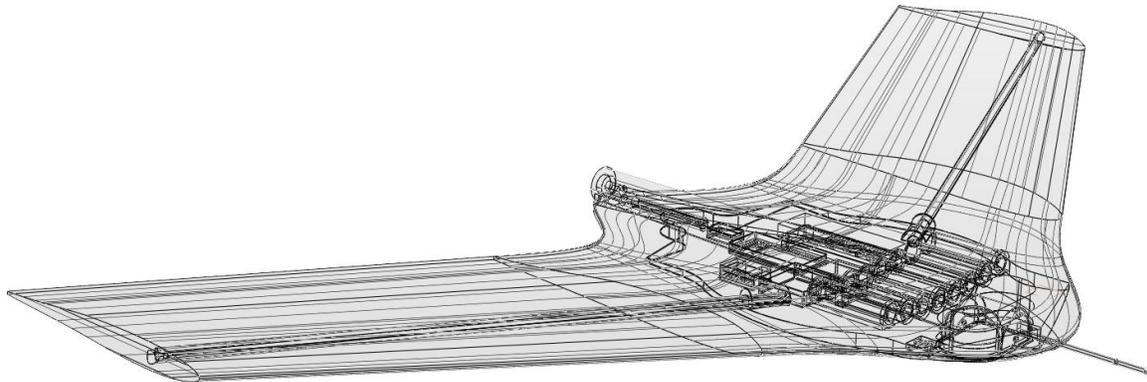




CHALMERS



Utformning av konstruktion och design till drönare för spaning till havs

Examensarbete i design och produktutveckling

William Gilså
Axel Munkby

EXAMENSARBETE 2020

**Utformning av konstruktion
och design till drönare för spaning till havs**

Examensarbete i design och produktutveckling

WILLIAM GILSÅ
AXEL MUNKBY



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Industri- och materialvetenskap
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sverige 2020

Utformning av konstruktion och design till drönare för spaning till havs
WILLIAM GILSÅ
AXEL MUNKBY

© WILLIAM GILSÅ, AXEL MUNKBY, 2020.

Handledare: Håkan Almius, Avdelningen för Design and Human Factors
Examiner: Håkan Almius, Avdelningen för Design and Human Factors

Examensarbete 2020
Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg

Utformning av konstruktion och design till drönare för spaning till havs
WILLIAM GILSÅ, AXEL MUNKBY
Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Studien är tillsammans med flera andra, ett projekt utvecklat av Svenska Sjöräddningsällskapet med en vision om att använda sig av autonomt flygande drönare som avfyras från utplacerade torn längs med kusten. Dessa drönare skall svara direkt vid ett larm för att flygas ut till olycksplats, cirkulera och skicka en videoström av olycksplatsen. Efter utfört uppdrag skall drönaren åter kunna placeras i avfyrningstorn med hjälp av frivilliga livräddare hos Svenska sjöräddningsällskapet, hädanefter refererat som SSRS.

Vid en tidigare studie har det framställts en design för drönaren, i form av en tunn aerodynamisk fastvingedrönare. Följande studie kommer fokusera på att förverkliga den designen, genom att utveckla ett koncept på en konstruktion som möjliggör installation av ingående elektroniska komponenter samt skydda dessa och stärka drönaren i helhet. Även en yttre design ska färdigställas för att förmedla och underlätta handhavande för livräddare. För att åstadkomma det behövs gedigen informationsamling kring tidigare design av drönaren, en användarbaserad studie kring hur målgrupp upplever handhavandet med drönaren, tillsammans med ett kreativa lösningar för hur installation och konstruktion skall ske.

Genom en produktutvecklingsprocess har ett koncept framställts som visar på hur ingående komponenter skall placeras, installeras och skyddas för att fastvingsdrönaren skall klara av de svenska förhållanden som råder vid kusten och hanteras korrekt.

Konceptet bygger på två gjutna delar i expanderbar polypropylen, en överdel och underdel. Tillsammans med kolfiberrör i syfte att leda kablar och säkra vingar. Delarna har fickor anpassade för all ingående komponenter och förstärkningar som behövs för att göra drönaren flygduglig. Det expanderbara polypropylenet agerar som stötabsorberande skyddande material. Utöver detta har ett förslag framtagits på hur den yttre designen skall se ut för att minimera felhantering hos användarna.

Abstract

The following study is, together with multiple other studies a project developed by The Swedish Sea Rescue Society (SSRS) with the ambition to use autonomous surveillance drones, launched from specially designed towers along the coast. The drones is on standby and will respond immediately to a distress call, launch from a tower, circulate and send video feed of the location of the distress call. When the mission has been completed, the drone will be re-positioned by personnel in the tower.

An earlier study in the project has developed and designed the shape of the autonomous drone. An aerodynamic and thin fixed wing drone. This study will focus on making that design a reality by developing a concept of the inner design that makes sure all accompanying components will be protected and fit inside the drone as well as strengthening the whole structure. The project also involves design of the outer surface, in order to help the user understand the purpose and how to handle the drone. For this project to be successful it needs substantial information gathering on the earlier design of the drone, a user based study about how users are handling drones together with creative solutions of how installation and placement of inner structures.

By using a well known product development process a concept has been developed that shows how accompanying components should be placed, installed and protected, in order to be able to sustain the weather conditions on the Swedish coast and be handled correctly by the users.

The concept is based on two parts of molded Expandable polypropylene (EPP). One upper part and one lower part. Together with carbon fibre pipes that serves as pipelines for cables and secure the wing structure. The molded parts have “pockets” shaped for the inside components. The expandable polypropylene acts a shock absorbing material that protects the inside components. Together with the inner design, an outer design has been develop to improve the user experience.

Förord

Att arbeta med detta projekt har varit en väldigt givande erfarenhet och har gett oss en möjlighet att använda de kunskaper som vi har lärt oss under utbildningen.

Vi vill passa på att tacka vår handledare och examinator, Håkan Almius som har bidragit med viktiga synpunkter och villig att svara på alla de frågor som dykt upp under arbetets gång.

Vi vill också tacka Fredrik Falkman som har varit vår kontaktperson hos SSRS. Fredrik har alltid varit tillgänglig för kontakt och diskutera tankar om hur SSRS ser på projektet.

Tack så mycket.

William Gilså & Axel Munkby

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte	3
1.3	Mål	3
1.4	Frågeställningar	3
1.5	Avgränsningar	3
2	Teori	5
2.1	Tidigare studier	6
2.2	Beräkning av belastningar	7
2.2.1	Rörelseenergier hos kritiska komponenter	8
2.2.2	Krafters påverkan vid gira	8
2.2.3	Krafters påverkan vid krasch	10
2.2.4	Böjande moment till följd av inre komponenter	10
2.3	Produktsemantik	11
2.4	Parrot Disco	11
3	Metod	12
3.1	Produktutvecklingens faser	13
3.1.1	Förstudie	13
3.1.2	Konceptutveckling	13
3.1.3	Konceptutvärdering	13
3.1.4	Detaljkonstruktion	13
3.2	Brainstorming	13
3.3	Kravspecifikation	14
3.4	Skissmodell	14
3.5	Observationsbaserade användarstudier	15
3.6	Intervjubaserade användarstudier	15
3.7	Morfologisk matris	15
3.8	Kesselrings matris	15
3.9	EcoAudit	16
4	Material	17
4.1	Förekommande material	18
4.1.1	EPP	18
4.1.2	Kolfiber	18
4.1.3	Dacrontejp	18
4.1.4	Glasfiberarmerad PP tejp	19
4.1.5	Balsaträd	19
4.2	Hållbarhetsanalys	19
5	Genomförande	21
5.1	Fas 1	22
5.1.1	Idegenerering Fas 1	22
5.1.2	Skissmodell	22
5.1.3	Intervjuer och observationer	29
5.1.4	Slutsats Fas 1	29

5.2	Koncept yttre design	30
5.3	Fas 2	31
5.3.1	Idegenerering Fas 2	31
5.4	Koncept Fas 2	32
5.4.1	Koncept 1 Locket	32
5.4.2	Koncept 2 Lådan	33
5.4.3	Koncept 3 Klämman	34
5.5	Praktiska tester av material	35
5.6	Resultat materialtester	36
5.7	Krocktest	37
5.7.1	Koncept 1 Krocktest	37
5.7.2	Koncept 2 Krocktest	38
5.7.3	Koncept 3 Krocktest	39
5.8	Slutsats krocktest	40
5.9	Utvärdering Fas 2	40
6	Modellering och Utformning	41
6.1	Vidareutveckling av koncept	42
6.1.1	Viktdistribuering	42
6.1.2	Bottenplatta	45
6.1.3	Stärkande konstruktion i vingar	45
6.1.4	Motorinfästning	46
7	Slutkoncept	47
7.1	Beskrivning av utformning	48
7.2	Tillverkning	50
7.3	Installation	50
7.4	Kravutvärdering	52
8	Diskussion	55
8.1	Begränsande faktorer	56
8.2	Vidare utveckling	57
8.3	Påverkan på allmänheten	58
9	Slutsats	59
9.1	Projektets slutsats	60
9.2	Rekommendationer	60
	Referenser	61
	Bilagor	62

1 Inledning

Kapitlet ger en inledande förklaring till studien. Här beskrivs bakgrund, syfte, mål, frågeställningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Under de senaste åren har teknologin för drönare utvecklats enormt. Mycket av denna utveckling bygger på att kombinera drönarnas teknologi med redan existerande teknologi. Som exempelvis Infraröda kameror, sensorer och lasrar som mätinstrument har applikationerna för drönare ökat avsevärt samtidigt som priser pressas nedåt. Applikationerna finns inte bara för militära ändamål utan genom dessa teknologiska framsteg inom drönare industrin sparar organisationer, företag och privatpersoner både tid, pengar och räddar liv. Med denna utveckling ökar intresset för många organisationer. Livräddning, kartläggning av djurliv, övervakning, jordbruk är bara några av dessa användningsområden [1].

Svenska sjöräddningssällskapet är en ideell förening med frivilliga sjöräddare volontärer och en liten administration, de finansieras av medlemsavgifter och donationer, trots detta har organisationen de senaste 10 åren fördubblat sina medlemmar och antal sjöräddningsbåtar, [2]. SSRS består av 72 räddningsstationer och 2200 frivilliga sjöräddare som är beredda att rycka ut, de deltar i cirka 80 procent av all sjöräddning inom sverige. Inom 15 minuter är räddningen på väg när larmet går [2]. I våra kalla skandinaviska vatten är tid en viktig faktor vid sjöräddning. Att använda sig av en drönare passar därför utmärkt för denna organisation då på grund av den effektiva svarstiden samt att helikopterövervakning kräver stora resurser och arbetskraft.

Under en längre tid har Svenska sjöräddningssällskapet, SSRS, arbetat med att ta fram en autonom drönare som ska användas för spaning vid olyckor nära den svenska kusten. Under den tid som SSRS har arbetat med detta projekt har flertalet examens- och kandidatarbeten använts för att de ska kunna ta del av kunskap inom olika områden. Då projektet nu börjar röra sig mot slutstadiet av utvecklingen behöver de tidigare projekten sammanställas samt huruvida förstärkningar inuti kroppen krävs. Då många av de människor som kommer hantera denna drönare är volontärer som inte alltid har möjlighet att lägga en längre tid på att lära sig hur denna utrustning ska hanteras så är ett inslag av produktsemantisk design relevant att inkludera.

SSRS vision är att använda sig av autonomt flygande drönare som avfyras från utplacerade torn längs med kusten. Dessa drönare skall svara direkt vid ett larm för att flygas ut till olycksplats, cirkulera och skicka en videoström av olycksplatsen med anledning att: Bygga tidig lägesbild av situationen, söka området, operativt stöd, träning och utveckling. Efter utförd uppgift skall drönaren landa i vattnet för att sedan plockas upp av personal och åter installeras i avfyrningstorn.

1.2 Syfte

Studiens syfte är att genom problemlösning, väletablerade produktutvecklingsmetoder samt beräkning framställa och visa en realistisk prototyp på SSRS drönare för spaning av sjöräddning till havs i ett försök att få SSRS närmre sitt slutmål. Uppdraget baseras på tidigare studier kring ämnet. Studien kommer att innebära:

- Utveckla förstärkningar inuti vingar och kropp för att klara av laster vid flygning och andra kritiska moment.
- Skapa utrymme för inre komponenter samt övrig utrustning som den autonoma drönaren skall innehålla.
- Implementera produktsemantisk design för installation i avfyrningstorn och handhavande.
- Frambringa ett koncept som reflekterar den produktsemantiska design och de förstärkningar som krävs.
- Ett möjligt sätt att implementera konstruktionen i den redan befintliga formen och materialet.

1.3 Mål

Identifiera vilka krav som ställs på flygkroppen i form av laster och i sådana fall vilka förstärkningar som behöver göras inuti flygkroppen för att klara av de laster som drönaren utsätts för vid start, flygning och landning.

Leverera en modell som illustrerar hållfastheten för drönare vid flygning innehållande samtlig utrustning som tillhandahålls genom BOM-lista.

Implementera en yttre produktsemantisk design för att medge enkel installation i avfyrningstorn för volontära livräddare som saknar teknisk utbildning samt förenkla handhavande.

1.4 Frågeställningar

Hur utvecklar man på bästa sätt en konstruktion som är lätt och tillräckligt stark?

Hur utformar man bäst en ytdesign av en drönare för att förmedla användningssättet?

Hur gör man ett möjligt sätt att implementera konstruktionen i en bestämd form och material?

1.5 Avgränsningar

Projektet kommer i huvudsak att fokusera på att utveckla en hållbar konstruktion för de laster som uppstår vid sjöräddning samt en lättförståelig ytdesign av drönaren för de som

är i direkt kontakt med drönaren under räddning och utplacering vid avfyrningstorn. För att studien ska hållas på en rimlig nivå har några avgränsningar gjorts. Studien kommer inte att behandla:

- Utveckling eller effektivisering av ingående elektronik
- Mjukvaran som drönaren skall inkludera.
- Utformning av vingarna och dess tillhörande komponenter.
- Styrfenors placering, storlek och konstruktion
- Laddning av batterier.
- Vattentäthet.
- Materialval.
- Hållbarhetsanalys av de inre komponenterna såsom elektronik och kamera.

På grund av ovanstående avgränsningar kan inte en flygduglig prototyp levereras, därför utesluts flygtester, istället kommer en modell skapas som illustrerar den konstruktion och produktsemantiska design som implementeras. Prototypen som kommer levereras för att beskriva de förstärkningar som tagits fram kommer att presenteras i form av en konstruktion som kommer att samspela med drönarens gjutna vinge i EPP.

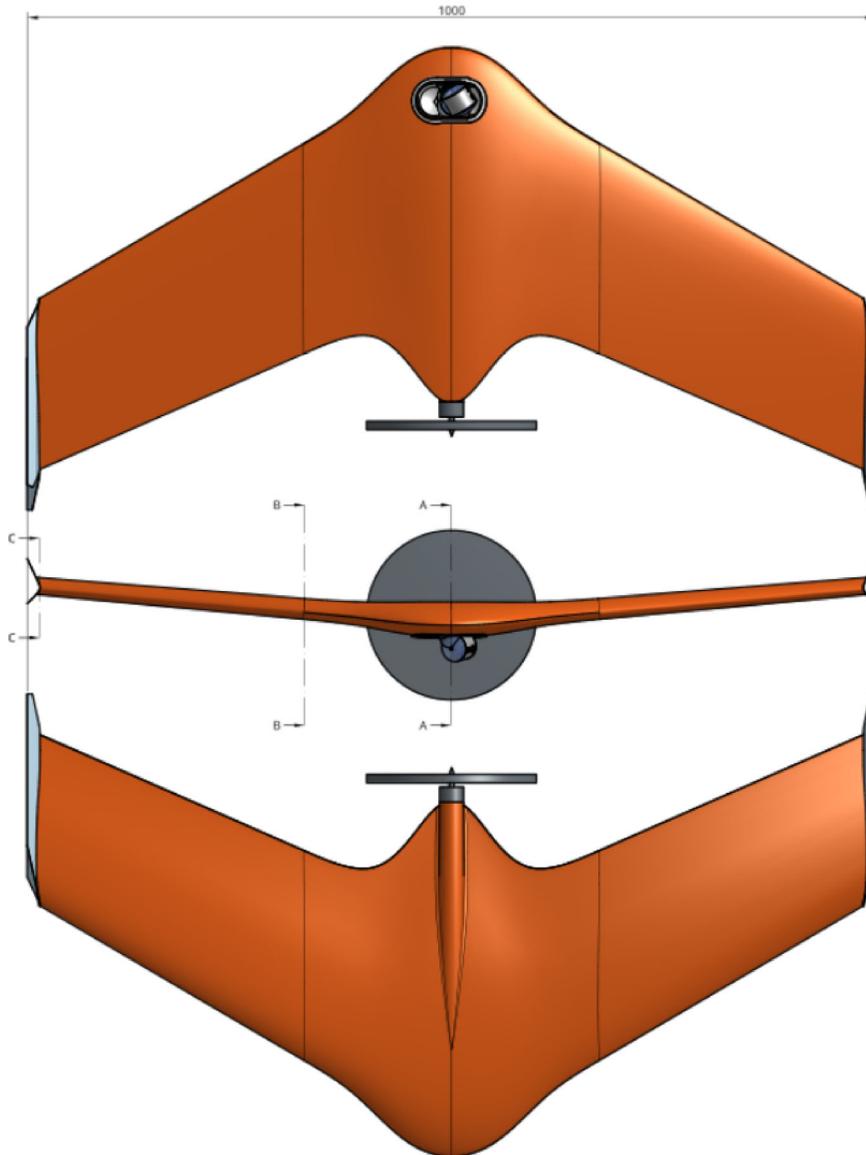
De material som kommer att inkluderas i tester av förstärkningar senare i projektet kommer att begränsas till material som ses som normala inom modellflygeri. Detta inkluderar sånt som kolfiber, balsaträd glasfibertejp och andra kompositer (Academy of model aeronautics, 2016).

2 Teori

Det teoretiska kapitlet redogör för den teoretiska bas som studien bygger på. Den används för grundläggande förståelse kring krafter påverkar en kropp i rörelse samt andra teorier som är nödvändiga för förståelse för studien.

2.1 Tidigare studier

Av de flertal studier som gjorts i anknytning till drönaren för SSRS har främst en studie haft stor påverkan på det arbete som rapporten behandlar. Detta är ett projekt som med hjälp av aerodynamiska beräkningar har levererat en form av drönarens kropp[3]. Kroppen som arbetet utgår ifrån kan ses i figur 1.



Figur 1: 3 olika vyer av den drönare som tagits fram i tidigare examensarbeten. Bild tillhandahållen från SSRS, 2019.

ovanstående utformning av drönaren är det som kommer gälla under kommande studie och behandlas som slutgiltigt.

Ytdesignen av drönaren kommer också påverkas till en viss del av tidigare examensarbeten som har berört avfyrningstornet där drönaren kommer vila i mellan flygningar. Förändringarna kan komma att fungera åt båda hållen. Det vill säga att denna studie kan resultera i att förändringar med avfyrningstornet kan komma behöva göras. Om så är fallet kommer det endast behandla förändringar i utseende för att tydligt kommunicera användningen av

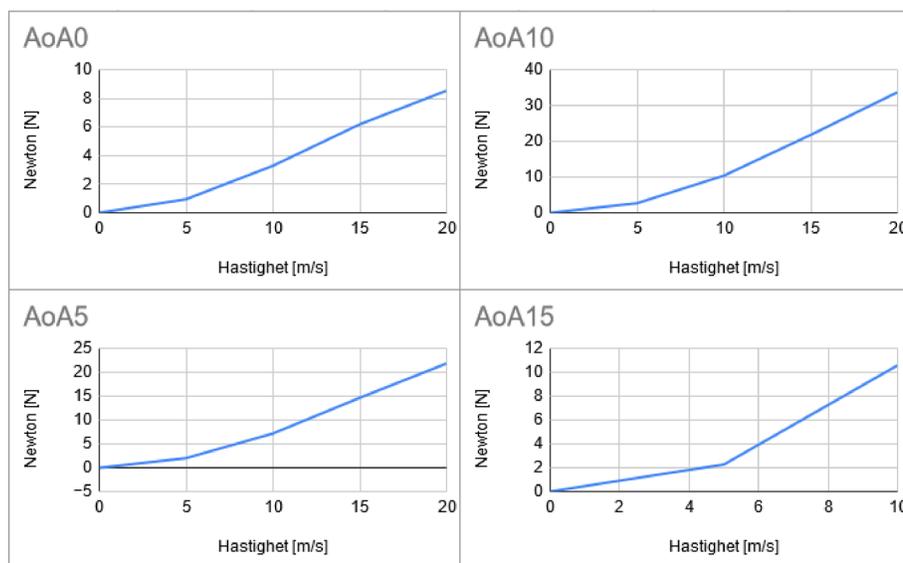
drönaren.

SSRS har själva arbetat med drönaren och satt upp ramar om hur den ska agera när den är i bruk. Drönaren kommer vara i vila i ett avfyrningstorn som sedan kommer skicka ut drönaren mot det registrerats. Drönaren kommer sedan att autonomt röra sig mot koordinaterna för larmet i en maximal hastighet av 40 m/s för att kunna nå spetsen av dess räckvidd inom 4 minuter, vilket är den typiska tidsramen innan personal lämnar räddningsstationen. När drönaren har anlänt till larmets plats kommer den att cirkulera med en svängradie på 50 meter, i en hastighet av 15 m/s och på en höjd av 45 meter. När drönarens uppgift är avklarad och räddningsaktionen är utförd av personalen kommer drönaren att landa. Drönaren kan komma att landa i både vatten och på land. När drönaren har landat kommer den att hämtas upp av räddningspersonalen som sedan kommer placera drönaren i avfyrningstornet där den laddas inför nästa larm.

2.2 Beräkning av belastningar

För att drönaren ska kunna flyga kommer flertalet krafter agera på kroppen under flygning och framför allt vid landning och krasch. Dessa krafter kan vara svåra att förstå hur de agerar då drönaren inte är fäst i något och detta leder till att konventionella beräkningar av laster kan falla kort. För att kunna hantera det så har belastningarna delats upp i fyra kategorier som behandlas separat i detta kapitel.

Tidigare examensarbeten har gjort tester i vindtunnel med den valda kroppen så används dessa uppmätta värden för lyftkraft. De tester som utförts överstiger dock aldrig 20m/s men de hastigheter som drönaren är beräknade för är närmare 40m/s så måste det tas i anseende. Genom att visualisera resultaten från vindtunneln i linjediagram vilket visade på att lyftkraften ökade relativt linjärt då hastigheten passerade 10m/s. De linjära egenskaperna användes sedan tillsammans med linjediagrammen för att uppskatta de lyftkrafter som påverkar drönaren vid 40m/s. Se figur 2 för resultat av vindtunneltester



Figur 2: Resultat av tester i vindtunnel. A0, A5, A10 och A15 beskriver den attackvinkel som drönaren har gentemot vinden. Författarnas egen bild, 2020.

2.2.1 Rörelseenergier hos kritiska komponenter

Enligt kinematiken som grundar sig på de rörelselagar som Newton skapade så är det mest kritiska moment för drönaren då det uppkommer lägesändringar för kroppen. Vid lägesändringar då drönaren utsätts för mest acceleration är de mest kritiska lägen för materialen och kommer behövas undersökas. Dessa kritiska lägen är start, landning, krasch och gira.

Det kan förklaras med formeln för kraft, se ekvation 1. Då kroppen flyger rakt fram i konstant hastighet finns det ingen acceleration. När drönaren svänger skapas en acceleration i sidled och därför ökar kraften på kroppen. Enligt formeln påverkas de komponenter som väger mest. I studien har det valts att fokusera på den största samlade massan, batterierna.

$$F = m * a \quad (1)$$

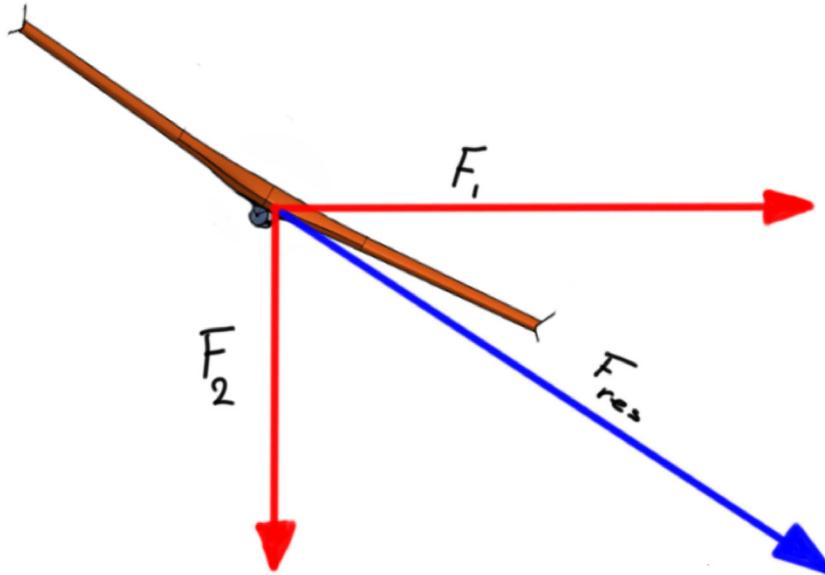
Vid en kraftig negativ acceleration, exempelvis vid en krasch, kommer den inre packningen ha en viss mängd energi som den rör sig med mot drönarens hölje. I detta fall handlar det om rörelseenergi, eller kinetisk energi som beräknas enligt ekvation 2.

$$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (2)$$

Då samtliga inre komponenter rör sig med precis samma hastighet vid en krasch så kommer "v" vara samma för alla komponenter men massan "m" kommer att skilja sig mellan de olika komponenterna och kommer på så sätt bidra till att de tyngsta komponenterna kommer vara de som erhåller mest energi. Av komponenterna som ingår i drönaren så är det batterierna som kommer ha högst massa förutsatt att de ses som en kompakt komponent. Så kommer inte vara fallet i ett verkligt scenario då det troligtvis kommer vara fördelade i kroppen för att bidra till en korrekt tyngdpunkt. Att behandla batterierna som ett paket är dock gynnsamt då detta resulterar i en sorts överdimensionering vilket kommer resultera i att koncepten blir starkare och man enkelt kan se vilka som inte klarar av ett så kallat "worst-case scenario" vilket i detta fall skulle kunna vara att batterierna är knutna i ett paket.

2.2.2 Krafters påverkan vid gira

När en kropp cirkulerar i hastighet så agerar en så kallad centripetalkraft på denna. Denna centripetalkraft kommer då tillsammans med den kraft som gravitationen utför på kroppen att resultera i en resultantkraft, en illustration av detta kan ses i figur 3. I figuren representerar F_1 centripetalkraften och F_2 gravitationen.



Figur 3: Illustration av hur krafter vid gira agerar på drönaren. Författarnas egen bild, 2020.

Denna interaktion blir intressant då man ser till de inre komponenterna och hur de i en sväng påverkar materialet som håller dem på plats. Om krafterna som påverkar de inre komponenterna blir för stora kan det leda till att belastningarna som agerar på materialet blir för stora vilket leder till att materialet brister.

Centripetalkraft är kraften som arbetar in mot centrumet av drönarens svängradie. Kraften kommer bidra med problem i form av trögheten som motarbetar denna kraft för de inre komponenterna. Huruvida materialet kommer att klara av de förhållanden är frågan som uppstår.

För att beräkna centripetalkraften krävs att man har tillgång till massan för objektet, hastigheten samt den svängradie som drönaren kommer cirkulera med. Sedan följer beräkningarna ekvation 3 som kan ses nedan [4].

m = Massa, v = Hastighet, R = Svängradie

$$F = m * \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Ekvationen kombinerad med kraften som gravitationen resulterar i kan sedan sättas in i pythagoras sats för att ge en uppfattning om hur packningen kommer att påverka materialet som håller det på plats. Det är dock viktigt att när den korrekta vikten anges i dessa fall. Eftersom packningens påverkan på materialet söks, är det endast den massa som används i beräkningarna.

I det fallet blir den resulterande centripetalkraften så låg att påverkan av packningen på materialet kan bortses, då den efterliknar de vanliga förhållandena som resulterar från gravitationen.

2.2.3 Krafterns påverkan vid krasch

Vid en krasch kommer materialet utsättas för förhållandevis stora krafter vilket innebär att det är ett område som bör undersökas närmare. För att göra undersökningen kommer kraschtesterna utföras som representerar de verkliga förhållanden som drönaren utsätts för. Kraschtesterna innebär att det är en verklig hastighet som ska efterliknas vid nedslag samt att massan på testet är verklighetstrogen. Tillvägagångssättet som används är att proverna släpps från en höjd som resulterar i korrekta förhållanden vid nedslag.

För att tester ska kunna utföras krävs beräkningar som ger tydliga direktiv till vilka förhållanden som måste uppnås. De tester som är relevanta under rådande förhållanden är uppskattningen av konceptens hållbarhet vid krascher. Ett sätt att kunna beräkna de höjder och tider som krävs för att en viss hastighet ska nås vid krasch i ett rakt fall visas i ekvation 4 - 6 [5]. Den sistnämnda ekvationen är endast en kombination och omskrivning av de två föregående ekvationerna.

$v =$ Hastighet, $t =$ Tid, $h =$ Höjd

$$v = 9.81 * t \quad (4)$$

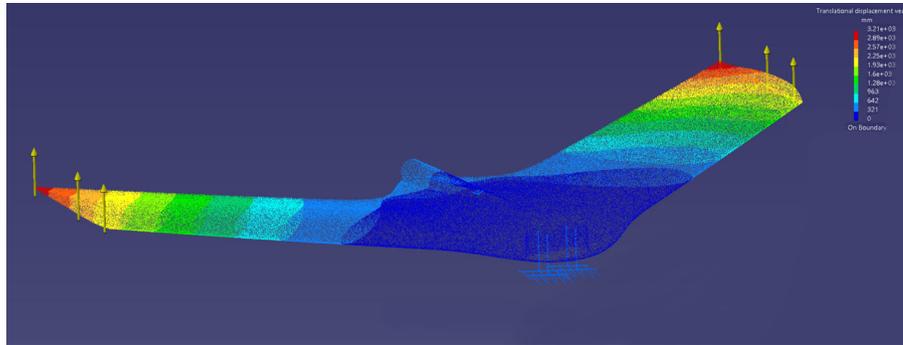
$$t = \sqrt{\frac{2h}{9.81}} \quad (5)$$

$$h = \frac{9.81}{2} * \left(\frac{v}{9.81}\right)^2 \quad (6)$$

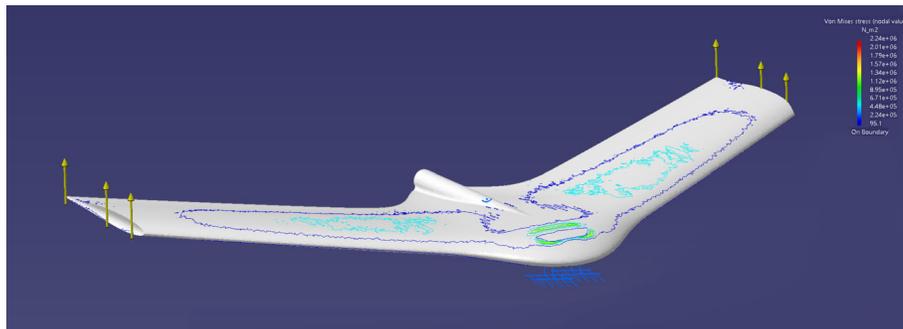
Ekvationerna kan enkelt och snabbt ge oss den höjd som ett kraschtest måste utföras ifrån för att ge den önskade hastigheten vid krasch.

2.2.4 Böjande moment till följd av inre komponenter

Under flygning ger vingarna upphov till lyftkraft som motverkar gravitationen samt får drönaren att stiga i höjd, kraften är som störst när drönaren startar sin flygning och stiger från marken. Lyftkraftens påverkan på drönarens vingar börjades ta i åtanke men efter ett tag kunde det snabbt inses att lyftkraften inte är en faktor som kommer vara dimensionerande. För att visualisera påverkan som krafterna har på drönaren så utfördes en FEM-analys på drönaren med hjälp av Catia V5. Visualiseringar kan ses i figur 4 och 5. Figur 5 visar resultatet av spänningarna som sker i materialet, alternativt figur 4 visar på de deformationer som sker i materialet. Analyserna är gjorda under sämre förhållanden som inte speglar verkligheten. Skillnaden mellan FEM- analyserna och verkligheten är att den totala lyftkraften är koncentrerad i vingspetsarna samt att drönaren "sitter fast" i kamerans utrymme. I verkligheten hade lyftkraften varit utspridd över vingarna och eftersom att drönaren inte är fäst i något så kommer dessa krafter inte bidra till något större böjande moment. Med det som underlag så fattas beslutet att den påverkan lyftkraften har på det böjande momentet i vingarna inte behöver dimensioneras efter.



Figur 4: Bild på deformations analysen som gjordes med hjälp av Catia V5. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 5: Bild som visar på stressen i materialet via Von Mises metoden. Författarnas egen bild, 2020.

2.3 Produktsemantik

Produktsemantik innebär att man med hjälp av form, färg och andra typer av markeringar kommunicerar hur en produkt ska användas. Även andra faktorer ingår i detta så som känslan av ytorna eller ljud som kommunicerar att produkten används på rätt sätt [6]. Det blir relevant att inkludera för att drönaren inte ska utsättas för användarfel vid till exempel montering av drönaren på launchpaden. Om det inte sköts korrekt kommer det leda till att drönaren riskerar att utsättas för felhantering och i värsta fall felmonteras så att avfyrning av drönaren misslyckas. I boken "Design i fokus" talar Kenneth Österlin om produktsemantik och hur man kommunicerar användningen av en produkt genom dessa verktyg. En strategi som han lyfter fram är att man håller utformningen och designen konsekvent mellan olika delar, för att beskriva funktioner men även för att hålla sig i enighet med det existerande varumärket. Strategin kan komma att leda till mindre förändringar hos avfyrningstornet yttre design så väl som drönarens yttre design.

2.4 Parrot Disco

Mycket av det tidigare arbete och visioner som SSRS har gjort baseras på en tidigare drönare vid namn Parrot Disco. Parrot Disco kommer att användas som inspiration på hur andra drönare är konstruerade och ligga som underlag för många idéer. Parrot Disco är en aerodynamisk, fastvings drönare byggd till det mesta av expanderbar polypropylen med mindre detaljer i plast[7].

3 Metod

Följande kapitel behandlar och förklarar de metoder som använts under studien. För att ge en tydligare förklaring till hur metoder används och på så sätt ge läsaren en bättre inblick och möjlighet att återkomma till kapitlet längre fram i rapporten för att fördjupa sig i förklaringar av använda metoder i studien.

3.1 Produktutvecklingens faser

Utvecklingen av en produkt genomgår flera faser, processen är iterativ och många av faserna genomförs flera gånger för att komma på nya lösningar, säkerställa och hitta nya vägar att uppfylla kraven på en produkt[8]. Följande faser genomförs vid produktutveckling.

3.1.1 Förstudie

Här genomförs en studie av vilka problem som finns runt den tänkta produkten. Förutsättningslöst tas det fram bakgrundsmaterial om marknad design och teknik. Det är viktigt att okritiskt undersöka alla möjliga tekniska lösningar och möjligheter för produkten, för att på så sätt kunna skapa ett brett spektrum att utveckla nya ideer. Målet med förstudien är att den skall mynna ut i en kravspecifikation, där funktionella och önskvärda krav skall beskriva vad produkten skall uträtta.

3.1.2 Konzeptutveckling

Utifrån framarbetad kravspecifikation i förstudien arbetas det fram ett antal olika koncept som alla löser kraven bättre eller mindre bra på olika sätt. Konzepten är en första ansats till lösningen av problemet. De framtas med hjälp av olika metoder som beskrivs i kapitlet. Ett bättre genomfört grundarbete i förstudien ger större underlag för att utveckla ett funktionsriktigt koncept.

3.1.3 Konzeptutvärdering

Samtliga lösningsalternativ som framtagits i konceptutveckling skall analyseras och värderas i förhållande till de krav och önskemål som formulerats i kravspecifikationen. Genom att sedan jämföra lösningsalternativen mot varandra och välja det alternativ som har bäst värde och kvalitet. På så sätt får man fram det koncept som har bäst egenskaper och prestanda.

3.1.4 Detaljkonstruktion

Med det bästa konceptet som utgångspunkt skall den nu vidareutvecklas till en fungerande produkt. Målet är att utveckla en produkt som kan framställas som exempelvis en prototyp, för analyser och tester[8].

3.2 Brainstorming

Är en kreativ metod för att utveckla ideer till koncept. Det är en väl utprovad och beskriven metod som används vid konceptframtagning. I grupp skall man åstadkomma så många ideer som möjligt på utsatt tid. Idékvantitet går före idékvalitet i denna metod. Deltagarna sporrar varandra att utveckla ny ideer, genom att koppla samman flera ideer, jämföra med varandra eller lösa delmoment av problemen med sina ideer.

Det finns 4 grundregler vid brainstorming: Kritik är inte tillåten, Kvalitet eftersträvas, Gå utanför det vanliga, Kombinerade ideer med varandra. (Johannesson, 2013)[8]

3.3 Kravspecifikation

En förstudie mynnar ut i en kravspecifikation, där man i första hand framlägger de funktionella kraven hos produkten. Metoden konkretiserar problembilden och beskriver hur produkten skall komma att uppfylla de målsättningar, krav, önskemål och eventuellt lagar som har satts på den. De målsättningar, krav och önskemål som sätts är det som uppdragsgivaren har önskat, de som framkommer vid förstudien, och vid funktionsanalysen. De krav som listas i kravspecifikationen skall fördelaktigt vara mätbara och sammanställs i ett dokument. Dokumentet jämförs sedan med koncept för att kunna utvärdera huruvida konceptet uppfyller de krav som sätts. Kraven bör vara mätbara för att även kunna utvärdera koncept gentemot varandra. De skall också vara listade och beskrivna på ett sådant sätt så att de möjliggör för flera olika lösningar på samma krav. För att hålla idégenereringen så öppen som möjligt[8]. En fullständig sammansättning av kraven kan ses i tabellen nedan.

Krav	Kvantifiering	K/Ö	Vikt	Verifiering
Design				
Beskriva vilken sida som är upp		Ö	5	Användarstudier
Beskriva installation i avfyrningshus		Ö	5	Användarstudier
Följa SSRS färgkod		K		
Hög synlighet		K		
Prestanda				
Minimera vikt	$\leq 1000g$	K		Beräkning
Tåla höga vindhastigheter	40 m/s	K		Beräkning/Tester
Tåla krascher	10 m/s, 50 J	Ö	5	Beräkning/Tester
Konstruktion				
Lämna utrymme för komponenter		K		Tester
Leda kablar till lampor		K		
Leda kablar till servo		K		
Leda kablar till laddning		K		
Leda kablar till motor		K		
Agera infästnings punkt för motor		K		
Agera infästningspunkt för batterier		K		
Agera infästningspunkt för kamera		K		
Fästa vingar		Ö	3	
Möjliggöra åtkomst till elektronik		Ö	4	
Förbereda infästning för winglets		K		
Klara av relevanta G-krafter	1.15 G	K		Tester/beräkning
Förstärkning för katapultmekanism		Ö	3	

3.4 Skissmodell

En enkel form av fysisk prototyp som konstrueras för att visualisera och symbolisera exempelvis färg, yt-egenskaper och form. Syftet med modellen är att uppleva funktioner hos produkten, kunna se produkten i olika vinklar och se hur användaren uppfattar modellen[8].

3.5 Observationsbaserade användarstudier

Observationsmetoder används för att studera handhavande och beteenden hos användaren. På så sätt kan man få en uppfattning om hur användaren använder en produkt och eventuella problem med handhavandet. Observation innebär att undersökaren studerar hur användaren använder en produkt. Med egna ögon iakttar undersökaren hur användaren agerar och interagerar med produkten. Det registreras genom videoövervakning eller med hjälp av skriftlig protokoll. Observationer i fält och kring användaren används ofta i början av utvecklingsprojekt för att hjälpa till att bygga problembilden. Men det kan även användas som observationer vid "lab". En iscensatt observation där man kan studera i detalj handhavandet av en produkt[9].

3.6 Intervjubaserade användarstudier

En intervju innebär att frågor ställs muntligt till intervjuperson och att denne svarar, svaren registreras för att sedan kunna analyseras. Intervju är en väldigt grundläggande metod för att studera användarna och deras beteenden, men kan vara varierande invecklade och svåra. Resultat av intervju beskriver ofta hur användaren upplever en situation, vilken uppfattning den har om en situation, hur den hade tänkt när en sådan situation uppstår. Intervjuer används ofta för att beskriva problembilden eller hjälpa till att skapa kravspecifikationer vid produktutveckling. Men även för att hjälpa till att beskriva hur användaren uppfattar en produkt, dess funktion och utformning [9].

3.7 Morfologisk matris

Morfologisk matris är ett sätt att kombinera olika lösningar på problem till en hel produkt som uppfyller dessa. Detta görs genom att sätta upp en matris mellan de olika problemen och de olika lösningarna som finns till dessa problem. Sedan kombineras lösningarna på olika slumpartade sätt och idégenerering sker med lösningarna på problemen för att leverera många olika lösningar på produkter som kan bidra till fler och intressanta lösningar. Morfologiska matriser bör användas i flera iterationer då det inte är garanterat att varje slumpad kombination kommer vara den bästa lösningen eller överhuvudtaget fungerande. Många av de lösningar som inte kommer fungera kan man snabbt välja bort då problemen kan vara väldigt uppenbara medan andra lösningar kan vara svåra att se direkt vilket leder till att de olika lösningarna man får bör undersökas innan man går vidare i processen.

3.8 Kesselrings matris

Är en metod som används under konceptval för att sälla koncepten och värdera dem gentemot varandra baserat på tidigare satta krav. Matrisen fungerar genom att anta ett ideal koncept som löser alla krav perfekt. Därefter viktas samtliga krav. Koncepten jämförs sedan mot varandra och får ett poäng (t) baserat på hur väl de uppfyller kravet. Detta poäng jämför sedan mot maxpoäng (tmax) som ideal konceptet baseras på. Efter att alla koncept har poängsatts ges dem en rangordning på vilket koncept som klarar av kraven bäst baserat på resultatet av poängen[8].

3.9 EcoAudit

EcoAudit är ett verktyg för att hitta och bestämma den miljöpåverkan som olika material och produkter har över hela sin livscykel. Analysen tar hänsyn till alla steg i produktens livscykel, från utvinnandet av råmaterial till transport, distribuering, användning och återvinning. Den analyserar påverkan av bland annat vattenanvändning, koldioxidavtryck och energianvändning[10].

4 Material

Kapitlet redogör för vilka material studien baseras på. Det ger en lätt förståelse kring vilka material som diskuteras och vad de har för egenskaper. Kapitlet lyfter även vikten av hållbarhet och hur de valda materialen påverkar hållbarheten.

4.1 Förekommande material

Expanderbar polypropylene (EPP) och Kolfiber (CFRP) är de material som används i studien för konstruktionen av drönaren. Materialen har tillhandahållits av en Bill of Materials lista (BOM) från SSRS. Utöver ovan nämnda material kommer det under studiens gång även att inkludera Balsaträd (*Ochroma spp.*) som en jämförelse med Kolfiber, Spinakertejp (Dacron SPI) och en Glasfiberamerad Polypropylene tejp. De två sista nämnda material används ofta vid modellflygning och är ett prisvärt enkelt sätt att binda samman strukturer och tillge en förstärkning. Det som kännetecknar ovan nämnda material är deras starka och lätta egenskaper.

4.1.1 EPP

Expanderbar polypropylen är en skumplast som består av mindre celler som expanderat under värme och tryck. Det är en "closed cell foam" vilket innebär att cellerna är pressat hårt tillsammans för att undvika att luft och fukt tränger in i materialet. Utformningen ger materialet en högre styvhet. EPP används ofta som stötabsorberande material och som förpackningsmaterial för elektriska komponenter. Materialet har dålig värmeledningsförmåga och bra energiabsorbering[10].

4.1.2 Kolfiber

Kolfiberförstärkta kompositer är bland det starkaste och styvaste material som finns, men det kommer till en högre kostnad. Kolfibrerna används tillsammans med polyester eller epoxy för att skydda fibrerna och binda samman strukturen. Fibrerna bär den mekaniska lasten medan epoxy/polyestern ger fibrerna skydd samt duktilitet och uthållighet för materialet. Kolfiberkompositer har flera tillverkningsmetoder. I studien används pultruderade kolfiberrör. De tillverkas genom att dra långa trådar med kolfiber genom en form samtidigt som de blir täckt av epoxy. När fibrerna kommer ur formen härdas epoxyn snabbt under värme. Metoden gör att rörens fibrer går längsled och får därmed hög styrka i längsled. Men förhållandevis dålig styrka i andra led. Det gör dem är svaga för exempelvis böjningar och för ihoppresningar. Vävda kolfiberrör har andra mekaniska styrkor. De tillverkas genom förimpregnerade med epoxy vävda fibrer placeras runt en kärna (rör) för att sedan härda under värme och tryck. Vävningen gör att fibrerna går 45grader i längsled eventuellt 90grader (beror på teknik) eller tillverkare. De mekaniska egenskaperna gör att de inte blir lika starka i längsled som pulltruderade. Men avsevärt starkare i alla andra riktningar. De blir större resistent mot frakturer böjningar och vridningar[10].

4.1.3 Dacrontejp

Dacron (terylene) är ett syntetiskt polyesterfiber gjort från olja. En hög brottgräns tillsammans med sträcktåliga fibrer i både vått och torrt gör Dacron till ett uthålligt och lätthanterligt material, då dacron även är resistent mot blekning, och andra basiska medel. Dacron används ofta som vävt framförallt inom båtbranschen då det används som segelduk i olika tjocklekar. Tack vare dacron uthållighet kan segeldukarna användas flitigt under flera år då dess egenskaper gör dem resistent mot de hårda vädret till sjöss. Dacrontejp som används på drönaren är ett tunnare skikt vävt Dacron i samband med klister[10].

4.1.4 Glasfiberarmerad PP tejp

Den mest förekommande glasfibern för armering är E-glass. Fibrerna är kiselbaserade och extruderas som tunna trådar för att kunna användas som armering. I detta fall går fibrerna i längsled med en transparent polypropylen tejp. Glasfibern gör att polypropylen kan bära tyngre laster och bättre förstärka strukturer[10].

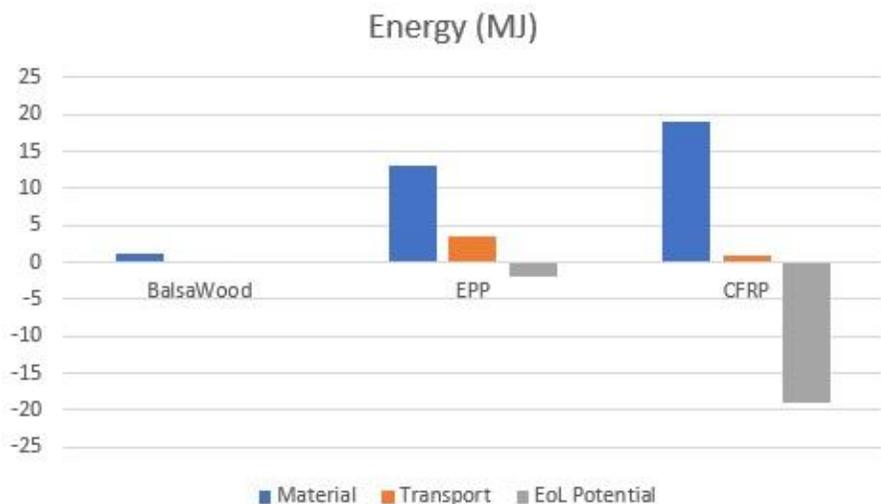
4.1.5 Balsaträd

Balsaträd (*Ochroma spp.*) kännetecknas med sina grövre fibrer och öppna porer som ger trädet sin lätta vikt. Densitet hos trädet är cirka en tredjedel jämfört med andra trädsorter 140 kg/m³. Materialet användes tidigare till konstruktion av flygplan och glidflygare. Användningsområdet är i dagsläget mestadels modellbyggnation och farkoster på vattnet på grund av trädets lätta vikt och bärighet[10].

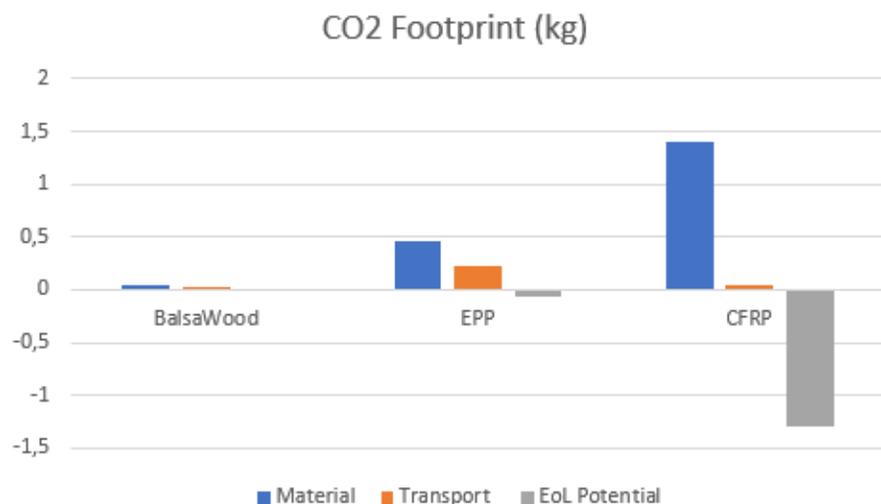
4.2 Hållbarhetsanalys

För kunna jämföra hållbarhet mellan länder och uppskatta påverkan som olika produkter har på hållbarheten så kan hållbarhet delas upp i tre olika typer. Enligt Ashby, Shercliff och Cebon [11] är typerna naturligt kapital, tillverkat kapital och mänskligt kapital. Drönaren rör i huvudsak två av dessa typer vilket är det mänskliga och naturliga kapitalet. I det naturliga kapitalet ingår punkter som ren atmosfär, jord kvalitet och koldioxidavtryck som produceras. Det mänskliga kapitalet innefattar punkter som hälsa, utbildning och glädje. Då drönaren är en produkt som måste tillverkas för att utföra sin uppgift som är spaning vid räddningsaktioner kommer den resultera i koldioxid avtryck samt förbättrad hälsa hos befolkningen. Det innebär att drönaren kommer ha både positiv påverkan och negativ påverkan på hållbarheten i Sverige.

För att försäkra att de material som används i drönaren inte kommer att ha en alltför stor påverkan på miljön så utfördes en EcoAudit med hjälp av CES Edupack. De material som valdes att inkluderas i hållbarhetsanalysen var EPP och kolfiber då dessa två är de material som definitivt kommer att vara en del av drönaren, även ett alternativ till kolfiber behandlas i form av balsaträd. För kolfiber samt EPP antogs att materialen transporteras från de producenter som är etablerade i Sverige. Balsa däremot antogs komma från platsen där träden växer vilket innebär Hawaii. Livslängden på drönaren angavs till fem år vilket är den uppskattade livslängden på drönaren som är given från SSRS. Det innebär att de siffror på energiåtgång samt koldioxidutsläpp är siffror som kommer vara spridda över fem år. Resultatet från EcoAuditen kan ses i figur 6 - 7.



Figur 6: Mängd energianvändning MegaJoule för material i olika stadier, för. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 7: Mängd koldioxid utsläpp i kilogram för olika material. Författarnas egen bild, 2020.

Vilket man ser från stapeldiagrammen så kommer inget av materialerna att bidra med stora utsläpp av koldioxid. Även om balsa är nära 30 gånger bättre än kolfiber ur ett CO2 perspektiv så är den totala mängden utsläpp små. Då balsatråd har en låg styrka jämfört med kolfiber kommer de lägre utsläppen inte att väga över den styrka som tappas. Det är extra viktigt då drönaren kommer användas i nödsituationer där människor kommer vara utsatta och i fara.

Mänskligt kapital kan vara svårt att mäta då det är många faktorer som spelar in i folks hälsa och glädje. Vid olyckor där människors liv är i fara är det av högsta prioritet att hjälpa de personer och om aktionen är lyckad kommer det bidra till både personers hälsa och glädje på ett väldigt direkt sätt. Då det naturliga kapitalet påverkas negativt förhållandevis lite, jämfört med hur mycket det mänskliga kapitalet förbättras så är det som tidigare nämnt inte värt att riskera funktionen hos drönaren för en relativt liten förändring i påverkan av utsläpp.

5 Genomförande

Följande kapitel förklarar processen från idegenerering till koncept. Kapitlet är uppdelat i två faser, första fasen avhandlar yttre design och användaranpassning. Andra fasen fokuserar på konstruktion och installation. I kapitlet beskrivs även tester av olika material och koncept och hur deras design påverkar beslut. Slutligen mynnar kapitlet ut i ett konceptval.

5.1 Fas 1

Fas 1 är processen för hur den yttre designen av drönaren kan förbättras, här undersöks användargränssnitt och interaktionen mellan drönaren och de som kommer i kontakt med den, för att kunna designa ett gränssnitt som minimerar felhantering. Genom kravspecifikation identifierades flertal olika krav som kommer ställas på den yttre designen för att underlätta förståelse för handhavandet av drönaren för den tänkta målgruppen hos SSRS. Målgruppen beskrivs som volontärer från samtliga samhällsklasser och åldersgrupper, den frivilliga sjöräddaren har ofta ett intresse för sjön och ett genuint intresse för att hjälpa andra[2]. Kravspecifikationen mynnade ut i fyra tydliga krav som måste uppfyllas för att förhindra felhantering. Följande krav används vid framtagandet av yttre design:

- Tydligt beskriva vilken sida som är upp.
- Tydligt beskriva installation i avfyrninghus.
- Följa SSRS färgkod.
- Hög synlighet.

5.1.1 Idegenerering Fas 1

Eftersom den yttre geometrin på drönaren är fast enligt tidigare exjobb[3] som behandlar strömning och aerodynamik kring kroppen finns det begränsningar med vilka ändringar som kan göras för att inte påverka luftflödet och flygförmågan på kroppen. Där det finns utrymme att påverka den yttre designen och användargränssnitt är inom färgkoder, mindre markeringar, texter och yt-egenskaper.

Idegenerering började med brainstorming för att få ut flera olika lösningar och ideer på hur man skall kunna uppfylla dessa ovan nämnda krav. I fyra omgångar genomfördes brainstorming. En omgång för varje krav som skall lösas. Genom flera iterationer brainstorming och sällning mynnade det ut i 6 olika koncept eller mindre lösningar på de kraven för en användaranpassad design. Följande koncept beskrivs nedan under Skissmodell.

5.1.2 Skissmodell

För att underlätta förmedlingen av de olika koncept som tagits fram för den yttre designen gjordes snabbt sex olika skissmodeller. Två av dessa var stativ och fyra var skissmodeller av drönaren. Samtliga skissmodeller är baserade på den form som drönaren givits under tidigare arbeten. De är gjorda av skivmaterial kapa som består av skummad kärna förstärkt med tunna skikt papp. Kapa modifieras och modelleras för att beskriva de olika skillnaderna mellan koncepten. Två av drönarna undsattes för att deras ändringar skulle vara anpassade för de stativ som också gjorts. De fyra modeller av drönaren som då finns kvar hade för avsikt att undersöka konceptets påverkan på huruvida drönaren skulle kunna felpaceras i stativen. Samtliga skissmodeller av drönaren förseddes även med extramaterial som skulle efterlikna kamera och motorrum.

Skissmodell 1 Modellen är färglagd med starka färger, mörkare nyans på undersidan än ovensidan för att efterlikna skugga när den skall flyga, se figur 8 och 9.

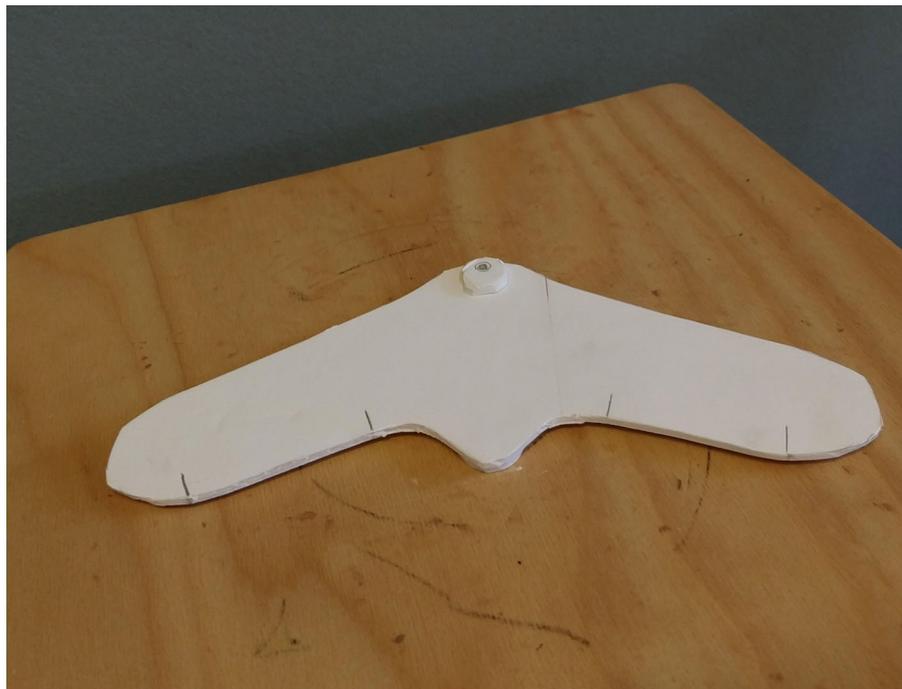


Figur 8: Undersidan av skissmodell 1. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 9: Ovensidan av skissmodell 1. Författarnas egen bild, 2020.

Skissmodell 2 Modellen har text skriven på ovansidan av kroppen för att tydligt visa på vilken sida som är upp när installation skall ske i stativet, se figur 10 och 11.

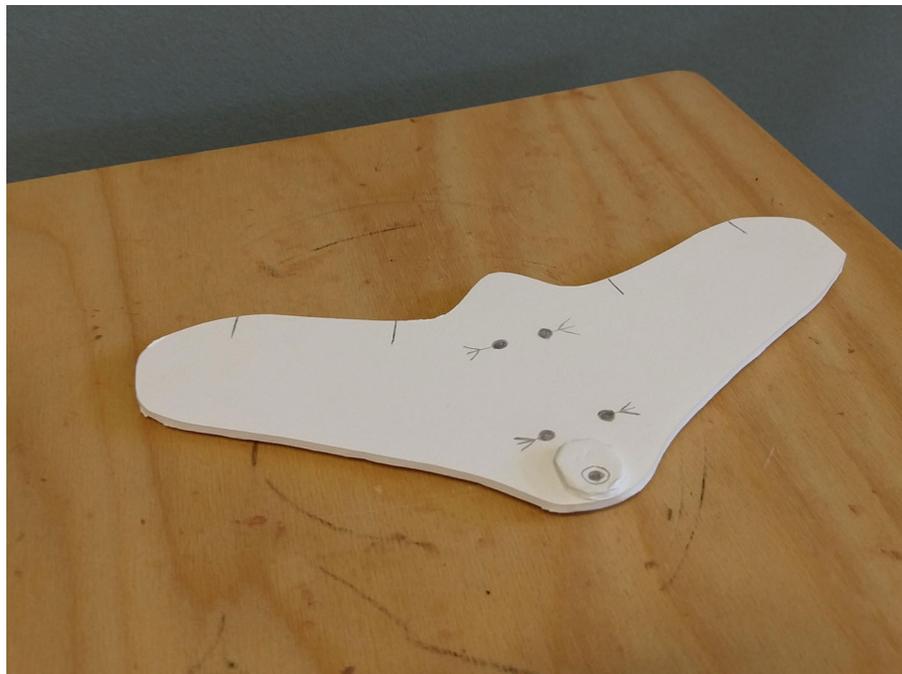


Figur 10: Undersidan av skissmodell 2. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 11: Ovansidan av skissmodell 2. Författarnas egen bild, 2020.

Skissmodell 3 Tanken bakom detta koncept var att efterlikna ett riktigt flygplan med fönster på ovansidan och hjul på undersidan, för att på så vis veta vilken sida som skall placeras upp i stativet, se figur 12 och 13.



Figur 12: Undersidan av skissmodell 3. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 13: Ovansidan av skissmodell 3. Författarnas egen bild, 2020.

Skissmodell 4 Modellen är baserad på drönarens faktiska kropp. Vingarna har givits en lutning för att efterlikna CAD-modellen av drönaren. Idén var att undersöka om vinkeln på vingarna undermedvetet förklarar vilken sida av drönaren som är ovansidan, se figur 14 och 15.

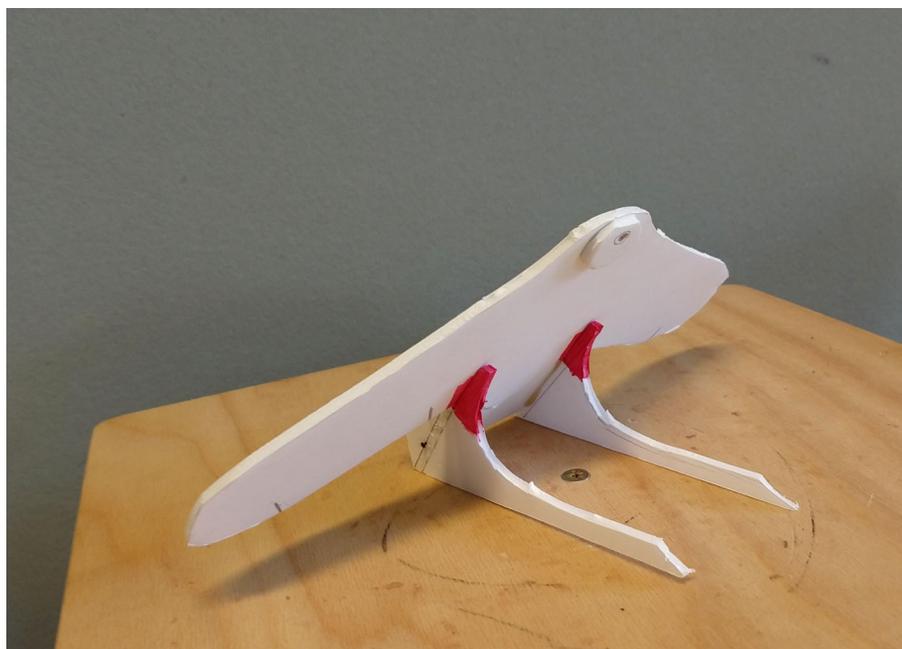


Figur 14: Undersidan av skissmodell 4. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 15: Ovansidan av skissmodell 4. Författarnas egen bild, 2020.

Skissmodell 5 Denna modell fokuserar mer på hur man skall undvika felinstallation i stativet. Modellen konstruerades med röda färgkoder på båda delar för att visa var den skall sätta in mot varandra, se figur 16 och 17.



Figur 16: Skissmodell 5 monterad i stativ. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 17: Skissmodell 5 icke monterad. Författarnas egen bild, 2020.

Skissmodell 6 Modell 6 går i samma tema som tidigare nämnd modell, vilket innebär fokus på installation i stativet. Modellen har en unik utskärning/inskränning i både stativ och drönare så att den inte skall kunna placeras fel, se figur 18 och 19.



Figur 18: Skissmodell 6 monterad i stativ. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 19: Skissmodell 6 icke monterad. Författarnas egen bild, 2020.

5.1.3 Intervjuer och observationer

För att ta reda på hur användaren hanterar situationen med en drönare och placering av drönaren i stativen genomfördes det interaktiva intervjuer i samband med observationer på hur de hanterar modellerna, deras kroppsspråk när de studerar modellerna och hur dem går tillväga.

9 personer med spridd bakgrund och spridd ålder på 16-56 år deltog i intervjuer. Observationer och intervjuer ger oss en statistisk representativ bild av målgruppen som kommer i kontakt med drönaren och beskriver därför väl hur målgruppen hanterar drönaren i verkliga situationer. Ett statistiskt representativt urval kan kort förklaras som "slumpmässigt rekryterade" [9]. Det gör att representationen av deltagarna blir mer lik verkligheten vilket ökar chanserna att förutse exempelvis ett valresultat.

Intervjuerna ägde rum enskilt och varje intervjuperson fick se de 6 olika skissmodellerna i tur och ordning, med den minst avslöjande designen först. I samband med varje skissmodell ställdes frågan "Vilken sida är upp?" samt varför de ansåg att den sidan var ovansidan av drönaren. Efter de fyra första modellerna visats presenterades skissmodell nr 5,6 i samband med tillhörande stativ. Intervjupersonen fick nu instruktionerna "sätt in drönaren i stativet". Processen observerades och antecknades i protokoll. När intervjupersonen kände sig färdig fick de följdfrågan "varför gjorde du så?". I bilaga 2 kan ses ett fullt utdrag från de intervjuer som utförts.

Övrigt att notera var den starka ljusa färg på modell nr 1 fick bra respons, intressant att notera var i intervju nr 4. Där personen ansåg att mörka sidan var för att urskilja mot klar himmel och ljusa sidan var till för att urskilja den mot ett mörkt hav.

5.1.4 Slutsats Fas 1

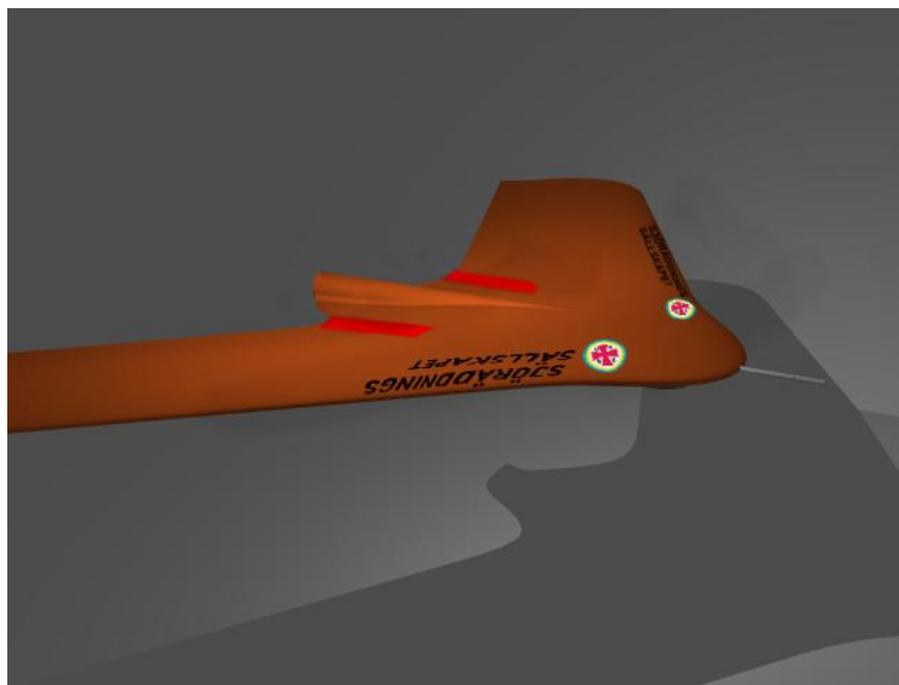
Resultaten från intervjuerna och observationerna visar att formen och placeringen av kameran är tillräckligt för att användaren skall förstå vilket sida som är upp. Kameran ger en beskrivning av att sitta på undersida då den skall filma marken nedanför. Flera av koncepten bidrar till en ökad förståelse för hantering av drönaren men beskrivs som onödigt att inkludera. Däremot behövs det tydligare förklaring i hur drönaren skall placeras i stativet. Där koncept nr 5 framförallt hade mer effekt hos testgruppen. För att ytterligare förtydliga så beslutas det att färgmarkeringar kommer att inkluderas för att beskriva hur drönaren ska placeras i stativet. För att beskriva vilken sida som ska vara uppåt på drönaren kommer det att rekommenderas starkt att banan som drönaren kommer glida längst med i avfyrningshuset efterliknar den lutning som vingarna på drönaren har. Detta leder sedan till att drönaren inte kommer att passa i stativet om den placeras med fel sida upp. I övrigt skall den yttre designen följa SSRS färgkod med tillhörande logo. SSRS färgkoder är starka och klara vilket sticker ut och är lätt att hitta och få syn på både vid flygning samt upphämtning från havet, färgen utstrålar och förknippas med säkerhet.

5.2 Koncept yttre design

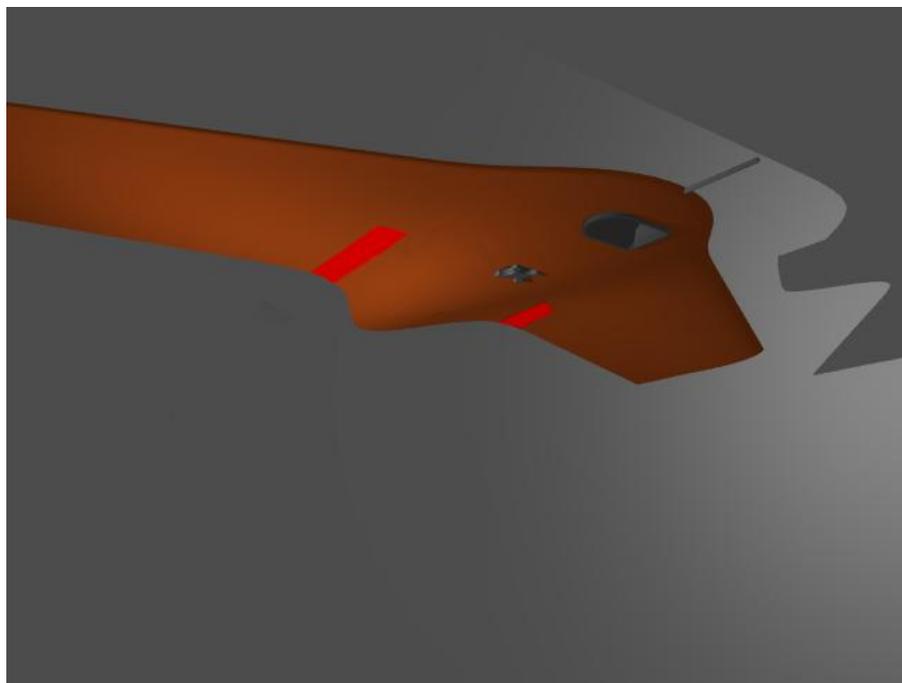
En sammanställning av drönaren med dess slutgiltiga ytdesign kan ses i figur 20 - 22.



Figur 20: Toppvy av drönaren som visar på en slutgiltig ytdesign. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 21: Drönarens ytdesign sedd snett ovanifrån. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 22: Drönarens ytdesigna sedd snett underifrån. Författarnas egen bild, 2020.

5.3 Fas 2

Fas 2 innefattar processen för utveckling av inre konstruktion och skydd av komponenter.

5.3.1 Idegenerering Fas 2

Idegenerering inleddes med brainstorming som baseras på kravspecifikationen, den delades upp i flera olika problemområden som behöver lösas. Dess problemområden listas upp som:

- Förstärkning av konstruktion inuti vingar.
- Förstärkning av konstruktion och stöd för inre komponenter inuti kropp.
- Kompatibilitet mellan EPP plast och konstruktion.

Ovanstående problemområden undergick brainstorming för att komma på flera olika lösningar på alla problemområden. Sistnämnda punkten hade mest fokus på att hitta smarta lösningar på hur man kan installera och montera en hållbar konstruktion inuti en redan gjuten vinge i EPP för att förenkla tillverkningsprocessen, då ett av de tydliga kraven från beställaren är att drönarvingen skall gjutas som ett parti. Lösningarna jämfördes mot varandra inom gruppen och sammanställdes som små skisser i en lista med tillhörande förklarande text.

Nästa steg i idegenereringsprocessen användes en enklare version av morfologisk matris. Samtliga dellösningar i listan genomgick en granskning för att validera deras genomförbarhet gentemot projektets mål och de uppsatta kraven. Därefter undersöktes om de

kunde användas som kombination med varandra likt en morfologiskt matris. Anledningen till att inte en fullständig morfologisk matris användes i denna process var på grund av att vissa av lösningarna i listan inte är kompatibla med varandra för att få ett fungerande koncept. Istället för att slumpmässigt kombinera lösningar med varandra i flera iterationer, valdes dellösningar och kombinationer med omsorg för att bygga upp kompletta koncept. Resultatet efter kombinationerna resulterade i tre olika koncept.

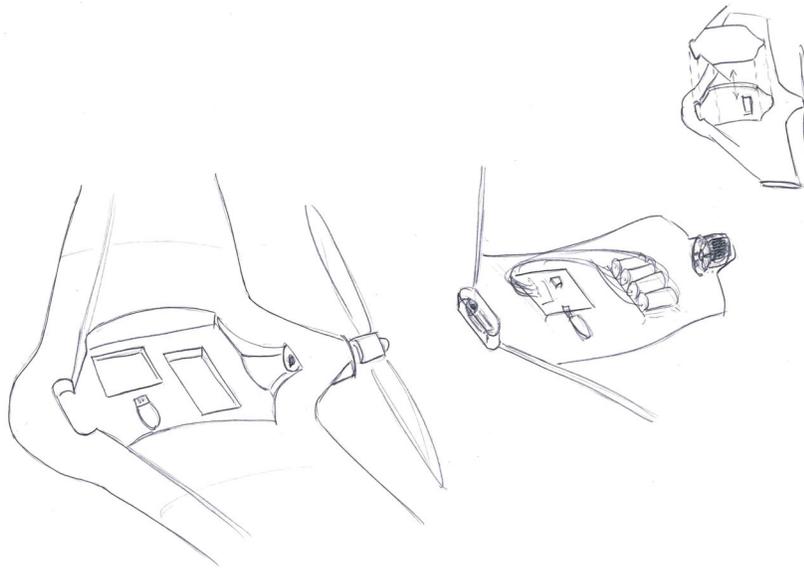
5.4 Koncept Fas 2

Nedan kommer koncepten som resulterade från idégenereringen i fas 2 presenteras.

5.4.1 Koncept 1 Locket

Idén bakom detta koncept är att till så stor grad som möjligt använda sig av drönarens kropp och vingmaterial för att skapa en stötabsorberande och säkrande struktur för ingående komponenter. Konceptet består av en fast platta i samma form som ytskiktet på drönaren. På denna platta monteras sedan all ingående elektronik och komponenter. I sin tur har EPP gjutningen av kroppen och vingarna gjorts med urgröpningar som passar de utbyggnationer som skapas när komponenter installeras på plattan, när plattan sedan läggs mot kroppen passar allt ihop utan utrymme mellan för en säker och stöttåligt förpackad drönare. Hela plattan installeras i ett moment, för att lätt kunna montera ingående delar. För att stärka vingarna har det monterats i plattan rör som sträcker sig ut längs hela vingens längd. Rören fungerar även som kanal för kabeldragning. Både kamera och infästning för motorstöd monteras på plattan. Tanken är att allt skall monteras fast på plattan, för att sedan montera fast plattan på kroppen med hjälp av motorinfästningen och andra stärkande komponenter som exempelvis lim/tejp. Konceptet bygger även på en urgröpning i vingarna för att kunna få ner kolfiberöret.

Konceptet försvårar ett bra gränssnitt mellan kropp och platta, för att skapa en tät och säker skarv för att undvika läckage. Urgröpning i vingarna kan även påverka luftflödet negativt. Skisserna som gjordes för detta koncept kan ses i figur. 23.

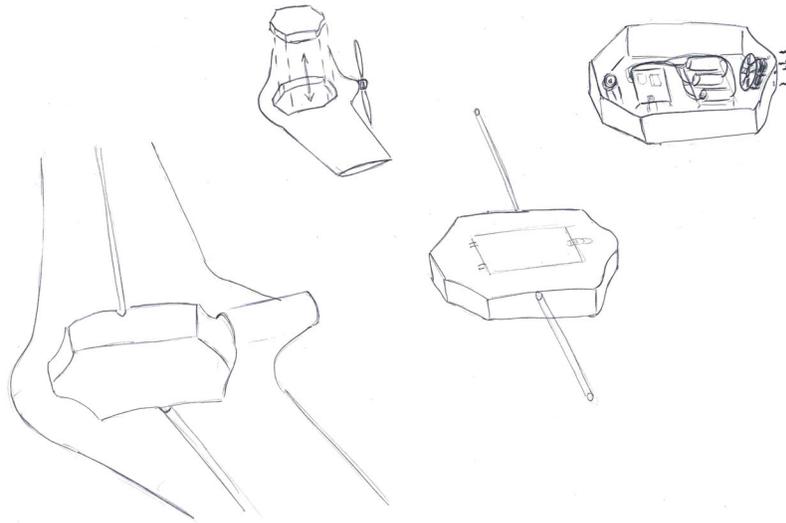


Figur 23: Skiss av koncept 1 Locket. Författarnas egen bild, 2020.

5.4.2 Koncept 2 Lådan

Till skillnad från koncept 1 placeras och förankras all elektronik och ingående komponenter i en separat konstruerad låda. Lådan är öppningsbar genom en lucka placerad på ovansidan för att tillge god åtkomst till elektronik. Lådan placeras därefter inuti en urgröpt sektion av drönarkroppen likt koncept 1. Även lådan har stärkande rör som sticker ut från konstruktionen för att stärka vingarna.

Konceptet ger ett bra gränssnitt mellan kroppen och konstruktionen eftersom det är enklare att försegla och isolera elektroniken mot yttre påfrestningar. Däremot skapar konceptet mer tomrum inuti drönaren vilket ger komponenter möjlighet att flytta på sig vid kraftiga accelerationer, konceptet blir inte heller lika platseffektivt. Se figur 24

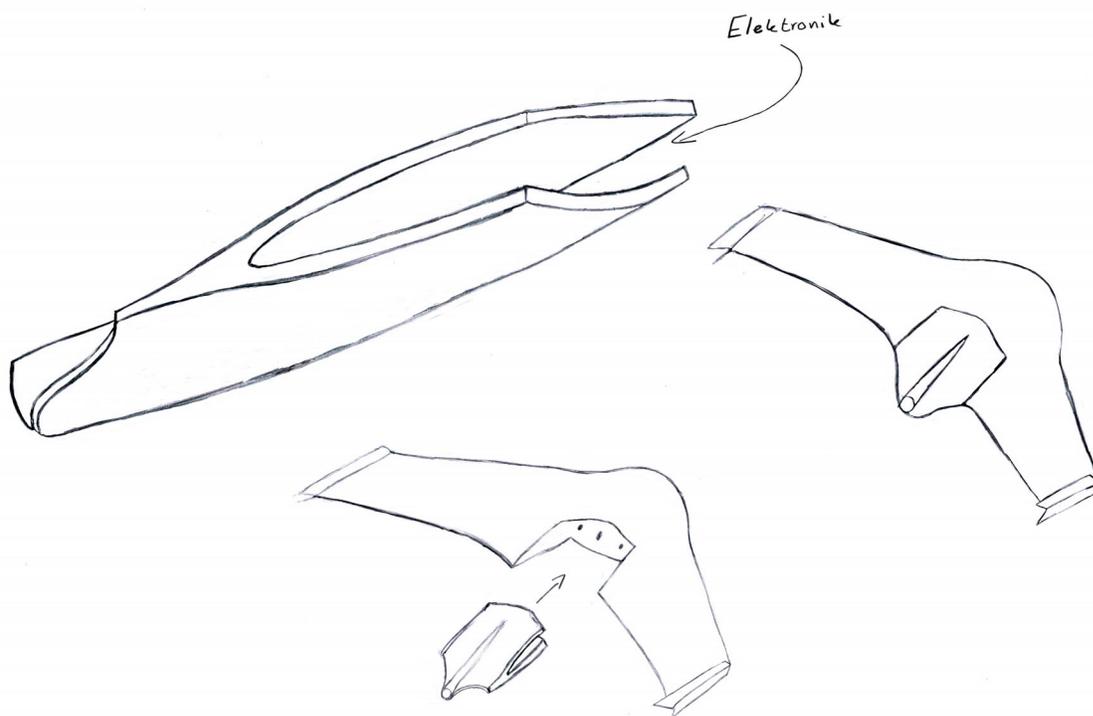


Figur 24: Skiss av koncept 2 Lådan. Författarnas egen bild, 2020.

5.4.3 Koncept 3 Klämman

Tanken bakom konceptet var att försöka placera ingående komponenter på ett annat sätt än föregående koncept. Då gjordes ett försök att skapa en ficka framtill eller baktill för att för in elektroniken på så sätt. Resultatet blev koncept 3. Där en separat del av kroppen har gjutits för att skapa ett tomrum inuti drönarkroppen. Den separata delen används som ett skal där komponenterna placeras inuti för att skydda och hålla ihop elektroniken. Fickan innehåller en stärkande konstruktion på insidan av kroppen för att stabilisera elektronik under start, landning, flygning. De monteras sedan ihop med resterande del av drönarkroppen för att skapa en hel förstärkt konstruktion.

Konceptet är väldigt platseffektivt och minimerar totalvikten av drönaren tack vare sin låga materialanvändning. Det mesta materialet som används är EPP som kroppen redan är byggd av. Däremot gör utformningen av konceptet att installering och montering försvåras. Det saknas även en stärkande konstruktion för vingarna, vilket är svårt att få på plats när fickan på konceptet monteras bakifrån. Åtkomst till elektroniken i service skulle vara svårt utan att demontera hela kroppen, en skiss av detta koncept kan ses i figur 25.



Figur 25: Skiss av koncept 3 Klämman. Författarnas egen bild, 2020.

5.5 Praktiska tester av material

För att kunna jämföra de olika typerna av koncept och förstärkning som är kandidater för ett slutgiltigt koncept utformades ett experiment som hade för avsikt att ge en bild över hur enkla modifieringar påverkade styrkan hos materialet. Testet har för avsikt att se till hur materialet klarar böjande moment genom att mäta deformationen hos materialet vid olika vikter.

Experimentet bestod av en skiva av EPP med 6 millimeters tjocklek som sedan belastas med hjälp av vatten längst ut på skivan, se 26. Detta test gjordes fyra gånger med olika stärkande material. Först var det ren EPP för att ge ett kontrollvärde, sedan testades EPP med Dacrontejp, efter det testades EPP med glasfiberförstärkt tejp och sist testades EPP med ett kolfiberrör som gick längst med skivan. Detta kolfiberrör är dock inte av samma typ som de rör SSRS har velat utnyttja. Dessa kolfiberrör är pulltruderade och har en mindre diameter medans de rör SSRS vill använda är vävda och större. Detta leder till att de kolfiberrör som har använts i testerna är svagare än de som kommer användas i drönaren (CesEdupack, 2020)



Figur 26: Bild av uppsättningen som användes för att utföra tester på de olika förstärkningarna tillsammans med EPP. Författarnas egen bild, 2020.

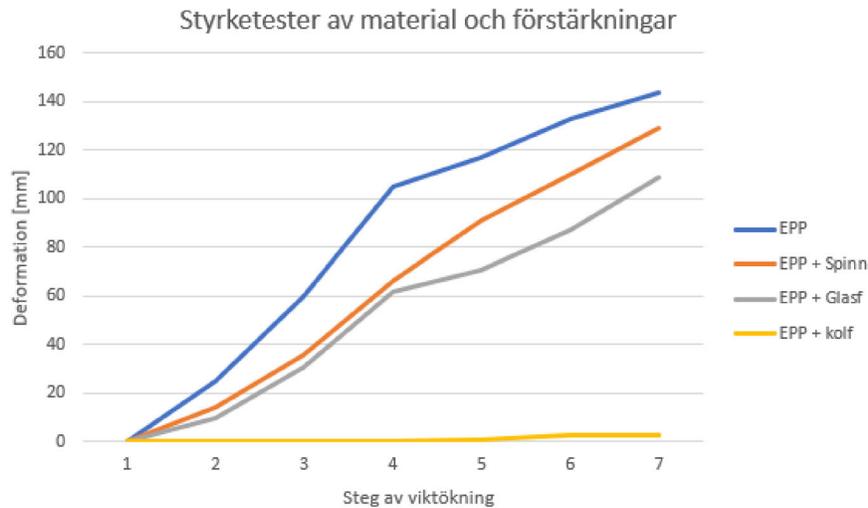
Under experimentets gång så gjordes först en kontroll utan någon vikt som påverkade materialet. Sedan fästes en behållare längst ut på skivan och deformationen uppmättes. Sedan började behållaren fyllas med vatten. Första instansen av vattenpåfyllning innebar att behållaren fylldes med 10 gram vatten och än en gång mättes deformationen upp. Efter att vatten hade fyllts på två gånger så gick mängden vatten som fylldes på per gång ner till 5 gram och detta hölls i tills 7 mätningar hade uppmätts. När det kom till de förstärkta testerna så ökades mängden vatten med mer per gång efter att kontrollens avklarade vikt passerats. För ett fullt utdrag av testerna se bilaga 3. Detta var systemet som användes för testerna fram tills att deformationen blev så stor att testet inte kunde fortskrida. Ett undantag till hur långt testerna gick var det test som utfördes med kolfiberrör, detta på grund av att kolfibern var stark nog för att kunna motstå en fylld behållare med vatten.

5.6 Resultat materialtester

Resultaten av materialtesterna blev som förväntat. Det starkaste materialet var kolfiber som sedan följdes av glasfiber tejp och sist Dacrontejp. Syftet var att undersöka huruvida förstärkningarna tillsammans med EPP kunde skapa styvare material. Kolfiberröret anses var bäst anpassat för att stärka konstruktionen invändigt. Övriga förstärkningar kan göras med både Dacron SPI och Glasfiber tejp som täckande material utanpå drönaren för att stärka och hålla samman konstruktionen. Även de bidrar till en styvare och starkare

produkt.

En sammanställning av deformationen som skedde med respektive förstärkning kan ses i figur 27.



Figur 27: Sammanställning av samtliga materialtester vid stegvis viktökning. Författarnas egen bild, 2020.

5.7 Krocktest

Ett känt kritiskt moment för drönare och andra flygkroppar är vid krascher. Det är väldigt plötsliga och snabba deaccelerationer på drönarens tyngre delar, framförallt batteriet som påverkas stort vid ett sånt moment. För att simulera en krock vid ca 15 m/s, vilket är den cirkulationshastighet som drönaren kommer ha vid olycksplatser, gjordes krocktester. Krocktesterna utfördes genom att släppa olika typer av konstruktioner från 10 meters höjd för att representera en krock vid ca 14 m/s. Denna hastighet bedöms vara tillräcklig efter att videor från testflygningar har undersökts. Testflygningarna visade att hastigheten som drönaren rör sig i vid en vanlig landning är lägre än 14 m/s. Inuti samtliga konstruktioner placerade en 415 grams kompakt vikt för att representera det batterier som drönaren skall innehålla. Konstruktionerna är skapade utifrån den typ av EPP som är tänkt att användas som material i drönaren. EPP i detta fall är 6mm tjock och ihoplimmat av limpistol. Skarvarna mellan EPP skivorna är förstärkt med glasfibertejp för att få extra starka skarvar. Syftet med testerna var att se vilket koncept som utmärker sig och att ta reda på hur en 6mm tjock EPP reagerar vid en krock innehållande en 415 grams vikt.

Vid krocktesterna fästes en styrlina på sidan av konstruktionerna för att mer noggrant kunna kontrollera vilken sida som slog ned i marken först.

5.7.1 Koncept 1 Krocktest

Tanken med koncept 1 är att skapa håligheter för varje enskild ingående komponent. På så sätt kan inte komponenterna flytta sig vid en krock och i processen förstöra varandra eller flygkroppen som omger dem. Detta koncept ger lite utrymme för vikterna att flytta

sig och mer material som omsluter komponenten för att absorbera stötar.

För att representera detta koncept i krocktestet gjordes en omslutande rektangulär låda, där vikten hade kontakt med den ytan som slog i marken först. På så sätt får vikten inte utrymme att åka runt inuti lådan vid ett nedslag. Flera krocktester gjordes från 10 meters höjd med olika sidor vid nedslaget. Ingen synlig påverkan observeras på varken material eller vikten inuti. Resultatet från krocktestet kan ses i figur 28.

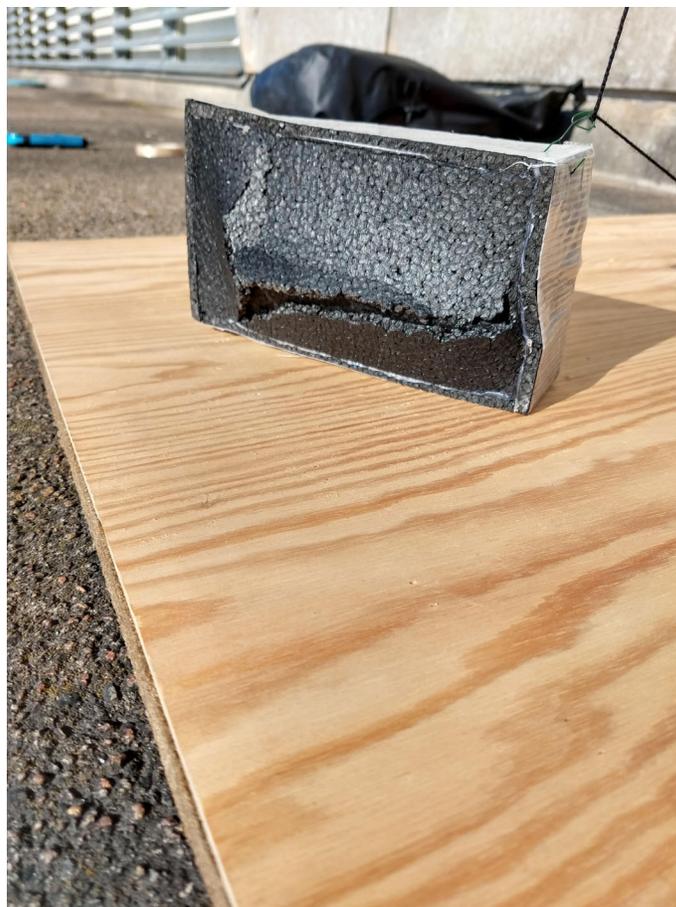


Figur 28: Resultatet för koncept 1 vid krocktestet. Författarnas egen bild, 2020.

5.7.2 Koncept 2 Krocktest

Koncept 2 liknar en låda innehållande alla komponenter som monteras inuti flygkroppen. På grund av dess utformning så ger det möjligheter för vikterna att flytta sig vid en krock.

För att representera koncept 2 vid en krock skapade en liknande låda som i koncept 1. Skillnaden var att göra en tunn vägg som håller vikten högst upp i lådan vid ett nedslag. På så sätt efterliknas krocktestet koncept 2 med ett utrymme att röra sig på vid ett nedslag. Redan vid första krocktestet märktes en stor skillnad. På grund av utrymmet som vikten kan röra sig inuti kroppen slog den igenom EPP väggen och förstörde konstruktionen vid redan vid första nedslaget. Vikten som ligger inuti lådan har nu möjligheten att generera stor rörelseenergi, utan att ha omslutande material som kan absorbera energin. Resultatet från krocktestet kan ses i figur 29.



Figur 29: Resultatet för koncept 2 vid krocktestet. Författarnas egen bild, 2020.

5.7.3 Koncept 3 Krocktest

Koncept 3 fungerar genom att två olika delar av flygkroppen monteras samman, med de ingående komponenterna placera mellan dessa. Kropparna skall sedan limmas ihop och på så sätt skapa utrymme för ingående delar mellan varandra.

För att efterlikna detta koncept skapades två olika rektangulära former som sattes samman med vikten inuti. Vikten var fast monterad mot botten av en delen. Syftet med detta krocktest var att som om en limmad skarv mellan två olika kroppar skulle var tillräckligt stark för en krock. Efter flera krocktester från 10 meters höjd med olika sidor vid nedslaget kunde ingen synlig påverkan observeras på varken material eller vikten inuti. Resultatet av krocktestet kan ses i figur 30.



Figur 30: Resultatet för koncept 3 vid krocktestet. Författarnas egen bild, 2020.

5.8 Slutsats krocktest

En 6mm EPP plast bedöms vara tillräckligt för att hantera en krock vid denna hastighet utan bestående defekter, men endast om vikten inuti placeras på ett sådant sätt så att det omkringliggande materialet kan absorbera rörelseenergin. Utifrån dessa tester rekommenderas att koncept 2 skall uteslutas.

5.9 Utvärdering Fas 2

För att utvärdera de tre koncepten som tagits fram så användes en kesselrings matris som byggdes upp av de krav från kravspecifikationen som bestämdes vara relevanta för denna fas. Vissa av kraven vävdes även in till en och samma för utvärderingen, hela utvärderingen kan ses i bilaga 4.

Utvärdering visade att de olika koncepten uppfyller kraven olika bra men visade ändå tydligt hur dessa rangordnas mot varandra. Det koncept som presterade sämst var koncept 2 följt av koncept 3. Det koncept som presterade bäst och till följd av detta är det koncept som vidareutvecklas är koncept 1.

Koncept utvärderas gentemot krav som fastställs i kravspec. Praktiska tester för hur mycket de olika material tål. Samt beräkningar vid dessa laster.

6 Modellering och Utformning

Kapitlet visar de ändringar och modifieringar som behövs göra på ett koncept för att realisera idén till en verklig prototyp.

6.1 Vidareutveckling av koncept

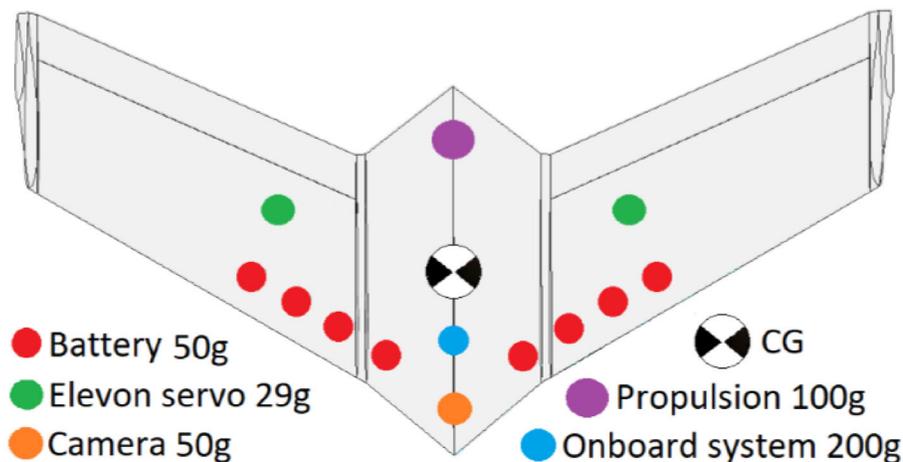
För att kunna realisera koncept 1 locket och anpassa till den redan existerande drönarformen behövdes ytterligare idegenerering och bättre studering av den befintliga aerodynamiska kroppen. Grundtanken baseras på konceptet med ett lock som bas där samtliga komponenter installeras. Nedan beskrivs nya iterationer och förändringar som fick göras på koncept för att kunna realisera idén.

6.1.1 Viktdistribuering

För att drönaren skall få en bra balans i luften och godkänd tyngdpunkt erhålls data från [3] om en tyngdpunkt som skall ligga 184-199 mm från nosen. Från BOM-listan erhålls följande komponenter som skall placeras inuti kroppen:

Komponent	Antal	Totalvikt
Batterier	8	368
Raspberry PI	1	9
Modem	1	28
Airspeed Sensor	1	2
Pilot Tub	1	3
GPS	1	10
Styrservo	2	26
Autopilot	1	5
Motor	1	44
Spin PRO	1	30
Altimeter	1	12

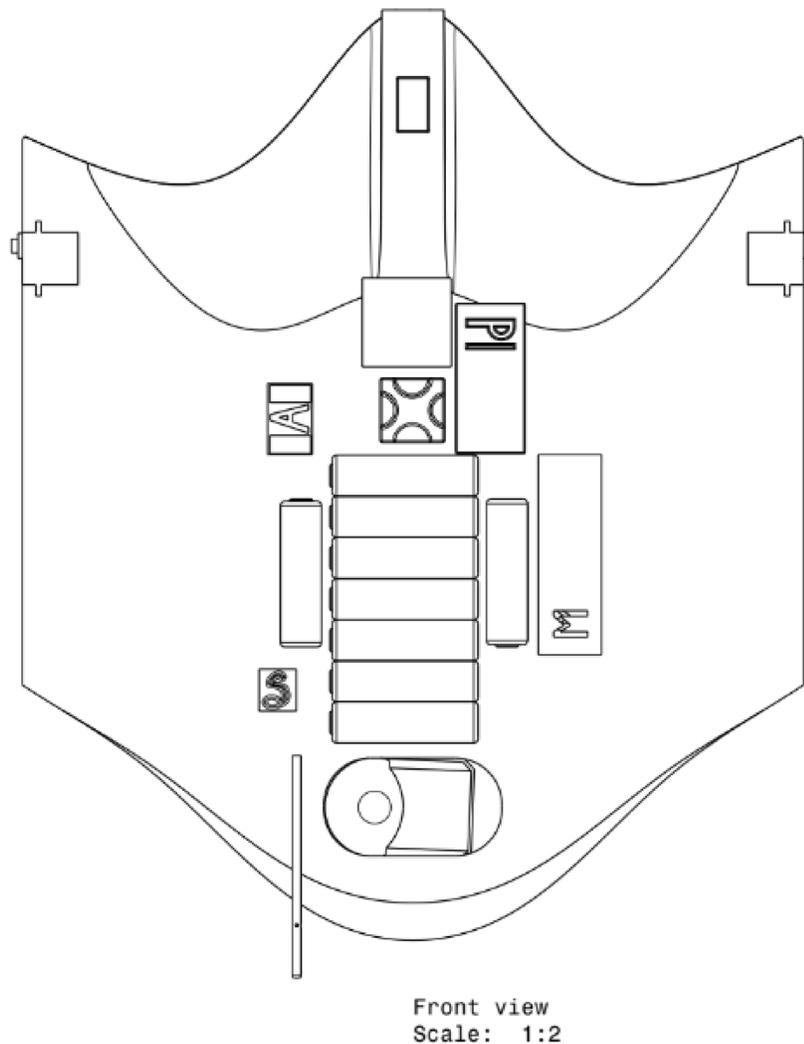
Från examensarbetet som levererade den aerodynamiska formen erhöles även ett förslag på hur vikten skall distribueras över vingen, se figur 31.



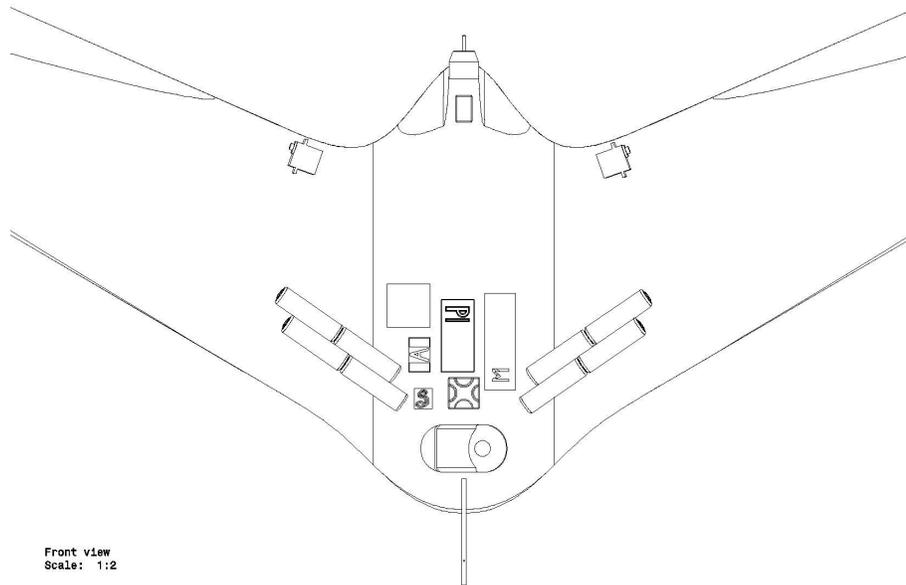
Figur 31: Förslaget som erhöles från tidigare examensarbete. Bild från Emil Petterssons opublicerade examensarbete vid KTH, 2019.

Samtliga ingående komponenter modellerades i CAD, Catia V5. Med hjälp av Catia ges därefter komponenter en massa, och således kan masscentrum beräknas. Processen visade sig vara utmanande och krävde flera iterationer för att förverkliga till ett koncept

som fungerar enligt ovanstående krav. Anledningen till att den krävde flera iterationer är på grund av drönarens aerodynamiska form och tunna genomskärning. Vid flera av de versioner som skapades över distribueringen av vikten var det för lite EPP material som täcker komponenterna, eller rent av komponenter som skär igenom övre delen av kroppen. Från krocktesterna har det fastställts att för ett fungerande koncept i EPP skall det omkringliggande materialet till de tyngre komponenterna ha minst 6mm EPP som absorberar kraften framåt vid ett nedslag. De resterande delarna som har en lättare vikt gavs en säkerhetsmarginal på 5mm EPP för att skyddas. I samtliga versioner gjordes försök att hålla de ömtåligare komponenterna bakom de tyngre. Olika typer av placering av elektroniken som testades kan ses i figur 32 och 33.

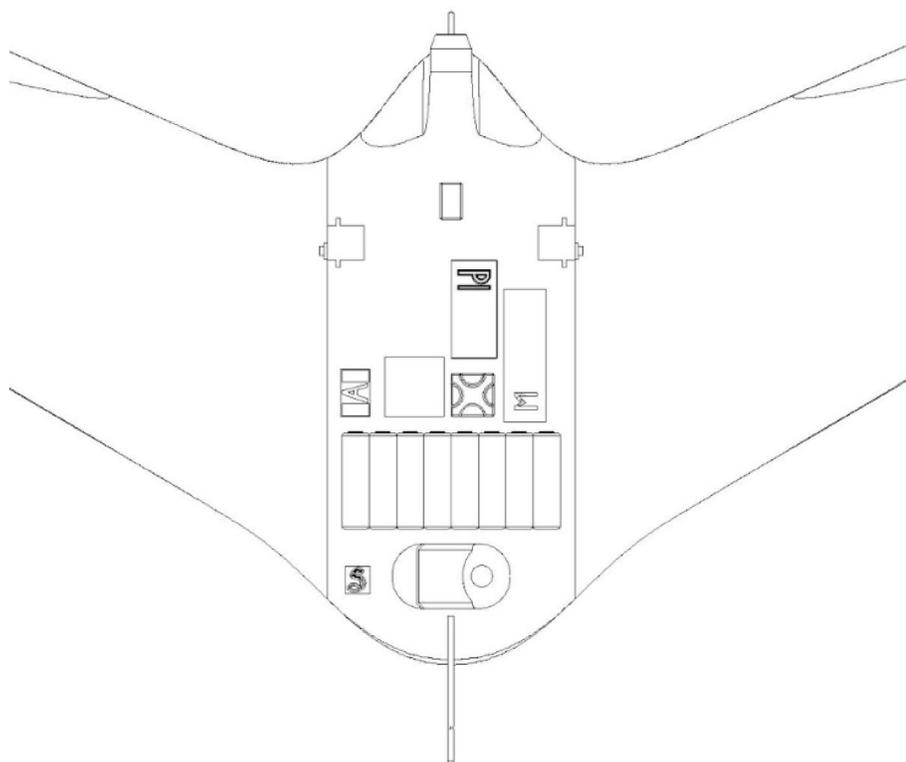


Figur 32: Det andra förslaget på layout av elektroniken. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 33: Det tredje förslaget på layout av elektronik. Författarnas egen bild, 2020.

Den slugiltiga versionen och distribuering kan ses nedan i figur 34. Denna version lyckas tyvärr inte att förhindra placeringen av komponenter framför batterierna. Därför gjordes en säkerhetsmarginal på 10mm med absorberande material framför batterierna. Resterande delar har 5mm mellan varandra som skydd. Distribueringen är godkänd på ett masscentrum 198mm från nosen. Flera försök gjorde även att ha motorn innanför EPP-skalet för att skydda elektroniken. Men den lilla radien på motorrummet försvårade detta och motorn lämnas utanför skalet längst bak på drönaren.



Figur 34: Den placering av elektronik som valdes för vidareutveckling. Författarnas egen bild, 2020.

Styrservos nuvarande placering bidrar till ett godkänt masscentrum. Däremot gör placering av dem att de sticker ur ovansidan av drönarkroppen. Ett förslag gjordes att placera styrservos längre fram. Problemet som uppstår då är att de behöver långa “pushrods” för att kunna styra vingfenorna. Beslutet av hur vingfenorna ska skapas och kontrolleras ligger utanför denna studien och överläts därför till en annan projektgrupp.

6.1.2 Bottenplatta

Originalidén med konceptet var att skapa en tunnare bottenplatta i annat material, förslagsvis kolfiber. Efter några iterationer och ytterliggare idégenereringar beslutades det att skapa en tjockare bottendel i EPP. Motiveringen för det valet är att kolfiberplattan inte absorberar stötar lika bra som EPP. Även infästningspunkter i kolfiberplattan skulle behöva modelleras och de ansågs vara för ömtåliga. Nuvarande koncept i EPP ger bättre absorbering av stötar och infästningar behöver inte modelleras på samma sätt. Däremot kan konceptet försvåra för infästning av exempelvis förstärkningar i vingarna och vid motor. Drönaren kommer inte längre bli lika rigid. Beslutet ger även en lättare totalvikt och en mer kostnadseffektiv kropp.

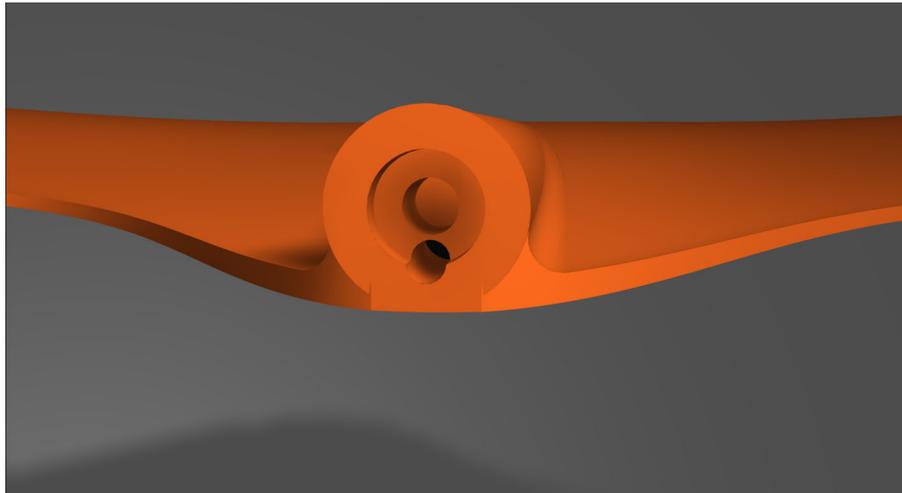
6.1.3 Stärkande konstruktion i vingar

Enligt BOM-lista från SSRS önskas en 8,8mm diameter vävt kolfiberör. Kolfiberören skall agera som stärkande konstruktion men även som kanaler för kabeldragning till vingspetsarna för lanternorna. På grund av placeringen av batterier förflyttades de stärkande rören inuti vingarna bakåt.

Med en tunnare mer rigid bottenplatta som orginaltanke bakom konceptet, skulle kolfiberrören monteras på bottenplattan för att sedan föras upp i vingarna. Efter ändringen sågs inte längre behovet av att göra urgröpningar i vingarna för detta. Istället beslutas det att gjuta hål som går längs med vingens profil, där rören sedan skjuts in. Tack vare ändringen kan kolfiberrören användas som mekanism för att låsa fast bottenplattan med överdelen. Alltsammans låses senare på plats med hjälp av ytterdelen av vingarna “winglets”. Ändringen bidrar även till att undvika ändra på den yttre aerodynamiska formen och ger ett bättre flöde runt vingarna.

6.1.4 Motorinfästning

Ovanstående ändring i bottenplattan leder även till att en förbättring behöver göras i hur motorn förankras i kroppen, samt kabeldragning till denna. Motorns infästning består av en M5 bult med tillhörande mutter. Bulten skall fästas i drönaren. Nuvarande lösning med den nya bottenplattan bidrar till att en krock uppstår med denna bult och kolfiberröret som används för kabeldragning. Det finns inte längre något sätt att fästa muttern efter att bottenplattan har monterats. Beslut togs efter några iterationer om att installera en helicoil med låsningsring inuti håligheten för motorbult. Kolfiberröret kortas av så att ingen krock sker mellan bult och rör. En rendering av denna lösning kan ses i figur 35.



Figur 35: Bild på hur motorns infästning är utformad, kolfiberröret kan ses inuti spären i drönarens kropp. I övre hålet installeras en helicoil för att förankra motorbulten. Författarnas egen bild, 2020.

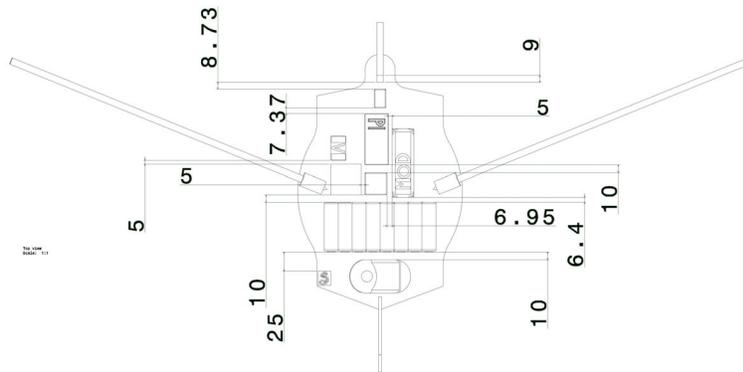
7 Slutkoncept

I detta kapitel kommer den slutliga lösningen beskrivas i sin helhet. Detta kommer även visa hur de olika lösningarna arbetar med och mot varandra.

7.1 Beskrivning av utformning

Den slutgiltiga versionen av drönarens konstruktion bygger på att skydda den inre elektroniken under olika typer av kritiska moment såsom krasch på land eller i vatten. Vikten av drönaren är också en aspekt som styr arbetet till stor del. För att minimera vikten så består både plattan för elektroniken och den övriga delen av drönarens kropp i ursprungliga materialet expanderad polypropen, EPP. Elektronikens platta är utformad efter drönarens aerodynamiska form och har på insidan urgröpningar som erbjuder plats för den elektronik som ska användas enligt den BOM-lista som tillhandahållits från SSRS. Urgröpningarna och tjockleken av plattan är dimensionerade så att alla delar av elektroniken ska ha minst 5 mm EPP mellan sig själv och utsidan av drönaren. Själva placeringen av elektroniken följer tanken om att minimera möjlig skada från inre komponenter till andra inre komponenter. Detta innebär att i största möjliga mån har de tyngre komponenterna placeras längre fram och fått större mängd EPP mellan dom och andra komponenter. I fallet av batterierna så har de 10 mm mellan sig själv och kameran som ligger i riskzonen för batterierna vid en krasch. En ritning med dessa mått utsatta kan ses i figur 36.

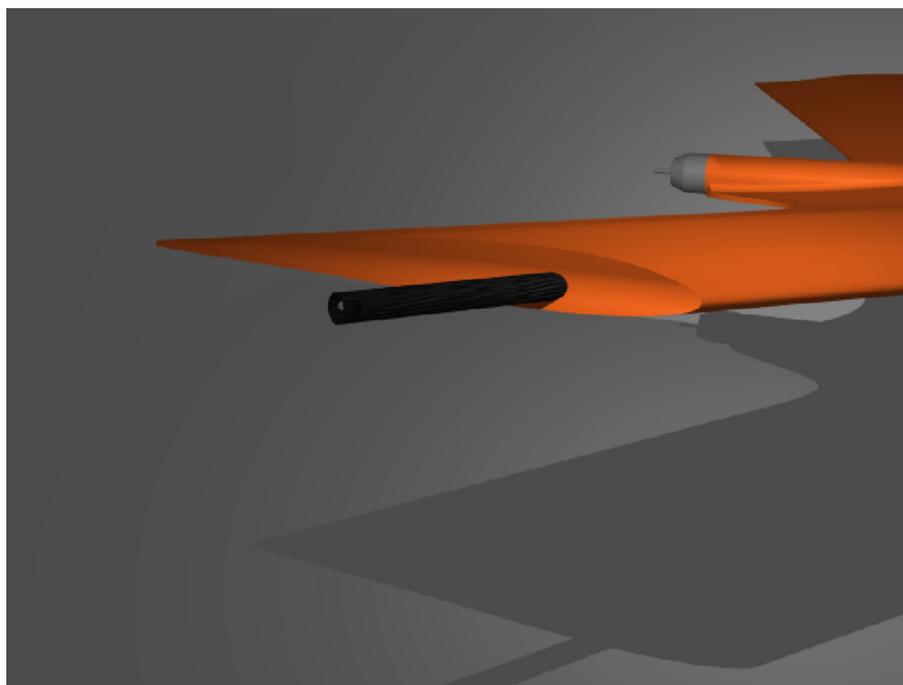
För att allt ska vara enkelt att implementera har även ordningen av hur komponenterna ska kopplas ihop iakttagits. Detta är dock inte exakt då inga tydliga instruktioner om hur detta ska ske har utdelats men en mock-up av elektroniken har varit till grund för dessa beslut. Denna mock-up kan ses i bilaga 1.



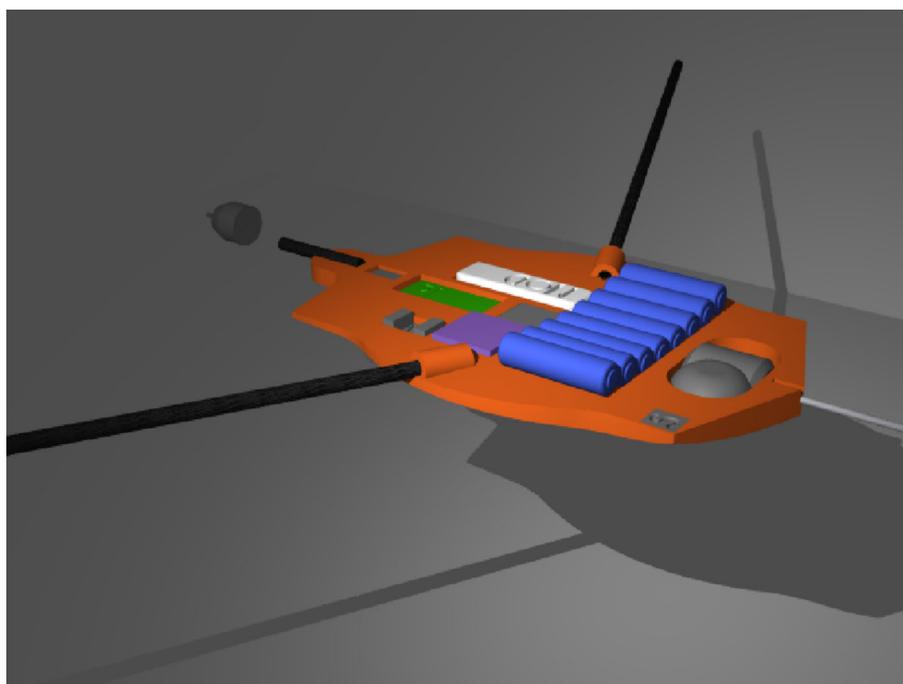
Figur 36: Placering av elektronik på bottendel av drönare. Författarnas egen bild, 2020.

De tre kolfiberrör som finns i drönaren delar alla syfte i att leda kablage till de komponenter som inte har direkt kontakt med övrig elektronik. Vilket är motorn samt de lampor som finns i vingarnas spets. Kolfiberrören fyller även en till funktion som är att kunna styra kraftflödet i kroppen till bottenplattan och på så sätt försäkra om att mängden spänningskoncentrationer minskar i drönarens kropp. För att kunna förverkliga det så finns det förhöjningar av EPP i drönarens bottenplatta som har som syfte att

möta de kolfiberrör som leder kablar ut till vingpetsarna. Kolfiberrören kommer monteras sist genom att skjutas in genom vingarna till bottenplattan. Vilket resulterar i att kolfiberrören agerar lås mellan överdelen och underdelen, vilket kan ses i figur 37 och 38. Slutligen kommer kolfiberrören att låsas på plats när drönarens "winglets" placeras på vingpetsarna. tanken är att dessa winglets kommer ha ett gem liknande metallstav som kommer gå igenom EPPn samt kolfiberrören, av denna anledning har kolfiberrören hål för metallstaven.



Figur 37: Kolfiberrörens placering genom vingarna. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 38: Kolfiberrörens placering in i underdelen. Författarnas egen bild 2020.

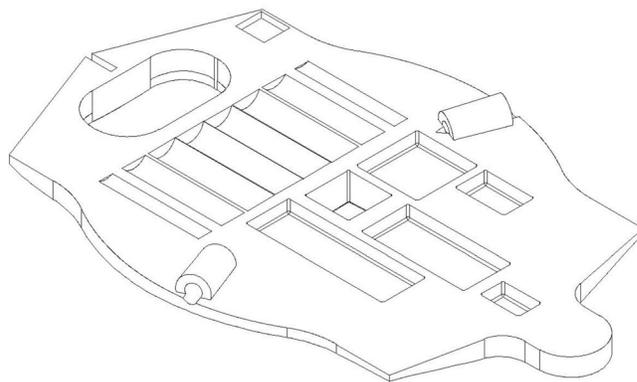
Den yttre designen av drönaren har utsatts av mindre förändringar än vad de inre konstruktionerna har. Som vid tidigare versioner kommer drönaren att följa SSRS färgtema med en tydlig och stark orange färg som bas för drönarens kropp. Färgen kommer att hjälpa drönaren att synas i vatten under kvällar när den ska återhämtas av de volontärer som arbetar med SSRS. På ovansidan av drönaren kommer SSRS logotyp samt text som lyder "Sjöräddnings sällskapet". Loggotypen har till syfte att kommunicera syftet och tillhörigheten av drönaren. För att förtydliga hur drönaren ska placeras i avfyrningstornet så finns det två röda streck vid propellern där drönarens ska ha kontakt med avfyrningstornet. Med det som avsikt så bör avfyrningstornet ha samma färg som strecken där avfyrningstornet ska ha kontakt med drönaren.

7.2 Tillverkning

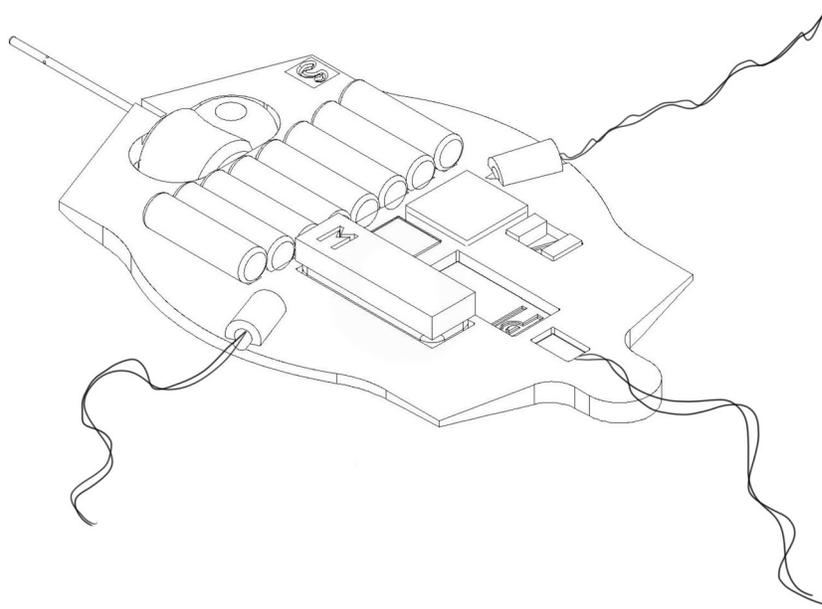
När drönaren ska tillverkas så kommer den bestå av två olika delar, ena delen kommer vara överdelen som inkluderar hela drönaren utom den del som kommer agera infästning för elektroniken. Förslagsvis kommer tillverkningen ske genom gjutning av drönaren då detta är en tillverkningsmetod som passar bra till EPP (Ashby, Shercliff Cebon, 2014).

7.3 Installation

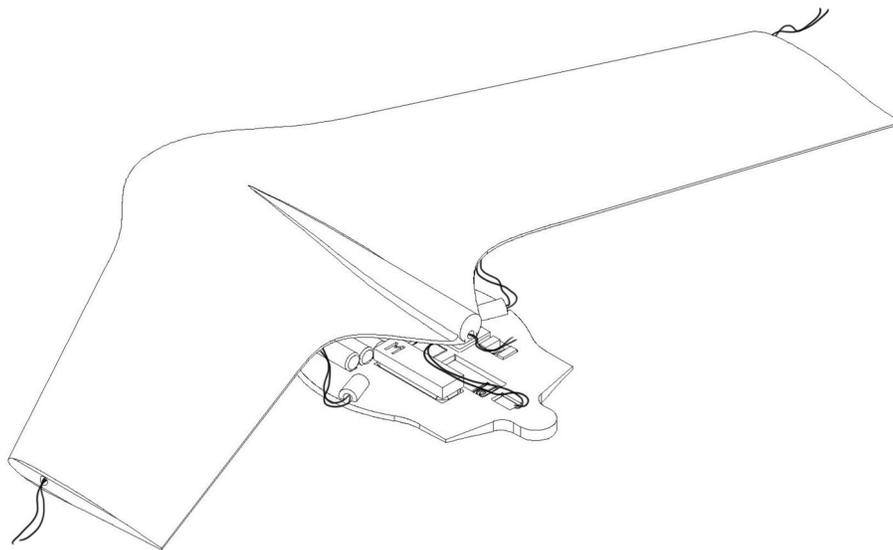
För att installera elektroniken och kolfiberrören bör en viss ordning följas. Ordningen bygger på att elektroniken först placeras på rätt plats i bottenplattan och sedan dras kablaget ut till vingpetsar och motor genom överdelen. Sedan förs underdelen och överdelen ihop medans kablarna fortsätter att dras igenom överdelen. Sist så låses de två delarna fast genom att föra in de två kolfiberrören som går igenom vingarna och placerar motorn på plats. Detta flöde är illustrerat stegvis i figur 39 - 43.



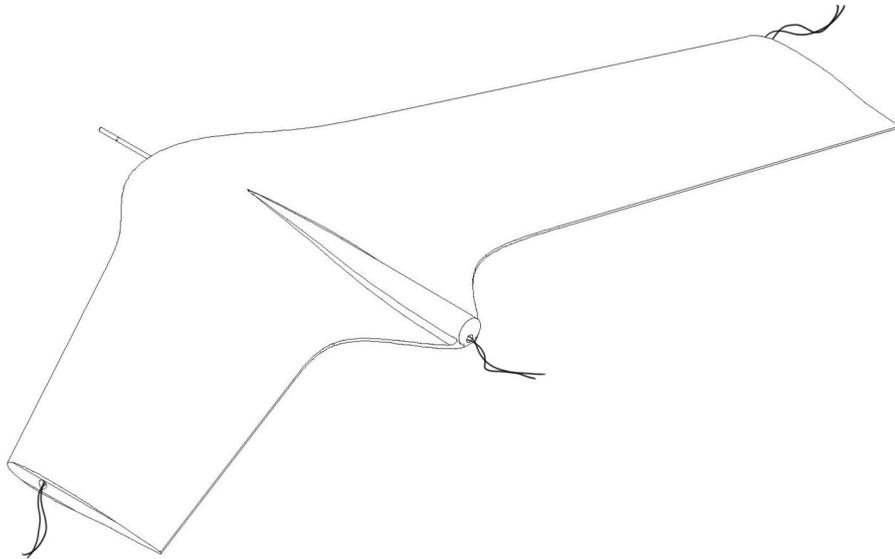
Figur 39: Bottenplatta utan elektronik. Författarnas egen bild, 2020.



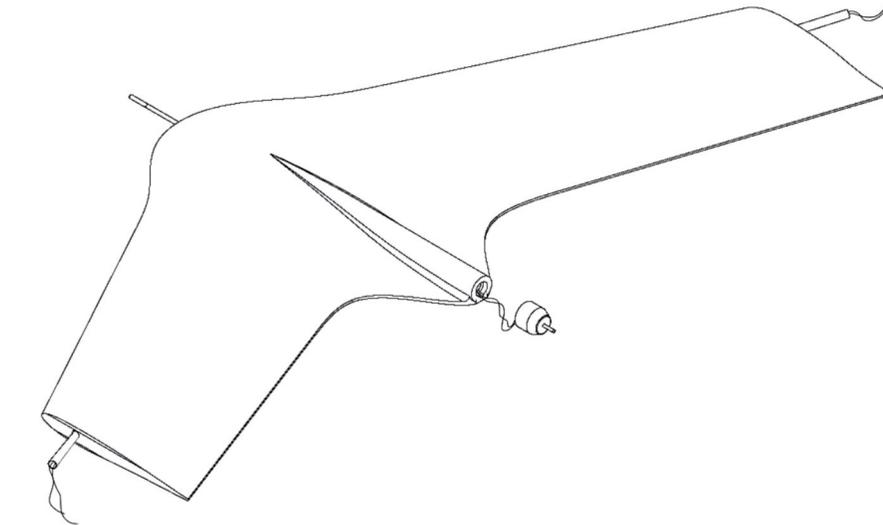
Figur 40: Bottenplatta med elektronik. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 41: Kablaget dras igenom överdelens håligheter. Författarnas bild, 2020.



Figur 42: Bottenplattan placeras i överdelen. Författarnas egen bild, 2020.



Figur 43: Kolfiberrör och motor placeras och låser delarna på plats. Författarnas egen bild, 2020.

7.4 Kravutvärdering

Här följer en utvärdering av hur väl produkten behandlar de utsatta krav som beskrivs i Metod kapitlet.

Ytdesign av produkten ska:

- *Beskriva vilken sida som är upp:* Genom en användaranpassad undersökning för

målgruppen har det fastställts att de tillhörande delar på utsidan av kroppen tillsammans med formen gör att produkten väl beskriver vilken sida som är upp.

- *Beskriva installation i avfyrningshus* : De röda färgkoderna på baksidan av drönaren uppmanar till att användaren skall installera den sidan i avfyrningshuset. För att det skall fungera korrekt rekommenderas det starkt att avfyrningshuset har en liknande design med färgkoder och former som beskriver att drönarprodukten passar in.
- *Följ SSRS färgkod, hög synlighet*: Slutgiltiga ytdesignen följer SSRS färgkod med tydliga starka färger med hög synlighet som sticker ut från den vanligtvid gråa bakgrund vi har på svenska kusten.

Konstruktion av produkten ska:

- *Minimera vikt* : Genom att använda sig av drönarens EPP som skyddande struktur har vikten kunnat hållas på en väldigt låg nivå. Undantaget är användningen av kolfiberör som förstärker vingarna och drar kablar till motorn. Det tillkommer även en liten vikt på helicoil som skall monteras där bak.
- *Tåla höga vindhastigheter* : Vid högre vindhastigheter kommer krafterna som vandrar genom vingarna öka. För att minimera denna påverkan och behålla drönaren som endast en solid del så ansluter kolfiberrören mellan de två delarna. Detta gör att kraften fördelas mellan båda delarna och på så sätt efterlikna den modell som testats i vindtunnel.
- *Tåla krascher* : Den uppskattade hastigheten vid en krock var 15 m/s, som utgår från drönarens cirkulationshastighet. Det gjordes krocktester av de olika konceptet. En korrekt inkapslad komponent klarar av krascher vid 15 m/s om den har en säkerhetstjocklek på EPP materialet på 5mm. Alla avstånd mellan komponenter inuti konceptet har en tjocklek på 5mm. Konceptet klarar väl av krascher på upp till 15 m/s.
- *Lämna utrymme för komponenter* : Genom flera olika beprövade koncept och layout av placering av komponenter är produkten nu välbalancerad och innefattar alla de komponenter som ansågs vara bestämda enligt BOM-listan.
- *Leda kablar till komponenter*: Det har förebretts ledning av kablage till lanternor i vingspetsar och motor. Det finns även utrymme till att göra kabelkanaler inuti strukturen.
- *Agera infästningspunkt till komponenter* : Valet att göra bottenplattan av EPP försvårar att fästa komponenterna i en rigid struktur. Däremot bidrar Just den utformingen till att allt kan packas lätt inuti drönaren. Genom att skapa fickor/hålrum för komponenter kommer de hållas på plats.
- *Möjliggöra åtkomst till elektronik* : Enligt SSRS ansågs åtkomst till elektronik inte som högsta prioritet. Arbetet har ändå försökt göra åtkomst till elektronik möjlig för ett potentiellt serviceunderhåll. Bottenplattan är löstagbar och elektronik åtkomlig,

men en demontering behöver göras på motorn och förstärkningarna i vingarna för att åstadkomma det.

- *Förbereda infästning för winglets* : Längst ut på kolfiberören i vingarna har det modellerats hål för att tillämpa någon typ av infästning för "Virveldämpare" längst ute på vingarna. Modellering kan lätt ändras beroende på hur utformning av "Virveldämparna" ser ut.
- *Klara av relevanta G-krafter* : Som nämnades i kapitel 2 så kommer G-krafterna aldrig att uppnå så höga nivåer att detta kommer påverka drönaren och dess material. Av denna anledning kan slutsatsen att detta krav uppfylls dras.
- *Förstärkning för katapultmekanism* : Genom kommunikation och samspel med andra studier som behandlar utformning av avfyrningshuset kan det bekräftas att de "klämmor" som håller fast drönaren i katapult mekaniskem är formade efter drönarens kropp. Därför ansågs det inte längre viktigt att göra ytterligare förstärkning på drönaren.

8 Diskussion

Kapitlet tar upp tankar och åsikter om resultat och studien i sin helhet.

8.1 Begränsande faktorer

- *Tunn modell:* Den största begränsningen som har påverkat utformningen av konstruktionen är att drönarens yttre kropp varit bestämd sedan innan och att utformningen av denna kropp inte har tagit hänsyn till det utrymme som elektroniken kräver. Även om delar av elektroniken hade kunnat passa in på andra olika områden av drönaren så hade materialet runt elektroniken inte varit tillräckligt för att skydda vid krascher och landningar. Då kablar ska dras mellan elektroniken har tagits i åtanke så finns det en risk att problem framstår vid senare steg i drönarens utveckling. Av den anledningen kan det vara väl värt att se över om tjockleken av drönaren kan ökas för att antingen ge plats till kablage eller möjliggöra en annan utformning av elektronikens placering. Med detta i åtanke hade det kunnat vara av intresse för SSRS att se över hur stor påverkan en sådan ändring hade haft på energi tillgången av drönaren.
- *Bristande kommunikation:* Under de inledande faserna av arbetet så var kommunikationen med SSRS relativt otydlig. Detta resulterade i att SSRS önskemål med projektet inte alltid framgick och detta ledde sedan till att när arbetets tillvägagångssätt skulle bestämmas framstod det en viss förvirring kring SSRS mål med arbetet. Hade detta skötts bättre, från båda sidor, så hade projektet kunnat påbörjas snabbare och på ett bättre sätt.
- *BOM-lista:* Under andra fasen av arbetet så baserades mycket av arbetet på informationen som tilldelats från BOM-listan som tillhandahålls av SSRS. Listan har dock inte varit helt utan problem då flertalet komponenter saknar information så som mått, antal, vikt eller form. Mycket kunde hittas genom att söka efter modellen men de saker som benämndes som "custom" i listan var svåra att bestämma då de saknade modeller eller liknande. Även batterierna har varit en källa till osäkerhet då information om antalet har varierat mellan olika källor. Antalet batterier har vid ett tillfälle sagts vara 6 stycken medans vid andra tillfällen sagts vara 9 stycken. För att vara på säkra sidan så följdes i detta fall BOM-listan och 8 batterier användes för utformningen av konstruktionen. De komponenter i BOM-listan som är obestämda och benämns som "TBD" har inte kunnats tas i åtanke och hade dessa varit bestämda så hade arbetet varit mer komplett än vad det är i dagsläget.
- *Begränsad erfarenhet inom flygteknik:* Då beräkningar av flygande objekt är relativt avancerat så har oerfarenheten inom detta område resulterat i att mycket informationsinsamling inom detta område behövt göras för att kunna formulera och kontrollera de krav som påverkar konstruktionen. Oerfarenheten inom aerodynamik och alla sammanhängande områden ledde till osäkerhet i de beräkningar som utfördes vilket påverkade hur arbetet sköttes.
- *Praktiskt tillvägagångssätt:* Arbetet följde till stor del ett praktiskt tillvägagångssätt vilket innebär att det baserades på experiment och tester mer än på beräkningar och simuleringar. Detta kan leda till att vissa felkällor framstår då tester i en viss miljö inte alltid speglar de verkliga situationerna som drönaren kommer utsättas för. Detta försöktes kontrast genom att utsätta testerna för så kallade "worst-case scenarios" vilket leder till att testerna kommer resultera i en överdimensionering av

drönaren. Som ett exempel på detta så utformades krocktestet efter denna filosofi. I de flesta fall kommer inte drönaren krascha rakt ner i sten utan kommer oftast glida ner på mark eller vatten.

8.2 Vidare utveckling

- *Utrymme för kablage:* I nuvarande prototyp har det inte skapats några håligheter eller fickor för det kablage som sammankopplar alla elektroniska komponenter. Det har däremot skapats tillräckligt med utrymme i EPP mellan komponenterna som förbereder för att skapa fickor och öppningar för kablagen. Hur mycket kablage som kommer att befinna sig i drönaren är i nuläget fortfarande otydligt, då alla ingående delar inte är bestämt ännu. Vilket leder oss till nästa punkt.
- *Elektroniska upplägget:* I början av processen och uppdragbeskrivningen ryktades det om en tanke att skapa ett bättre upplägg i hur elektroniken fungerar. Ett examensarbete som kommer koppla samman elektroniken och gör den mer kompakt. På grund av att detta inte ännu har blivit gjort kan designen och upplägget inuti drönaren komma att se annorlunda ut än den prototyp som har skapats i denna studie. Däremot skulle konceptet i denna studie fortfarande fungera med ett annat upplägg på elektroniken. Med små ändringar i hur fickorna och utrymme skapas inuti drönaren kan konceptet fortfarande realisera trots ändringar av ingående komponenter.
- *Kamerans utformning:* Likt ovanstående punkt finns även en tanke om att utveckla en "custom" kamera som är specialanpassad för drönarens uppdrag och syfte. I den här studien har det använts en annan kamera som är använd tidigare. (kan ses i Mock Up, bilaga). Det blir därför viktigt att se till att den "custom" kamera som utvecklas inte blir för stor och kan passa in i det utrymme som har förberetts. Utrymmet som har skapats i konceptet kan justeras för framtida ändringar av komponenter.
- *Winglets "Virveldämpare":* Längst ut på drönarens vingar sitter "Virveldämpare" som är till för att förbättra luftflödet runt vingpetsen. I studien har det förberetts ett monteringshål för virveldämpare längst ut på kolfiberförstärkningen i vingarna. Viktigt att tänka på är att utveckla denna virveldämpare och monteringshål så att de är kompatibla med varandra och kan låsa strukturen på plats. Virveldämparen skall även utrustas med lanternor där kablage och ränna har förberetts.
- *Styrfenor och Servo:* I nuläget finns det en planerad plats för styrservo som bidrar till ett bra masscentrum för drönaren. Trots det är placeringen av dem ännu inte bestämd. I kommande examensarbeten skall det konstrueras bakre styrfenor på drönarens vingar. Då styrfenor och styrservos hör tillsammans överläts beslutet till nästkommande studie om var de skall placeras. I denna studie erbjuds endast en rekommendation om placeringen.
- *Semantik och återkommande design:* I kapitlet teori beskrivs vikten av produktsemantik. Senare i studien under intervjuerna och observationerna kunde det noteras att för förståelse av hur drönaren skall hanteras och installeras på rätt sätt är det viktigt med återkommande design och hur produkten i helhet upplevs. Som kan

ses i skissmodell 5, 6, där det blir viktigt att stativ och drönaren har samma semantiska uttryck. Därför blir det viktigt att även i avfyrningstornet implementera den förslagna design som drönaren har. Forma tornet efter drönarens form och ge antydningar till hur det skall göras med färgkoder.

8.3 Påverkan på allmänheten

- *Etik:* Övervakningsdrönare har väckt många olika etiska frågor kring hur de ska hanteras, det kommer även innebära SSRS drönare. Frågorna handlar om att drönarna kan filma från luften och på så sätt inträder på personers privatliv. Även om drönaren som SSRS utvecklar kommer flyga från kusten ut till havs och passerar över förhållandevis få bostäder så bör dessa etiska frågor hållas i åtanke när drönaren implementeras.

9 Slutsats

Kapitlet tar och återkopplar resultatet till arbetets syfte samt erbjuder rekommendationer som SSRS bör följa i författarnas mening under den fortsatta utvecklingen av drönaren.

9.1 Projektets slutsats

Lösningen som detta projekt har resulterat i lyckas uppfylla samtliga av de syften som har präglat projektet. Utseendet av drönaren talar nu tydligt till hur den ska installeras i tornet och elektroniken är tillräckligt skyddad vid krascher och landningar. Även vikten som är en kritisk aspekt har hållts så låg som möjligt genom att extra material har undvikts i samtliga steg av utvecklingen.

9.2 Rekommendationer

För att kunna fortsätta med denna lösning men fortfarande göra det enklare att arbeta med så rekommenderas att SSRS undersöker hur stor påverkan en tjockare drönare hade påverkat energiåtgången. Genom att endast tillägga 5mm material på drönarens tjocklek hade detta förenklats placering av kablage och även erbjudit extra säkerhet mellan elektroniken och de förhållanden som drönaren kommer utsättas för.

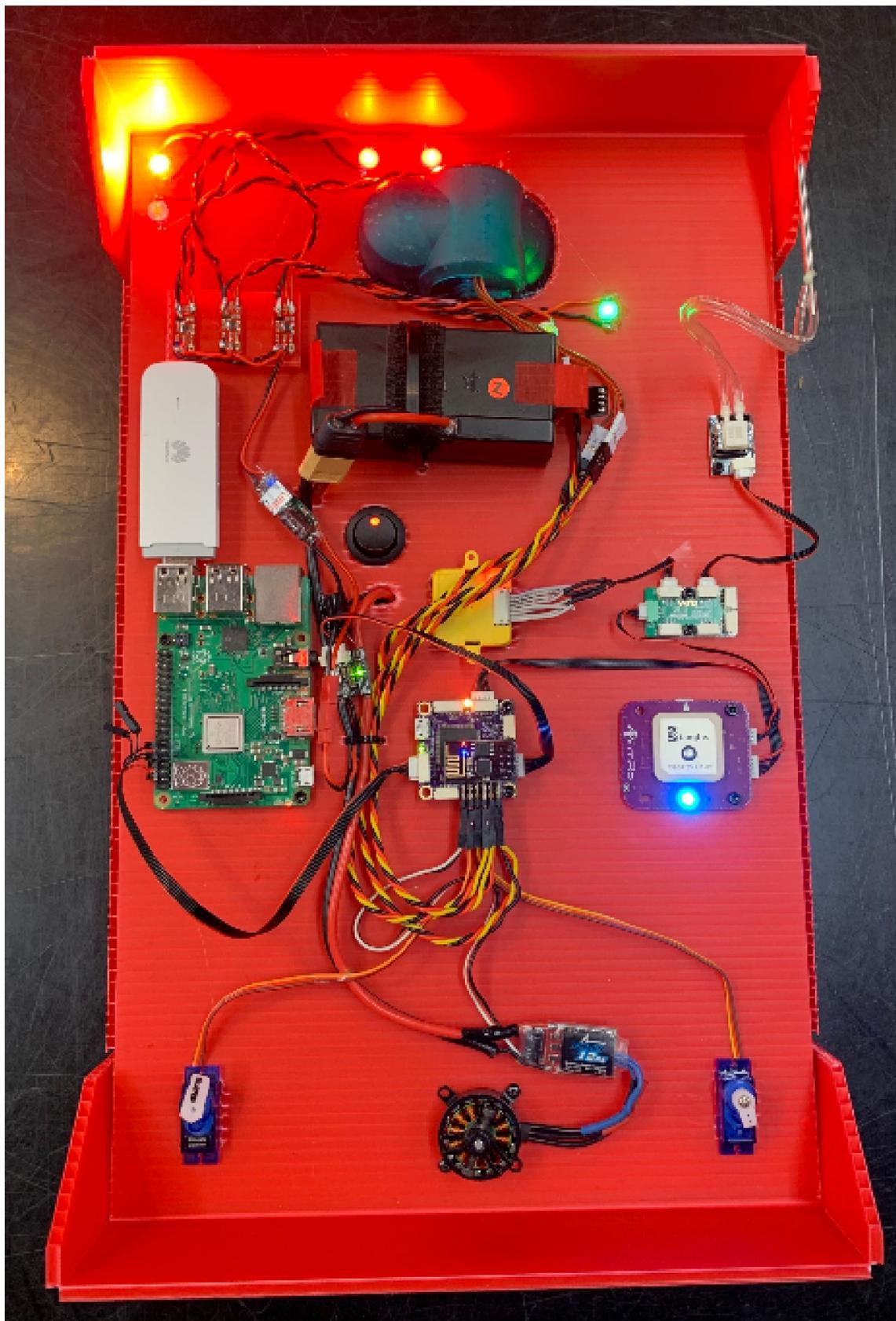
För att förtydliga hur drönaren ska installeras i avfyrningstornet bör klämmorna som håller drönaren färgas i samma färg som drönarens röda streck. Det kommer förtydliga att delarna ska passa ihop. SSRS bör också se över utformningen av banan som drönaren kommer glida längst med under avfyrning. Om skenan kan följa den undre formen på drönaren hade det hjälpt med att kommunicera vilken sida som ska vara upp då den är monterad i tornet.

References

- [1] Corrigan F. Terrific Benefits Of Drones In Rescue, Wildlife, Farming and Business;. Available from: <https://www.dronezon.com/drones-for-good/innovative-uses-for-drones-to-save-lives-time-money/>.
- [2] Sjöräddningssällskapets drönarprojekt;.
- [3] Pettersson E. Design of a drone system for maritime search and rescue missions. Kungliga Tekniska Högskolan. Sverige; 2019.
- [4] N/A. Hur man beräknar centrifugalkraft;. Available from: <http://sv.scienceaq.com/Physics/100506034.html>.
- [5] Lee H. Q A: Equations: The speed of a falling object;. Available from: <https://van.physics.illinois.edu/qa/listing.php?id=115&t=equations:-the-speed-of-a-falling-object>.
- [6] Österlin K. Design i fokus: varför ser saker ut som de gör? Liber; 2016.
- [7] N/A. Parrot Disco FPV;. Available from: <https://www.parrot.com/us/drones/parrot-disco-fpv>.
- [8] Johannesson H, Persson JG, Pettersson D. Produktutveckling. Sverige: Liber; 2013.
- [9] Rexfelt O. Kurskompendium; 2019. Canvas Intranet.
- [10] Design G. CES Edupack;. Available from: <https://grantadesign.com/language-home/education/ces-edupack/>.
- [11] Ashby M, Shercliff H, Cebon D. Materials: Engineering, science, processing and design. Elsevier Ltd; 2014.

Bilagor

Bilaga 1, Mock-Up av elektronik



Bilaga 2, Användarstudier

Drönare: Subjekt	Vilken sida upp?/ Vilken sida in?	Varför
1	Rätt	För att det ser ut som en magnet nedåt kan alternativt vara en kamera
2	Fel	Känns mer naturligt med den runda formen uppåt (men osäker för det ser ut som en kamera
3	Rätt	Fönster är en <u>vinkelgrej</u> ? Plupparna på undersidan ser ut som sensorer(Kopplade ingenting <u>til</u> hjul eller fönster)
4	Rätt	För att den ser likadan ut som första och det har jag sagt från början. Och pilen ser ut som en kompassfunktion.(motorrummet). Det är som ett roder. Men undersidan ser onekligen ut som en kamera.
5	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	Färgen gör att det <u>ser ut</u> som baksidan på planet. Satte den åt detta håll för att färgen matchade in där och för <u>at</u> formen passade in där. Pga det är som ett pussel, det tilltalade mig.
6	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	Det ser ut som en kamera, den måste vara nedåt. <u>ingröppningar</u> gör att den passar in åt detta hållet. man kan inte sätta den på något annat sätt. Den är centrerad, som ett pussel

Drönare: Subjekt	Vilken sida upp?/ Vilken sida in?	Varför
1	Fel	Motorrum balanserar som ger tyngdpunkt vilket skapar bättre balans, Mörka färgen är bara slarvigt, Ljusa färgen är uppåt, mörkare mot himlen.
2	Rätt håll	Kamera är nedåt och pekar mot marken, den är vinklad och balansen blir bättre åt detta håll. <u>Glidmässigt</u> glider den nog <u>bätte</u> åt detta håll.
3	Fel	Propellrar uppåt(hjulen) <u>Balans kropp</u> nedår(motorrum)
4	Rätt sida uppåt	För att det står det, rent <u>flygmässigt</u> får jag känslan <u>attt motorrummet</u> ger bättre balans. Om detta är en kamera så är den nedåt
5	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	Formen på kroppen gör att man vill passa in den. Kameran är nedåt såklart (Röda färgen ger inget resultat)
6	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	Kameran är nedåt såklart, <u>ja ofår</u> lite på tt det är en kamera. Den passar bra ihop, den kan inte komma nånvart, den har stöd åt två axlar vilket är bra, man kan <u>itne</u> sätta den på nåt annat sätt. Man kan inte sätta på nåt annat sätt. då blir den sned, inte symmetrisk. Balansen blir fel.

Drönare: Subjekt	Vilken sida upp?/ Vilken sida in?	Varför
1	Rätt	<u>Motorummet</u> ser ut som en fena. Det ger tradition mot flygplan. Liknar verkligheten. (ser ut som man kann monter nåt här framme på knappen.
2	Rätt sida	<u>Vingparet</u> ger mer aerodynamiskt. flyter på bättre i luften, med fenan där uppe och <u>kameraenhet</u> där nere.
3	Fönster upp	Kännare här framme på ovensidan med solceller eller nåt annat.
4	Rätt sida uppåt	För att det står det. Fenan där bak och kameraenhet där nere.
5	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	Färgmarkering säger att den <u>skll</u> sitta <u>såhär</u> , plus att formen visar det. För mig är det logiskt att denna sidan är upp, hur enkelt som helst. Enklare att se med <u>färgmarkeingarna</u> än med den andra.
6	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	Passar som en smäcka här i hålen. Det går att sätta den uppåner men inte för mig, självklart att den ska vara åt detta hållet

Drönare: Subjekt	Vilken sida upp?/ Vilken sida in?	Varför
1	Ljus sida upp	För att kameran pekar nedåt så man ska kolla ned på marken. Antenn där på ovansidan. La inte märke till färgen
2	Rätt sida	Det brukar vara så att vingarn går uppåt. På flygplan, men också för <u>at</u> kameran pekar <u>nedåt</u>
3	Rätt sida	<u>Landningshjul</u> och fönster visar, man kan inte sitta <u>uppner</u> och man ska landa med hjulen ner.
4	Rätt sida uppåt	För att det står det, tror fortfarande att det är en kamer som skall kolla nedåt.
5	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	SKjuts upp så att den <u>hamnar</u> neråt, kameran visar att denna sidan skall vara nedåt. Färgmarkering visar hur den skall sitta och <u>urskningen</u> passar denna formen åt rätt <u>håll</u> , vingarn pekar åt fel håll annars, och det är en pil här som visar framåt(<u>motorummet</u>)
6	Rätt sida upp. Rätt håll i stativet	<u>Urskärningarna</u> som var var den skall sitta, den hamnar åt rätt håll <u>såhär</u> när den skjuts iväg

Drönare: Subjekt	Vilken sida upp/Vilken drönare var?	Varför?
1	Rätt	Ser ut som att kameran sitter nere
2	Rätt	Vingarna bör peka uppåt
3	Rätt	Ser ut som ett kontor eller cockpit
4	Rätt	Står ju på den
5	Rätt	Rött mot rött
6	Rätt	"Det fanns håll". De är formade i rumpan

Drönare: Subjekt	Svar	Varför
1	Rätt	Gissar att kameran är en kamera
2	Rätt	Den ser snabbare ut så
3	Rätt	Det händer mer uppe. cockpiten antas vara reglage eller mätare för bränsle kvar
4	Rätt	Står ju på den
5	Fel	Kändes naturligt. Röda placerades i den ställning anpassad för skårade drönaren. Denna placerades även uppochner. Glappet som uppstår upplevdes inte som ett problem.
6	Rätt	När båda ställningarna erbjöds så blev det uppenbart hur de skulle placeras.

Drönare: Subjekt	Svar	Varför
1	Rätt	kameran sågs som en tyngs så denna skulle vara ner.
2	Rätt	Ser ut som att den hänger bättre i luften så.
3	Rätt	Ser ut som att det är fönster uppåt.
4	Rätt	Det står på den + placeringen av kamera och motorrum.
5	Rätt	Målat = pedagogiskt
6	Rätt	Det passar in så bra.

Drönare: Subjekt	Svar	Varför
1	Rätt	Det ser ut som en kamera vilket bör vara på undersidan.
2	Rätt	Kameran ner + att det känns mer naturligt med den lutningen.
3	Rätt	Detta var en gissning. Valde samma som tidigare på grund av att kameran och motorrummet fanns kvar.
4	Rätt	Det står på den.
5	Rätt	Färgerna är pedagogiska
6	Rätt	Det urgröpta passade in i <u>slittsen</u>

Drönare: Subjekt	Svar	Varför
1	Rätt	Ser ut som en kamera och den bör peka neråt
2	Rätt	"Aerodynamik och grejer"
3	Rätt	Ser ut som en cockpit och fönster på ovansidan.
4	Rätt	Står ju på den
5	Rätt	Färgerna passar in i varandra
6	Rätt	Uteslutning

Bilaga 3, Tester av material

Test1, EPP utan förstärkning:

1, utan behållare: 310mm

1, tom behållare: 285mm

1, 10g vatten: 250 mm

1, 20g vatten: 205 mm

1, 25 g vatten: 193 mm

1, 30 g vatten: 177 mm

1, 35 g vatten: 166 mm

Test2, EPP förstärkt med spinnakertejp

2, utan behållare: 340mm

2, tom behållare: 326 mm

2, 10 g vatten: 304 mm

2, 20 g vatten: 274 mm

2, 25 g vatten: 249 mm

2, 30 g vatten: 230 mm

2, 35 g vatten: 211 mm

2, 40 g vatten: 198 mm

2, 45 g vatten: 187 mm

2, 50 g vatten: 180 mm

2, 60 g vatten: 165 mm

Test3, EPP med glasfibertejp

3, utan behållare: 335 mm

3, tom behållare: 325 mm

3, 10 g vatten: 304 mm

3, 20 g vatten: 273 mm

3, 25 g vatten: 264 mm

3, 30 g vatten: 248 mm

3, 35 g vatten: 226 mm

3, 40 g vatten: 210 mm

3, 45 g vatten: 197 mm

3, 50 g vatten: 186 mm

3, 60 g vatten: 166 mm

Test4, EPP med koliberrör

4, utan behållare: 333 mm

4, med behållare: 333 mm

4, 10 g vatten: 333 mm

4, 20 g vatten: 333 mm

4, 25 g vatten: 332 mm

4, 30 g vatten: 330.5 mm

4, 35 g vatten: 330 mm

4, 88 g vatten: 329 mm

4, 139 g vatten: 328 mm

4, 239 g vatten: 324 mm

4, 339 g vatten: 321 mm

Brott skedde vid 2.5 kg och 250 mm, 6.13125 Nm

Bilaga 4, Kesselringsmatris

	Viktning	Ideal		Koncept1		Koncept2		Koncept3		
		v	t	v	t	v	t	v	t	
Lämna utrymme för inre komponenter	5	5	25	5	25	5	25	3	15	
Monterint/ installation	3	5	15	5	15	4	12	3	9	
Förhindra löstagbara vingar	3	5	15	5	15	4	12	3	9	
Fixera inre komponenter	5	5	25	4	20	2	10	3	15	
Möjliggöra åtkomst till elektronik	2	5	10	2	4	5	10	1	2	
Minimera vikt	5	5	25	3	15	2	10	5	25	
Tåla krock i 14m/s	5	5	25	5	25	0	0	5	25	
Tillverkning av koncept	3	5	15	4	12	3	9	4	12	
Kompatibilitet mellan kropp och konstruktion	4	5	20	5	20	3	12	4	16	
		45	175	38	151	28	100	31	128	
Rangordning					1		3		2	