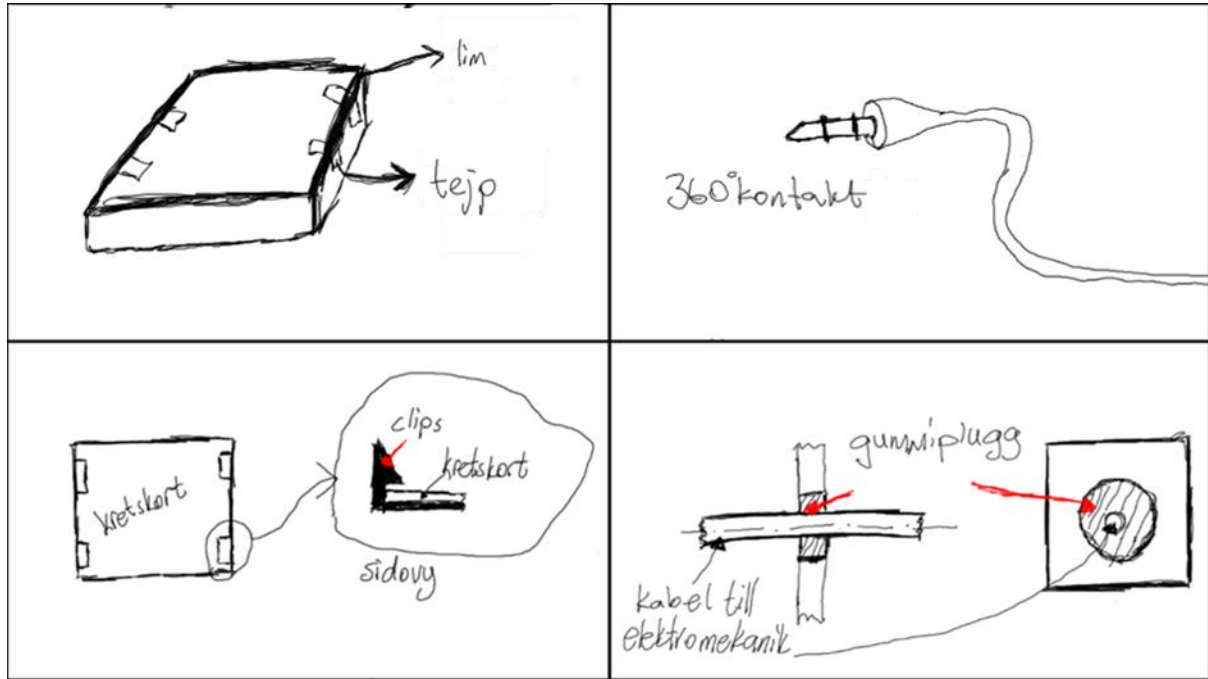


Figur 7 - Skiss av dellösningarna för koncept 6

3.4.1.7 Koncept 7

Koncept 7 använder även den lim och tejp som skydd mot vatten. 360-graderskontakten används för laddning av batterier och clips används för montering av elektronik.

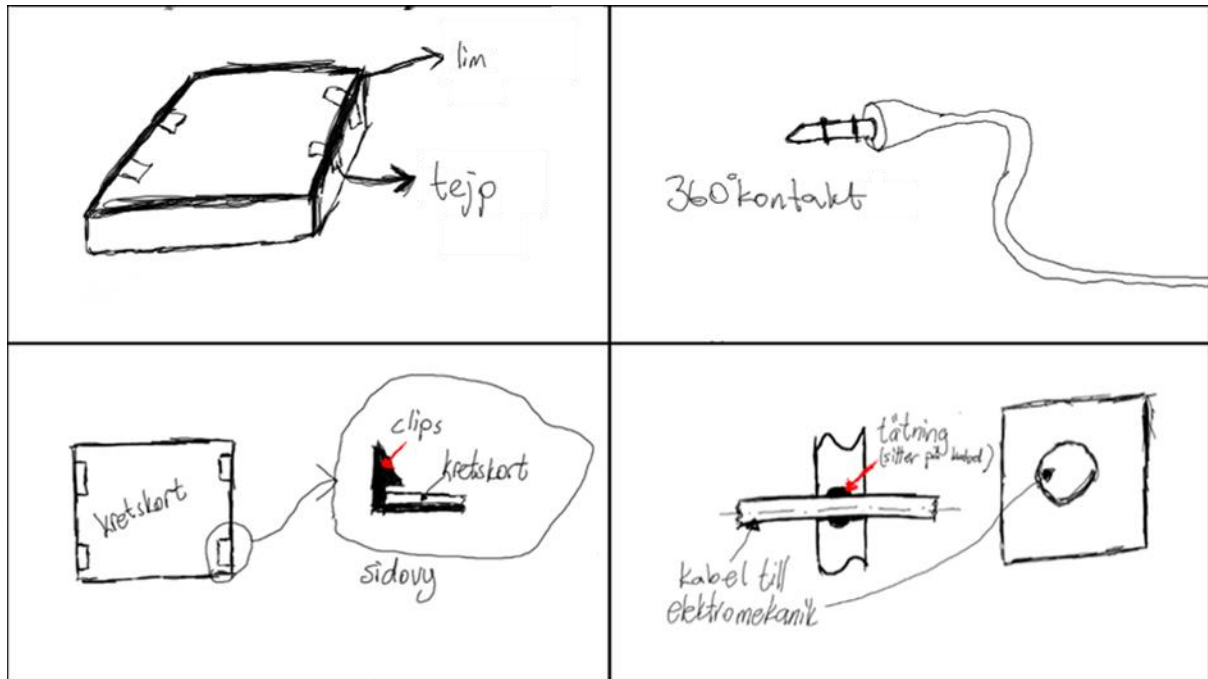
Kabeldragning till elektromekanik görs säker via gummipluggar vid berörda områden (se figur 8 nedan).



Figur 8 - Skiss av dellösningarna för koncept 7

3.4.1.8 Koncept 8

Koncept 8 använder kraftigt lim och tejp för att förhindra vatten att ta sig in till elektroniken. Laddning av batterier görs genom en 360-graderskontakt för att möjliggöra lösryckningsbarhet. Clips används för att montera elektronik och tätningar används vid öppningar för kablage för att skydda mot läckage (se figur 9 nedan).



Figur 9 - Skiss av dellösningarna för koncept 8

3.4.2 Konceptens massa

För att i ett senare skede kunna utvärdera de olika konceptens för- och nackdelar har en materialförteckning skapats för alla koncept. I materialförteckningen anges vilka dellösningar som används av varje koncept och stor massa de har. För att kunna beräkna de olika massorna har några antaganden behövts göras:

- Dellösningarna som syftar till skydd mot vatten, ”tättningslist” och ”lim och tejp” appliceras runt hela drönarens kropp bortsett från vingarna. Omkretsen blir då $418*2+350*2=1536$ mm.
 - Tättningslistan är av Etenpropengummi som ofta används inom liknande områden. Den list som använts i uträkningarna är 8 mm bred och 13 mm hög med en densitet på 115 kg/m^3 .
 - Limmets densitet är 1000 kg/m^3 och tvärsnittet av limlagret har diametern 6 mm.
- Antalet hål som behöver göras säkra med hjälp av gummiplugg eller tätning är fyra. Beroende på form och storlek kan massan av gummipluggar ändras men en gummiplugg som har en diameter på 10 mm och höjd på 7 mm kan väga ungefär 0,7 gram. Tabell 5 nedan har ett avrundat värde på 1 gram per gummiplugg.
- Mängden tätning som kommer behövas vid de just nämnda hålen är 4 cm^3 . Genom att använda ett material som har en hyfsad låg densitet, kan resultatet av massan vara ungefär 4 gram per styck.
- Fyra stycken skruvförband/clips kommer behövas för att fästa elektroniken på plats. Material, storlek och form är faktorer som kan påverka massan av skruven men hela skruvförbandet antas väga 4 gram.
- Den lösryckbara likströmskontakten är en extern massa men man måste placera en hona ombord drönaren. En hona inklusive kablage och fastsättningsmaterial antas väga 8 gram.

Med dessa antaganden på plats har undersökningar och beräkningar gjorts för att se hur stora de olika dellösningarnas massa är.

I tabell 5 visas sammanställningen av konceptens massa.

Tabell 5 - Material- och komponentlista

| Dellösning | massa (g) / st | Koncept 1 | | Koncept 2 | | Koncept 3 | | Koncept 4 | |
|---------------------|----------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| | | antal (st) | totalmassa dellösning (g) | antal (st) | totalmassa dellösning (g) | antal (st) | totalmassa dellösning (g) | antal (st) | totalmassa dellösning (g) |
| Tätningslist | 18 | 1 | 18 | 1 | 18 | 1 | 18 | 1 | 18 |
| Skruvförband | 4 | 4 | 16 | 0 | 0 | 4 | 16 | 0 | 0 |
| Gummiplugg | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Clips | 3 | 0 | 0 | 4 | 12 | 0 | 0 | 4 | 12 |
| Tätning | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 16 | 4 | 16 |
| Lim & tejp | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lösryckbar laddning | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 |
| TOTAL (g) | | 46 | | 42 | | 58 | | 54 | |

| Dellösning | massa (g) / st | Koncept 5 | | Koncept 6 | | Koncept 7 | | Koncept 8 | |
|---------------------|----------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| | | antal (st) | totalmassa dellösning (g) | antal (st) | totalmassa dellösning (g) | antal (st) | totalmassa dellösning (g) | antal (st) | totalmassa dellösning (g) |
| Tätningslist | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Skruvförband | 4 | 4 | 16 | 4 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gummiplugg | 1 | 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Clips | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 12 | 4 | 12 |
| Tätning | 4 | 0 | 0 | 4 | 16 | 0 | 0 | 4 | 16 |
| Lim & tejp | 46 | 1 | 46 | 1 | 46 | 1 | 46 | 1 | 46 |
| Lösryckbar laddning | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 |
| TOTAL (g) | | 74 | | 86 | | 70 | | 82 | |

3.5 Koncepteliminering

Flera olika koncept har genererats för att hitta lösningar till problemen. För att eliminera de svagare av de genererade koncepten, används systematiska metoder. Detta för att till slut endast ha det starkaste konceptet kvar. Dessa systematiska metoder presenteras nedan med tabeller och texter.

3.5.1 Elimineringsmatris

En elimineringsmatris har skapats för att först eliminera de koncept som inte uppfyller de krav som bestämts av uppdragsgivaren.

De lösningsalternativ som gruppen beslutar att fullfölja (+) går vidare till nästa utvärderingsmetod men om alternativen är icke-fullföljande (-) elimineras de direkt i matrisen.^[2]

Tabell 6 - Elimineringssmatris med de åtta återstående koncepten.

| Koncept | Löser huvudproblemet | Uppfyller alla krav | Realiserbar | Inom kostnadsram | Säker och ergonomisk | Passar företaget | Tillräckligt info finns | Kommentarer | Beslut |
|------------------|----------------------|---------------------|-------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------------|------------------------------------|--------|
| Koncept 1 | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| Koncept 2 | + | + | + | + | - | | | Clips är inte en säker nog lösning | - |
| Koncept 3 | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| Koncept 4 | + | + | + | + | - | | | Clips är inte en säker nog lösning | - |
| Koncept 5 | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| Koncept 6 | + | + | + | + | + | + | + | | + |
| Koncept 7 | + | + | + | + | - | | | Clips är inte en säker nog lösning | - |
| Koncept 8 | + | + | + | + | - | | | Clips är inte en säker nog lösning | - |

Samtliga åtta koncept uppfyller kraven från kravspecifikationen som listas nedan, och kommentarer till vissa krav uppfyllnad följer därefter:

- Skydd mot vatten
- Livslängd
- Tillverkningskostnad
- Lösningen måste få plats inom drönarkroppens dimensioner
- Totalmassa
- Ofarlig för miljön

Gruppen har ej identifierat några faktorer som skulle kunna påverka de olika konceptens livslängd till den grad att den skulle understiga livslängden hos drönarens batterier. Därav anses kravet om livslängd vara uppfyllt för samtliga koncept.

Tillverkningskostnaden för koncepten får ej överstiga kostnaden för de elektriska komponenterna. Gruppen anser att det inte finns någonting i koncepten som pekar på att tillverkningskostnaden för dem skulle kunna komma i närheten av kostnaden för elektroniken.

Koncepten innehåller inga delar eller aspekter som skulle utgöra en fara för miljön och det finns heller ingenting i koncepten som endast skulle kunna utföras med hjälp av material som ej är godkända att använda. Med detta i åtanke anses kravet "Ofarlig för miljön" vara uppfyllt.

I elimineringsmatrisen klarade fyra av åtta koncept dess krav och togs med för vidare utvärdering (se tabell 6 ovan). De fyra koncepten som eliminerades gjordes det av samma orsak, nämligen att de använder clips för montering av elektronik. Under drönarens livstid kommer den att utsättas för påfrestande krafter då den landar i vattnet. Eventuella kraschlandningar på land kan ej uteslutas och dessa skulle innebära ännu mer påfrestande krafter för drönaren. Med tanke på att beräkningar av diverse krafter inte ingår i arbetet anses clips inte vara en säker nog lösning när skruvförband, som är alternativet, generellt är starkare.

3.5.2 Pughs matris

I strävan efter att utesluta och eliminera koncept tills ett slutligt koncept återstår skapades en matris som jämför de kvarstående koncepten med varandra. I denna matris jämförs de olika koncepten med ett koncept som anges som referens. I detta fall var koncept 1 referensen. Koncepten jämförs med avseende på sin förmåga att uppnå olika kriterier. Kriterierna som koncepten ska uppnå är önskemålen som finns i kravspecifikationen. Om ett koncept uppfyller ett önskemål på ett bättre sätt än referenskonceptet får det betyget +. Om konceptets förmåga ej går att särskilja från referensens tilldelas betyget 0 i det jämförda önskemålet medan det får betyget – om det uppfyller önskemålet på ett sämre sätt.^[2] Konceptet som har rollen som referens får därför 0 i nettovärde då det jämförs med sig själv.

Tabell 7 - Pughs matris med Koncept 1 som referens

| Kriterier | Koncept 1 | Koncept 3 | Koncept 5 | Koncept 6 |
|---------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| Minimerat underhållsbehov | R E F E R E N S | 0 | 0 | - |
| Minimerad massa | | - | - | - |
| Lösryckbar batteriladdning baktill | | 0 | 0 | 0 |
| Enkelhet | | - | - | - |
| Summa + | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summa - | 0 | 2 | 2 | 3 |
| Nettovärde | 0 | -2 | -2 | -3 |
| Rangordning | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Beslut | Matrisen itereras med Koncept 3 som referens | | | |

Resultatet som denna matris gav visade att koncept 6 fick -3 i nettovärde som var det lägsta av alla koncept (se tabell 7 ovan). Koncept 1 som på grund av sin roll som referens fick 0 i nettovärde presterade bättre än alla de andra koncepten. Näst bäst presterade koncept 5 och koncept 3 som båda fick -2 i nettovärde. Nettovärdet beräknades som:

$$\text{Nettovärde} = (\text{summa plus}) - (\text{summa minus})$$

För att säkerställa resultatet från Pughsmatrisen som visar att koncept 6 är det svagaste konceptet itereras matrisen igen fast med koncept 3 som referens. Koncept 3 väljs för att se om koncept 6 presterar sämst även då den jämförs med ett annat sämre presterande koncept.

Tabell 8 - Pughs matris med Koncept 3 som referens

| Kriterier | Koncept 1 | Koncept 3 | Koncept 5 | Koncept 6 |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Minimerat underhållsbehov | 0 | R E F E R E N S | 0 | - |
| Minimerad massa | + | | - | - |
| Lösryckbar batteriladdning baktill | 0 | | 0 | 0 |
| Enkelhet | + | | - | - |
| Summa + | 2 | | 0 | 0 |
| Summa - | 0 | 0 | 2 | 3 |
| Nettovärde | 2 | 0 | -2 | -3 |
| Rangordning | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Beslut | Koncept 6 elimineras. | | | |

Även i detta fall presterade koncept 6 sämst med -3 i nettovärde (se tabell 8 ovan). Näst sämsta konceptet var koncept 5 som fick -2 i nettovärde. Koncept 3, som är referensen i denna tabell, fick andra plats med 0 i nettovärde och koncept 1 fick förstaplats med 2 i nettovärde. Gruppen anser att koncept 6 bör elimineras då den presterade sämst i de båda iterationerna av Pughs matris som utfördes.

För att öka säkerheten och den tillgängliga informationen kring eliminerandet av resterande koncept så jämförs de i nästa steg med hjälp av en Kesselringmatris.

3.5.3 Kesselringmatris

Koncept 1, koncept 3 och koncept 5 gick vidare från Pughs matris till nästa steg som är en Kesselringmatris. I en Kesselringmatris jämför man precis som i Pughs matris konceptens förmåga att uppfylla önskemålen från kravspecifikationen men skillnaden är att en Kesselringmatris även tar hänsyn till hur viktiga önskemålen är. Önskemålets viktighet beskrivs med viktfaktorn w som fastställdes i kapitel 3.2.

Varje önskemåls betygsskala har diskuterats och bestämts i gruppen (se figur 10 nedan).

| Underhållsbehov | | Minimerad massa | |
|-----------------|-------|-----------------|-------|
| Värde | Betyg | Värde (g) | Betyg |
| Varje vecka | 1 | 95,2-119 | 1 |
| Varje månad | 2 | 71,4-95,2 | 2 |
| Varje kvartal | 3 | 47,6-71,4 | 3 |
| Varje halvår | 4 | 23,8-47,6 | 4 |
| Varje år | 5 | 0,0-23,8 | 5 |

| Lösryckbar laddning | | Enkelhet | |
|---------------------|-------|------------------------|-------|
| Värde | Betyg | Värde | Betyg |
| Ej lösryckbar | 1 | Subjektiv bedömning | 1 |
| - | 2 | | 2 |
| - | 3 | | 3 |
| - | 4 | | 4 |
| Lösryckbar | 5 | | 5 |

Figur 10 - Betygsskalor för önskemålen

Betygsskalan för underhållsbehovet sträcker sig mellan underhåll varje vecka och underhåll varje år. Den lägre gränsen som ska ge betyget 1 sattes till varje vecka. Detta eftersom gruppen anser att underhåll mer frekvent än en gång i veckan är helt oacceptabelt. Den övre

gränsen som ska ge betyget 5 sattes till varje år. Denna gräns hade kunnat vara högre, men med tanke på de tuffa förhållanden som drönaren kommer operera under är detta en rimlig gräns. Att endast behöva utföra underhåll en gång om året anser gruppen är tillräckligt sällan och fördelen med att exempelvis i stället behöva utföra underhåll vartannat år är minimal. Värdena som ska representera betyget 2, 3 och 4 sätts inte linjärt då skillnaden som en vecka mer eller mindre mellan varje underhållstillfälle gör då behovet är exempelvis 2 veckor är mycket större än vad skillnaden skulle vara om utgångsbehovet var ett år. För att ett koncept ska få ett visst betyg måste underhåll krävas mer sällan än det värde som angetts för just det betyget. Det vill säga, om underhåll skulle krävas var femte månad exempelvis skulle detta ge betyget 3.

Betygsskalan som bestämmer vilket betyg koncepten ska få med minimerad massa i åtanke är linjär och börjar från 0 g och sträcker sig till 119 g. Gruppen anser att en linjär skala är rimlig då massan i detta fall endast avser den adderade massan från gruppens lösningar vilket enligt betygsskalans värsta fall är ca 12% av den totala massan för drönaren. Det betyder att en minskning av massan från 100g till 90g är lika åtråvärd som en minskning av massan från 30g till 20g, därav den linjära skalan.

Betygsskalan tillhörande önskemålet "Lösryckbar laddning" är binär med antingen betyget 1 eller 5 då koncepten endast kan ha lösryckbar laddning eller inte.

Enkelheten av koncepten bedöms subjektivt utefter hur enkla gruppen uppskattar att koncepten är att tillverka. Ett koncept som består av få delar och som gruppen anser enkelt kan monteras av en montör får högre betyg i denna bedömning. Meriterande i denna bedömning är även om konceptet underlättar för användaren den som ska utföra underhåll på drönaren.

I Kesselringmatrisen (se tabell 9) ser man önskemålen i kriterier-kolumnen och respektive viktfaktorer från viktningen i w-kolumnen. Sedan bestämdes ett betyg utifrån de olika betygsskalorna mellan 1–5 som sattes i v-kolumnerna för varje önskemål. Därefter multiplicerades dessa betyg med kriteriets viktfaktor. Detta resultat är bidraget (t) till totala meritvärdet (T). t-kolumnen summerades sedan till konceptets totala meritvärde (T).^[2]

Tabell 9 - Kesselringmatris med koncept 1, 3 och 5

| Kriterier | | Koncept | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------------------------|------|-----------|--------|-----------|--------|
| | | Koncept 1 | | Koncept 3 | | Koncept 5 | |
| Namn | w | v | t | v | t | v | t |
| Minimerat underhållsbehov | 2,5 | 4 | 10 | 4 | 10 | 4 | 10 |
| Minimerad massa | 5 | 4 | 20 | 3 | 15 | 2 | 10 |
| Lösryckbar batteriladdning baktill | 2,5 | 5 | 12,5 | 5 | 12,5 | 5 | 12,5 |
| Enkelhet | 3,125 | 4 | 12,5 | 3 | 9,375 | 2 | 6,250 |
| Total | | 17 | 55 | 15 | 46,875 | 13 | 38,750 |
| Rangordning | | 1 | | 2 | | 3 | |
| Beslut | | Koncept 3 och Koncept 5 elimineras. | | | | | |

Enkelheten hos koncepten skiljer sig inte så mycket med hänsyn till hur få delar de består av. Gruppen ansåg inte heller att svårigheten med att montera koncepten skiljde sig märkbart åt.

Där de skiljer sig däremot är hur koncepten kommer förenkla för användaren att utföra underhåll. Koncept 3 och 5 använder båda dellösningen tätningar vid öppningar för kablage. Skulle kablar behöva bytas ut exempelvis skulle dessa tätningar även behöva tas bort och bytas ut. Koncept 5 använder även dellösningen lim och tejp för att skydda elektroniken mot vatten. Denna lösning försvårar ytterligare utförandet av underhåll för användaren som även i detta fall måste byta ut tejp och limmet efter varje underhåll av drönaren. Med detta i åtanke sattes betygen 4, 3 och 2 för Koncept 1, 3 och 5.

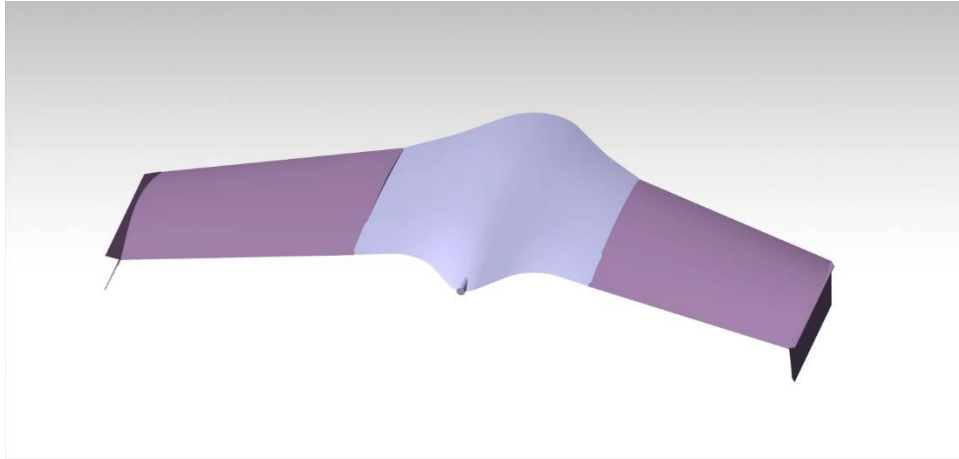
Gruppen anser att underhåll av drönaren är viktigt och varje koncept har studerats i detalj för att bestämma en lämplig underhållsperiod. Underhåll säkrar kvalitén och minimerar risker för drönaren genom att de vattentätande egenskaperna kontrolleras. Dessa vattentätande egenskaper för kvarstående koncept är gummipluggar, tätningar och tätningslister samt lim och tejp. Gruppen anser att varje halvår är en lämplig underhållsperiod där man kan kontrollera att gummipluggar sitter rätt och inte är skadade, tätningar och tätningslisterna är i ett gott skick och funktionella samt utnyttja tillfället att förnya lim och tejp om.

Utfallet av denna Kesselringmatris visar att koncept 3 och koncept 5 fick lägre totalt meritvärde än koncept 1. Skillnaden i meritvärde mellan koncept 1 och koncept 3 är dock ganska liten och detta är problematiskt när man ska visa att ett koncept utan tvivel är underlägset ett annat. Men med tanke på att koncepten är väldigt lika med få detaljer som skiljer dem åt är det rimligt att detta också återspeglas även i de totala meritvärdena. Den till synes lilla skillnaden blir därför större med detta i åtanke och en eliminering av koncept 3 och koncept 5 kan därmed utföras.

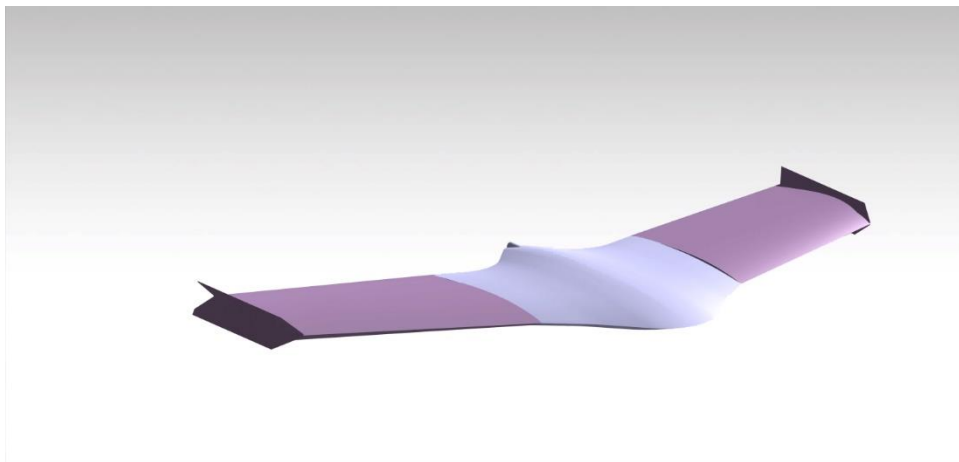
3.6 Preliminär slutprodukt

Med konceptelimineringen utförd och med ett enda återstående koncept skall detta vidareutvecklas.

Då CAD-modellen av drönaren inte finns att tillgå har en så lik som möjligt modell skapats genom att använda ritningar (se bilaga A). Detta för att kunna visa dellösningarna i ett sammanhang där de tillsammans utgör ett helt koncept. Nedan visas den skapade modellen av drönaren (se figurerna 11 och 12).



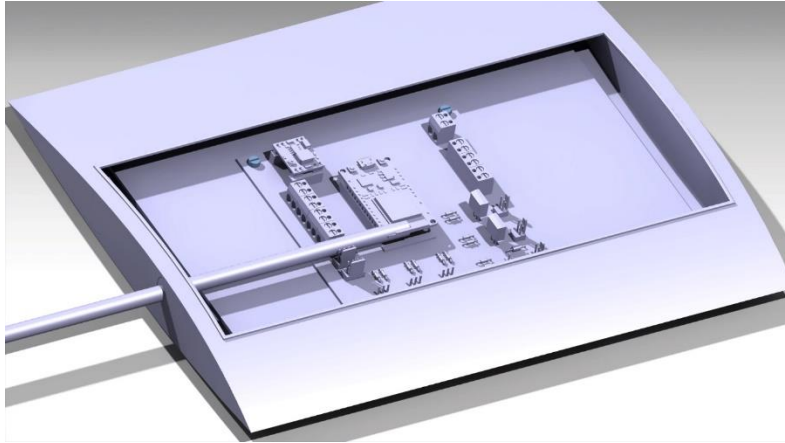
Figur 11 - Den skapade 3D-modellen av sjöräddningsdrönaren



Figur 12 - Den skapade 3D-modellen av sjöräddningsdrönaren

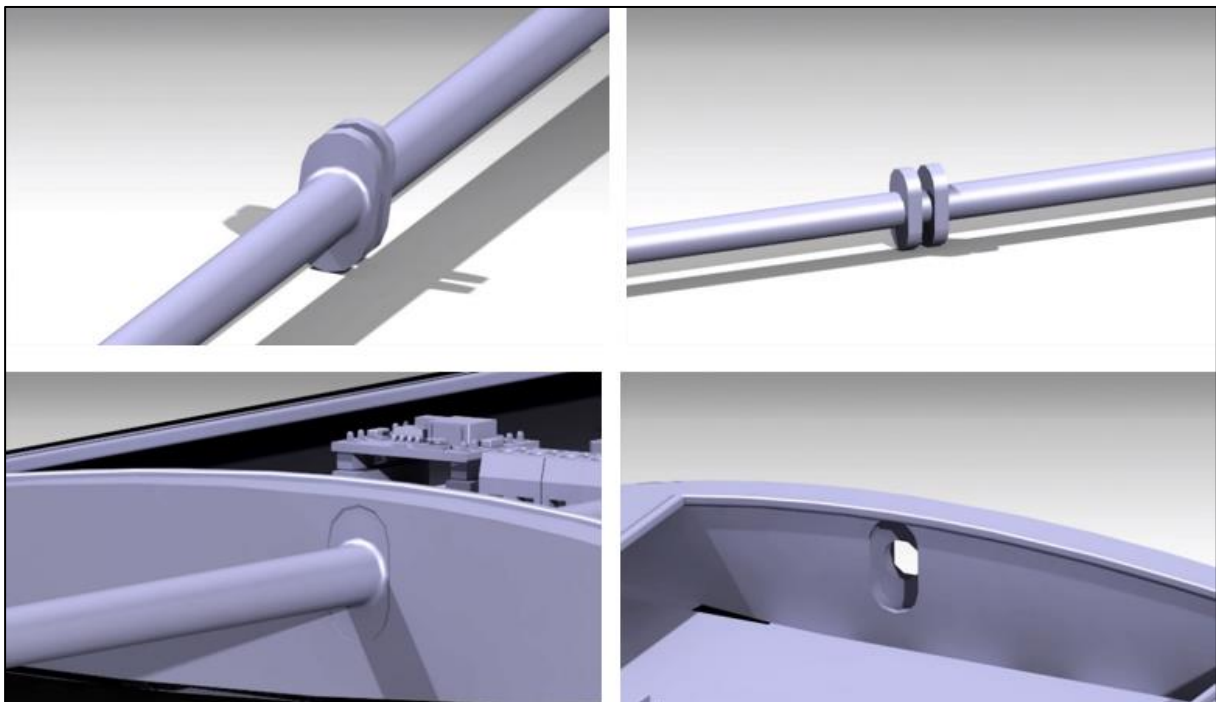
Gruppen har skapat en låda med liknande dimensioner som drönaren har utan vingar, för att kunna placera dellösningarna i. Därefter har en modell av kretskort hittats och lagts in för bättre visualisering, det vill säga kretskortet agerar som platshållare åt de elektriska komponenter som ska användas av SSRS.

De visualiserade dellösningarna består av skruvförband som sätter fast kretskortet i lådan, kabel med påsittande gummipluggar, låda med hål och tätningslister (se figur 13). Lådan placeras inom flygplanskroppen och fungerar som ett extra lager säkerhet mot vatten.



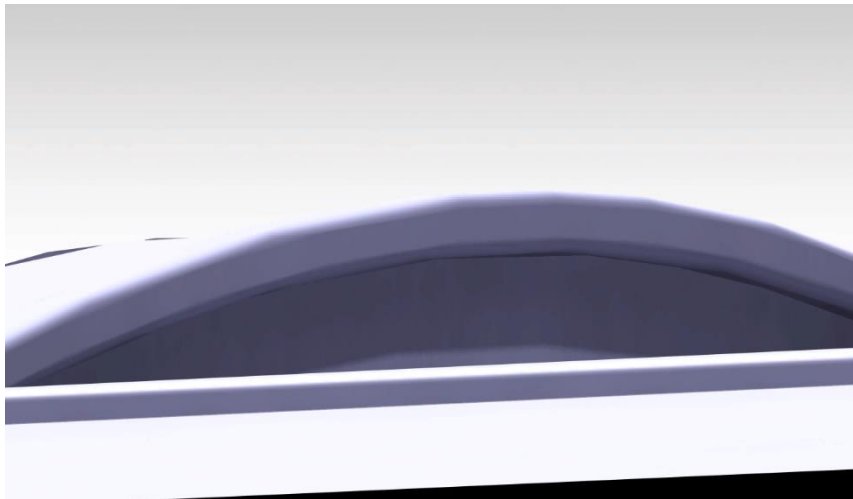
Figur 13 - 3D-modell av slutprodukten som helhet

Då drönaren har kablar som behöver dras från lådan till elektriska komponenter utanför lådan är det viktigt att dessa hål som kablarna dras genom även säkras mot eventuell genomträngning av vatten. Därför ska kablarna ha två gummipluggar som sitter på för att minska risken för vattenskador på avioniken. Dessa gummipluggar sitter tätt mot kabeln och hålen som finns på båda sidor av väggen på lådan. Hålen består av två delar, ett inre hål som är lika stort som kabeln samt ett yttre hål som med samma form och storlek som gummipluggarna (se figur 14).



Figur 14 – 3D-modell av gummiplugg som sitter på kabeln

Tätningsticker används mellan lock och låda för att undvika vattengenomträngning, som anses vara en säkrare lösning än lim och tejp (se figur 15). Den här lösningen kräver mindre underhåll jämfört med andra lösningar som gruppen har genererat.



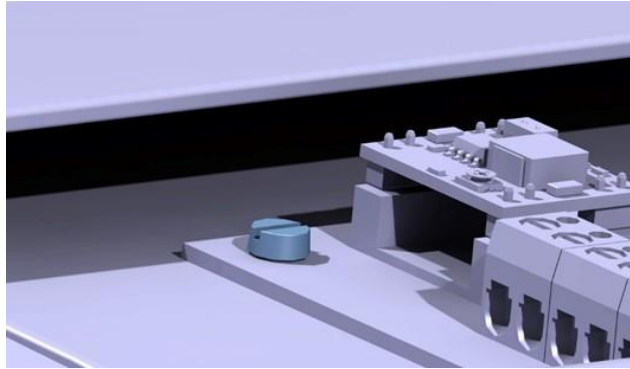
Figur 15 - 3D modell av tätninglisterna

Laddning av interna batterier sker via en likströmskontakt som liknar en hörlurskontakt (se figur 16). Likströmskontaktarna används oftast för laddning av batteridrivna verktyg, såsom borrar och skruvdragare. Ett runt kontakthuvud som detta är optimalt för att det ska kunna ryckas ur vid starten av drönaren.



Figur 16 - 3D-modell av likströmskontakt (360°-kontakt)

För att sätta fast elektroniken kommer skruvförband att användas. Detta är för att säkerställa att elektroniken sitter fast och inte flyttar sig under uppdrag (se figur 17).



Figur 17 – Kretskort med skruvförband

3.7 Test & validering

Med det slutliga konceptet färdigutvecklat är det dags för tester för att se om den lösning som framtagits håller kraven vad gäller skydd mot vatten. Då en prototyp inte varit möjlig att tillverka har testerna utförts på en kopplingsdosa som till funktionen är lik den låda som det slutliga konceptet använder. Kopplingsdosan ska modifieras med hål och tillhörande gummipluggar samt en tätningslist mellan lock och låda. En krympslang har använts för att efterlikna tätningslisten. Testerna har utförts inomhus med ett vattendjup på ungefär 30 cm.

Testerna har delats in i tre testobjekt (TO):

- TO1 - Kopplingsdosa ej modifierat
- TO2 - Kopplingsdosa modifierat med hål och gummipluggar
- TO3 - Kopplingsdosa modifierat med hål och gummipluggar samt tätningslist mellan lock och låda

När drönaren landar efter ett uppdrag finns två möjliga scenarier då man inte tar hänsyn till en eventuell kraschlandning på land. I det första scenariot landar drönaren på vattnet och flyter på vattenytan som det är tänkt. I det andra, mer osannolika, scenariot landar drönaren i vattnet men fastnar sedan under vattenytan. Dessa scenarier återskapades genom att varje testobjekt testades både flytande och under vattenytan. Syftet med att ha tre olika testobjekt var att se hur respektive modifiering av kopplingsdosan påverkade skyddet mot vatten. Inuti lådan placerade gruppen ett tunt skikt med servetter som kan indikera visuellt om vatten trängt in. För att kunna jämföra de olika testobjektens förmåga att skydda sin insida mot vatten ska tiden för testerna mätas och tidpunkten då vatten upptäcks inuti objekten noteras. Den maximala tidslängden för testerna ska likna den tid som drönaren kan förväntas spendera i vattnet innan den blir upplockad. Denna tidslängd har uppskattats till att vara 30 minuter. Då vatteninträngning kan vara svårt att upptäcka utan att öppna locket till lådan ska kontroller av lådan utföras med ett visst tidsintervall.

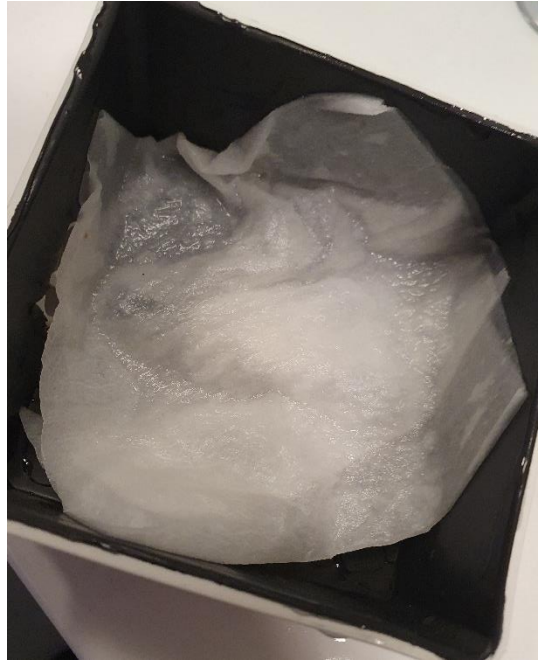
Det finns en risk att kontrollerna av lådans insida kan påverka skyddet mot vatten. Denna risk är påtagligast i TO3 där tätningslisten kan lossna och behöva placeras om. För att minimera denna risk ska ett längre tidsintervall mellan kontrollerna väljas. En risk med ett för stort intervall är att noggrannheten i testerna försämras då det är en stor skillnad mellan

vatteninträngning direkt då objektet sänks ned i vattnet eller om vatten tränger in strax innan första kontrollen. Med detta i åtanke ansågs tio minuter vara en rimlig tid att vänta mellan varje kontroll.



Figur 18 - TO1 testas på vatten

Figur 18 ovan visar TO1 då det testades på vatten. Gruppen utförde tre kontroller, en var tionde minut och servetten visade inga tecken på vatteninträngning. Då lådan i stället sänktes under vattnet kunde man direkt se luftbubblor stiga till ytan. Detta bidrog till att kontrollen utfördes efter cirka 2 minuter och när lådan undersöktes närmare kunde man se att servetterna i lådan var blöta (se figur 19 nedan). Luftbubblorna som indikerade vatteninträngning hade sitt ursprung mellan locket och lådan.



Figur 19 - Insidan av TO1 efter andra delen av testet



Figur 20 - TO2 testas på vatten

I figur 20 syns TO2 då den testas på vatten. Här utförs 3 kontroller med 10 minuters mellanrum och även här visar servetten i kopplingsdosans botten inga som helst tecken på vatteninträngning.



Figur 21 - TO2 testas under vatten

När TO2 testades under vatten kunde man precis som när TO1 testades direkt se luftbubblor stiga från locket till vattenytan (se figur 21). Detta ledde till att kontrollen utfördes efter cirka två minuter i stället för tio och servetterna inuti dosan visade tecken på vatteninträngning.

TO3, som kan ses i figur 21, visade likt TO1 och TO2 inga tecken på vatteninträngning då kopplingsdosan flöt på vattenytan. När TO3 sedan sänktes under vattnet syntes inga luftbubblor till. Efter den första kontrollen då tio minuter passerat syntes inga tecken på vattenintrång. Efter ytterligare tio minuter visade servetten tecken på att vatten läckt in. Mängden vatten som läckte in i TO3 är mycket mindre jämfört med den mängd som läckte in i TO1 och TO2.



Figur 22 - TO3 innan den testas

Testresultaten i tabell 10 visar att så länge kopplingsdosan flyter på vattnet är risken för vatteninträngning låg. Resultaten visar även att gummipluggen och tätninglisten mellan locket och lådan har en god effekt på testobjektens vattentäthet.

Tabell 10 - Testresultat för tre olika testobjekt (TO)

| | PÅ VATTEN | UNDER VATTEN |
|------------|------------------|---------------------|
| TO1 | >30 min | <2 min |
| TO2 | >30 min | <2 min |
| TO3 | >30 min | 10–20 min |

Att modifieringarna på kopplingsdosan ökade skyddet mot vatten tyder på att det koncept som framtagits skulle öka drönarens skydd mot vatten. Testerna visar alltså att det slutliga konceptet skyddar drönarens elektronik mot vatten mycket bra när den flyter på vattenytan medan det finns en risk för vatteninträngning efter tio till tjugo minuter då drönaren av någon anledning skulle hamna under vattenytan. Då risken för att drönaren skulle hamna under vatten är mycket låg anser gruppen att konceptets skydd mot vatten är godkänt.

4 Slutsats

Detta projekts syfte var att se över hur elektroniken i SSRS framtida sjöräddningsdrönare skulle kunna skyddas mot vatten. Även en lösning för hur laddning av drönarens batterier skulle se ut ingick i projektets syfte. Syftet bröts ned i två frågeställningar som nu ska besvaras:

- Hur ska elektroniken skyddas mot vatten?

För att besvara denna fråga krävs att hänsyn inte bara tas till de vattentätande elementen i lösningen. Hur elektroniken ska fästas och hur kabeldragningen inuti drönarkroppen ska möjliggöras utan att påverka vattentätheten är viktiga för att kunna få en helhetsbild av hur drönarens elektronik ska skyddas. Elektroniken placeras i en låda inom drönarkroppen. Lådan har ett vattentätt lock som fästs med skruvförband. Skruvförbandets vattentätande effekt på locket kompletteras med tätningslister mellan lock och låda. Hål för kablage och elektromekanik görs vattentäta genom pluggar på båda sidorna av hålen. Dessa kan självklart kompletteras med någon vattentätande gel för att göra kabeldragning in i och ut ur lådan ännu säkrare.

- Hur ska laddningen av drönarens batterier se ut?

Drönarens batterier kan antingen laddas internt, när de sitter i drönaren eller externt, när de är bortplockade från drönaren. Båda alternativen har sina fördelar men uppdragsgivaren hade tydliga önskemål om att laddning skulle ske internt via en lösryckbar kontakt. Tanken är att kontakten ska ryckas ur vid starten av drönaren. Detta möjliggörs genom ett runt kontakthuvud i bakkant på drönaren som då enkelt rycks loss vid start.

5 Diskussion

Sammanställningen av konceptens massa i kapitel 3.4.2 möjliggjorde en jämförelse mellan de olika konceptens massa vilket var viktigt för konceptelimineringen. Dock är det värt att notera att det föreligger viss osäkerhet kring de olika massorna då exempelvis den tätningsslist som beräkningen gjordes med eller de skruvförband som valdes kan komma att ändras i framtiden och likaså antalet av hål som behöver gummipluggar eller tätningar exempelvis. En förändring av dessa skulle självklart också ändra massan av de olika delarna vilket i sin tur skulle ändra totalmassan för koncepten. Gruppen anser trots denna osäkerhet att sammanställningen ger en tillräckligt rättvis bild av hur de olika konceptens massa förhåller sig till varandra för att den skulle kunna användas i konceptelimineringssyfte.

Validering av krav och önskemål i kravspecifikationen är en viktig del av produktutvecklingsprocessen. På grund av den rådande pandemin har det inte varit möjligt att tillverka någon prototyp för testning av funktioner och egenskaper. Detta påverkar såklart konceptets tillförlitlighet negativt. Däremot har tester utförts på en kopplingsdosa med liknande funktion som den tilltänkta lösningen har. Dessa tester anses vara relevanta nog då de utfördes på ett sätt som motsvarar de förhållanden som drönaren utsätts för vid landning i vatten. Dessa tester visade att då kopplingsdosan hålls flytande är risken för vatteninträngning låg, medan viss vatteninträngning sker efter 10 till 20 minuter då den hålls under vatten. Att kopplingsdosan läcker in vatten efter en kort tid under vatten ska under normala omständigheter för drönaren inte spela någon roll då den ändå ska flyta på vattenytan efter uppdrag.

Gruppens lösning för laddning av drönarens batterier tog stor hänsyn till uppdragsgivarens önskemål om frihet från underhåll och att laddning av batterier ska kunna pågå fram till startögonblicket. Risken med denna lösning är då drönaren kommer tillbaka efter ett uppdrag med en låg del av sin kapacitet kvar i batterierna samtidigt som ett ytterligare larm om sjönöd inkommer. Denna risk skulle kunna elimineras med en extern laddning av batterierna i stället. Att ha två olika batteripaket, ett i drönaren under uppdrag som sedan ersätts av det andra som har fått laddas till full kapacitet. Detta innebär såklart en ökad mängd underhåll av drönaren och dess batterier där det är av yttersta vikt att nyss använda batterier sätts på laddning för att den externa laddningens fördelar ska kunna utnyttjas.

6 Vidareutveckling av det framtagna konceptet

Vidareutveckling som hade varit intressant att titta på är hur lösningen påverkas av den förhöjda temperaturen som orsakas av komponenter i drönaren såsom motorn och batterier och även eventuella tryckskillnader mellan insidan och utsidan av drönaren, dels på grund av denna förhöjda temperatur och från vattnet då drönaren flyter på vattenytan. Det skulle också vara intressant att utföra beräkningar och simulera en hård landning i vattnet för att på så sätt se hur lådan med lösningarna klarar sig.

Placeringen av elektronik inuti lådan skulle även kunna ses över för att bestämma hur den ska utföras för att inte påverka var drönarens masscentrum befinner sig.

Ett annat exempel på hur det framtagna konceptet skulle kunna arbetas vidare på är om man integrerar lådan i drönarkroppen så att lådan helt enkelt blir en del av drönarkroppen. Detta skulle spara vikt då botten på lådan inte längre behövs och likaså de skruvförband som är tänkt att fästa lådan till drönarkroppen.

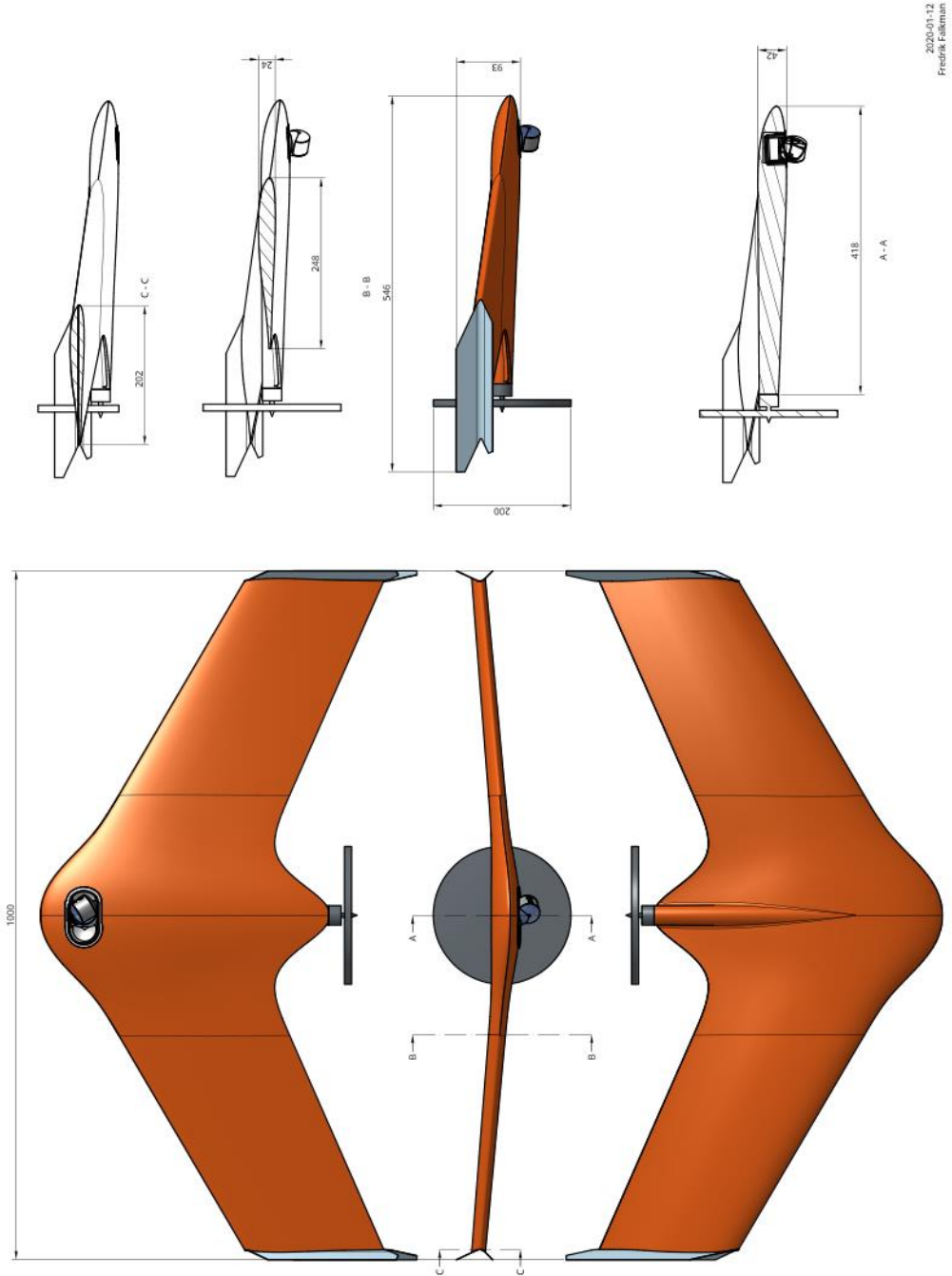
Referenser

[1] Nationalencyklopedin, avionik. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/avionik> (hämtad 2021-06-04)

[2] Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2013). Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design (2: a uppl.). (B. Kullinger, Red.) Stockholm: Liber AB.

Bilagor

Bilaga A. Ritning av sjöräddningsdrönare



**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS