



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2019 30 stp**  
Fakultetet for realfag og teknologi

## **Dolphin Sky: Videreutvikling av sammenfoldbare oppheng for propell- og thrustersystem med sikkerhetsfunksjoner**

Dolphin Sky: Further development of foldable propeller- and thruster system with safety functions

**Henrik Falstad**  
Maskin, prosess- og produktutvikling

# Dolphin Sky

Videreutvikling av sammenfoldbare oppheng for  
propell- og thrustersystem med  
sikkerhetsfunksjoner



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Mastergradsoppgave – Maskin, prosess og produktutvikling

Fakultetet for realfag og teknologi, NMBU

Våren 2019



## Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mine to år av et femårig masterprogram i maskin og produktutvikling ved fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet. Jeg har fra før en bachelorgrad i ingeniørfag – maskin fra Høgskolen i Oslo og Akershus. Oppgaven er gjennomført våren 2019 og har et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven er en del av et internt prosjekt på RealTek ved NMBU som ønsker å utvikle et miljøvennlig kombinasjonskjøretøy som både kan fly og kjøres på vei. Allerede ved introduksjonen til prosjektet appellerte visjonen bak prosjektmålene til mine verdier og interesser. Jeg har, sammenlignet med NMBU, et sterkt ønske om å kunne bidra til verdens globale bærekraftsutfordringer. Menneskeheden har blitt avhengig av egenprodusert teknologi og vi er selv ansvarlige for å redusere negative innvirkninger på miljøet.

Droneteknologi har de siste årene hatt en voldsom utvikling og man kan tydelig se at denne utviklingen har et stort potensial. Dette er en innovativ og fremtidsrettet teknologi som for meg er veldig motiverende å være en del av. Jeg har lenge hatt interesse for produktutvikling, da spesielt mekanisk funksjonalitet og strukturoptimalisering. Sammen med hovedveileder, førsteamanuensis Jan Kåre Bøe, definerte vi hovedmålene for prosjektet, som ble en videre utredning, utvikling og design av et sammenfoldbart oppheng til propell- og thrustersystemet til dronebilen Dolphin Sky.

Utviklingsprosessen har vært spennende, utfordrende og lærerik. Jeg har tilegnet meg gode erfaringer for selvstendig gjennomføring av et større prosjekt og føler meg bedre rustet for fremtidige produktutviklingsoppdrag.

Først og fremst vil jeg takke førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for prosjektveiledning, støtte og inspirasjon til utviklingen. Jeg vil også takke overingeniørene Henrik Folke Holmberg og Øyvind Hansen for deltagelse i eksperttestingen med gode og nyttige innspill.

Ås, 15.05.2019

---

Henrik Falstad

## Sammendrag

Den raske teknologiske utviklingen er blant annet ansvarlig for en økende urbanisering. Med urbanisering følger større konsentrasjoner av mennesker, som igjen bidrar til flere transportmidler på veiene. Dette reduserer fremkommeligheten, øker miljøutslippene og øker slitasjen på veibanen. Det er derfor ønskelig å utvikle og utvide infrastrukturen, og med Dolphin Sky ser man på muligheten for å flytte deler av trafikken til luftrommet.

REALTEK ved NMBU har siden 2007 utredet og utviklet et småbilkonsept kalt Dolphin, og fra 2016, dronebilen Dolphin Sky. All utredning, utvikling og design er hovedsakelig basert på emnefag og masteroppgaver gjennomført av studenter. Hensikten og visjonen for Dolphin Sky er å utvikle en fullelektrisk dronebil som både kan kjøres på veien og gjennomføre korte flyvninger. Dronebilen skal i førsteomgang ha kapasitet til én person, samt et kompakt design som er lite, lett og miljøvennlig.

Nåværende utviklingsstrategi for Dolphin Sky er modulbasert. Dronebilen er grovt inndelt i tre hovedmoduler: kabinmodul, kjøremodul og dronemodul. Gjeldene masteroppgave har tatt for seg en videreutvikling av dronemodulen. Hovedmålsettingen med oppgaven er å utrede, utvikle og designe en sammenfoldbar løsning for propell- og thrustersystemet som ivaretar både konstruksjons- og brukssikkerhet. Plassbesparelsen ved sammenfolding er hovedsakelig ønskelig for å bidra positivt til kjøreegenskapene, slik at dronebilen kan brukes til normal ferdsel på veibanen, parkering og innkjøring gjennom en standardisert garasjeport. Konstruksjons- og brukssikkerhet er spesielt viktig ved flyvning da personen i dronebilen er totalt avhengig av at konstruksjonen er robust og at det er sikkerhetsfunksjoner for nødlanding.

For å kunne oppnå hovedmålet på en god måte, ble det kartlagt og definert ulike faser av prosjektprosessen med tilhørende utviklingstrinn og aktiviteter. Prosjektet kan inndeles i fire faser: utredningsfase, utviklingsfase, konstruksjons- og designfase og ferdigstillingsfase.

I utredningsfasen ble det tidlig utarbeidet en prosjektplan som ga et overblikk over prosjektets forløp og omfang. Det ble definert hoved- og delmål med underordnede aktiviteter med ressursfordeling og milepeler. Det ble formulert problemstillinger, teknologiske flaskehalsar og begrensninger for å sikre et målrettet prosjekt. Videre ble aktuelle produktutviklingsmetoder som IPD, SCAMPER og Pugh's metodikk beskrevet. IPD metodikken ble tilpasset oppgaven og hadde som hensikt å ivareta en effektiv og helhetlig utførelse av prosjektet samt å sikre at viktige elementer i utviklingsprosessen ikke uteble. SCAMPER ble hovedsakelig benyttet ved konseptgenereringen, som en huskeliste for å bidra med inspirasjon og nye synspunkter. Pugh's metodikk ble benyttet til å danne seleksjonsmatriser for utvelgelse av foretrukne løsningsalternativer. Det ble også kartlagt hvilke programvarer og hjelpemidler som var best egnet for arbeidet og hvordan prosjektet skulle kvalitetssikres. For å kunne definere oppgaven best mulig ble det utført en oppdatering på både den interne utviklingsstatusen for Dolphin Sky og den globale utviklingsstatusen for eksisterende løsninger. Avslutningsvis i fasen ble det lagt et teoretisk og teknologisk grunnlag som var relevant for beregninger og videreutvikling.

I utviklingsfasen ble det, basert på tidligere utredning, formulert målsettinger for produktet og de viktigste produktegenskapene. Det ble utført en metrisk grensespesifikasjon som dannet variasjonsbredden for ulike dimensjoner på dronemodulen, etterfulgt av en grovspesifikasjon med fastsatte verdier som dannet utgangspunktet for design og dimensjonering. For å sikre at alle de viktigste funksjonene på dronemodulen ble ivaretatt, ble det utført en funksjonsanalyse. Analysen dannet grunnlaget for videre konseptgenerering som resulterte i ulike løsningsalternativer for de respektive funksjonene. Løsningsalternativene ble vurdert, vektet og valgt uavhengig av hverandre, og de foretrukne alternativene ble sammensatt til en helhetlig konseptløsning. For å kvalitetssikre konseptvalget ble det utført en eksperttesting gjennom diskusjon og rådgøring med utvalgte testpersoner med ulik bakgrunn.

I konstruksjons- og designfasen ble konseptløsningen 3D CAD modellert i Solidworks. Det ble videre utført beregninger og dimensjonering av utvalgte komponenter, der FEM analyser i Ansys Workbench ble brukt til å verifisere noen av resultatene. Det ble utført materialvalg basert på opptredende spenningsnivåer og en sikkerhetsfaktor mot utmattingsgrensen. Sikkerhetsfaktoren ble bestemt iht. en lastfaktor på 3,5 G i selvbyggerforskriften. Det ble også foretatt en utredning av brukssikkerheten til dronemodulen der det ble generert et løsningsforslag til instrumentpanel og aktuelle nødlandingssystemer.

I ferdigstillingsfasen ble det kartlagt produksjonsmetoder for komponentene. Det ble også utarbeidet et kostnadsestimat for produksjon av én prototype, og en sammenligning til serieproduksjon. Til slutt ble det utarbeidet tekniske anvisninger og tegninger.

Resultatet fra prosjektet ble et konseptforslag for en dronemodul med seks opphengsarmer og thrusterne. Alle opphengsarmene er designet like, noe som gir en symmetrisk konstruksjon. Opphengsarmene består av fire stegprofiler som kan teleskoperes og roteres i lengderetningen av dronebilen i kjøremodus. Hver thruster har en propellskjerming som strekker seg ut i en redusert halvsirkel som også er sammenfoldbar. Det er designet en låsemekanisme av opphengsarmene i både flymodus og kjøremodus. For innfestning til kabinmodulen er det tilrettelagt for en automatisk hurtigkobling. Det er også tilrettelagt for plassering av et nødlandingssystem med fallskjerm og rakett med innfestningspunkter til fallskjermtau. De fleste komponentene produseres med aluminiumslegeringene 6082 T6 og 6082 T651 og knutepunktskomponenter med rustfritt stål AISI 304. Dronemodulen veier totalt 125,6 kg uten motorer, propeller og nødlandingssystem. De ytre målene i utfoldet tilstand er 5287 x 5897 x 351 mm, og i sammenfoldet tilstand 3514 x 1119 x 351 mm.

For videre arbeid bør det gjennomføres en ny funksjonsanalyse for å optimalisere funksjonene på dronemodulen. Dette gjelder spesielt funksjoner knyttet til teleskoperingsarmene, der det må utvikles endestoppere for stegprofilene og en låsing i utfoldet og sammenfoldet tilstand. Det må også utredes mer om glideflater og opplagringspunkter. For propellskjermingen må det også utvikles en låsemekanisme i utfoldet og sammenfoldet tilstand. Videre bør det utvikles mekanismer som samkjører alle sammenfoldingsbevegelser. Dette vil gi brukeren en enklere og mer effektiv konvertering mellom flymodus og kjøremodus.

## Abstract

The rapid technological development is, among other things, responsible for an increasing urbanization. With urbanization follows larger concentrations of people which contributes to more means of transport on the roads. This reduces accessibility, increases environmental emissions and increases road wear. It is therefore desirable to develop and expand the infrastructure, and with Dolphin Sky one looks at the possibility of moving parts of the traffic to the airspace.

REALTEK at NMBU has since 2007 developed a small car concept called Dolphin and from 2016 the drone car Dolphin Sky. All studies, development and design are mainly based on course subjects and master's theses completed by students. The purpose and vision of Dolphin Sky is to develop a fully electric drone car that can both be driven on the road and carry out short flights. Initially, the drone car must have capacity for one person and a compact design that is small, light and environmentally friendly.

The current development strategy for Dolphin Sky is based on modularity. The drone car is roughly divided into three main modules: cabin module, driving module and drone module. The current master thesis has dealt with a further development of the drone module. The main objective of the task is to study, develop and design a foldable solution for the propeller and thrust system which safeguards both construction and user safety. The reason to develop a foldable system is mainly in order to enhance driving characteristics. The drone car must be able for use in normal traffic on the road, parking and passing through a standardized garage door. Construction and user safety are particularly important when flying, since the person inside the drone car is totally dependent on the construction being robust and available safety features for emergency landing.

To be able to achieve the main goal efficiently, various phases of the project process were mapped and defined. The project can be divided into four phases: study phase, development phase, construction and design phase and completion phase.

In the study phase, a project plan was prepared early on which provided an overview of the project's process and scope. Main and sub-goals were defined with subordinate activities with resource allocation and milestones. Problems, technological bottlenecks and limitations were defined to ensure a targeted project. Furthermore, current product development methods such as IPD, SCAMPER and Pugh's methodology were described. The IPD methodology was adapted to the task and was intended to ensure an efficient and comprehensive execution of the project and to ensure that important elements in the development process did not miss out. SCAMPER was mainly used in the concept brainstorming as bookmarks to contribute with inspiration and new views. Pugh's methodology was used to create selection matrices for selecting preferred concept solutions. It was also mapped out which software and aids were best suited for the work and how the project should be quality assured. To optimize project objectives, an update was made on both the internal development status of Dolphin Sky and the global development status of existing solutions. In the end, a study of relevant theory and technological inspiration laid the foundation for further work.

In the development phase, based on previous studies, objectives for the product and the main product characteristics were formulated. A metric boundary specification was performed which decided the width of variation for different dimensions of the drone module, followed by a rough specification with set values that formed the basis for design and calculations. To ensure that all the main functions of the drone module were taken care of, an analysis of functions was done. The analysis formed the basis for concept brainstorming that resulted in different solutions for the different functions. The solutions were evaluated and selected independently, and the preferred options were assembled into a comprehensive concept solution. In order to quality assure the concept selections, an expert test was carried out through discussion and consultation with selected test persons with different backgrounds.

In the construction and design phase, the concept solution was 3D CAD modeled in Solidworks. Calculations of selected components were also carried out, where FEM analyzes in Ansys Workbench were used to verify some of the results. Material choices was based on occurring tensions and a safety factor against the fatigue limit. The safety factor was determined according to a load factor of 3.5 G from regulations concerning self-build aircrafts. A study of the user safety of the drone module was also carried out, where a solution for the instrument panel was generated and emergency landing systems were mapped.

During the completion phase, different production methods were mapped. Based on the methods a cost estimate was also prepared for the production of one prototype and a comparison for mass production. Finally, technical instructions and drawings were made.

The result of the project was a concept for a drone module with six suspension arms and thrusters. All suspension arms are designed equally, which gives a symmetrical design. The suspension arms consist of four profiles that can be telescoped and rotated in the longitudinal direction of the drone car in driving mode. Each thruster has a propeller shield that extends into a reduced semicircle that is also foldable. It is designed a locking mechanism of the suspension arms in both flight mode and driving mode. For attachment to the cabin module, an automatic quick coupling is facilitated. It is also reserved space for a ballistic parachute and designed attachment points for parachute ropes. Most components are manufactured with the 6082 T6 and 6082 T651 aluminum alloys and the hub components with AISI 304 stainless steel. The drone module weighs a total of 125.6 kg without engines, propellers and emergency landing systems. The outer dimensions in the unfolded state are 5287 x 5897 x 351 mm and in folded state 3514 x 1119 x 351 mm.

For further work, a new analysis of functions should be carried out to optimize the functions of the drone module. This especially applies to the functions associated with the telescopic arms, where end stops must be developed for the profiles and a locking in the unfolded and folded state. It must also be studied more for sliding surfaces and support areas. For the propeller shield, a locking mechanism must also be developed in the unfolded and folded state. Furthermore, mechanisms that combine all folding movements should be developed. This provides an easier and more efficient conversion between flight mode and driving mode.



# INNHALDSFORTEGNELSE

SIDE:

<b>Forord</b> .....	ii
<b>Sammendrag</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	v
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Småbilkonseptet «Dolphin» .....	2
1.3 Kombinasjonskjøretøyet «Dolphin Sky» .....	2
1.4 Tidligere arbeid .....	4
1.4.1 Helhetsdesign .....	4
1.4.2 Utredning og utvikling av thrusterfunksjon .....	4
1.4.3 Design av chassis .....	5
1.4.4 Utvikling av sammenfoldbart propell- og thrustersystem .....	5
1.4.5 Oppsummering og forutsetninger for videre arbeid .....	9
1.5 Eksisterende løsninger .....	9
1.5.1 Ehang 184 .....	9
1.5.2 Pop.Up og Pop.Up Next .....	10
1.6 Oppdragsbeskrivelse .....	11
1.7 Problemstillinger og teknologiske flaskehalser .....	11
<b>2 PROSJEKTPLAN</b> .....	<b>12</b>
2.1 Prosjekt målsettinger .....	12
2.1.1 Hovedmål .....	12
2.1.2 Delmål .....	12
2.2 Tids- og arbeidsplan med milepeler .....	12
2.3 Begrensninger .....	14
<b>3 METODEBESKRIVELSE</b> .....	<b>15</b>
3.1 Terminologi, symboler og formler .....	15
3.1.1 Koordinatsystem .....	15
3.1.2 Terminologi og begreper .....	15
3.1.3 Symboler .....	16
3.1.4 Formler .....	21

3.2	Metodebruk .....	22
3.2.1	Integrated Product Development (IPD) [21] .....	22
3.2.2	Pughs metodikk [23].....	24
3.2.3	SCAMPER [24] .....	24
3.3	Løsningsverktøy.....	25
3.4	Kvalitetssikring .....	26
3.5	Prosesstrinn .....	26
4	Teoretisk og teknologisk grunnlag.....	28
4.1	Droneflyvning og manøvrering .....	28
4.2	Armkonfigurasjon og stabilitet .....	30
4.3	Aerodynamikk [31] .....	31
4.4	Statikk og fasthetslære [42][43].....	32
4.4.1	Krefter, momenter og spenninger for en utkragerbjelke .....	33
4.4.2	Castigliano's metode [34] .....	34
4.5	Dynamiske belastninger .....	35
4.6	Regelverk .....	36
4.7	Teknologiske løsninger .....	36
5	PRODUKTSPEISIFISERING .....	39
5.1	Produktmålsettinger.....	39
5.2	Rangering av viktige produkttegenskaper .....	39
5.3	Metriske grensespesifikasjoner .....	40
5.4	Metriske grovspeisifikasjoner .....	42
6	KONSEPTGENERERING .....	44
6.1	Funksjonsanalyse .....	44
6.2	Funksjonsalternativer med skisser.....	45
6.2.1	Låse dronemodulen til chassiset.....	45
6.2.2	Propellskjerming .....	46
6.2.3	Foldemekanisme .....	47
6.2.4	Sammenfolding av opphengene .....	48
6.3	Tidlig materialdrøfting .....	52
6.4	Tidligvurdering av brukspåkjenninger .....	53
6.4.1	Vertikale påkjenninger .....	53

6.4.2	Horisontale påkjenninger .....	54
7	EGENSCREENING OG KONSEPTVALG .....	56
7.1	Seleksjonsmatrise og egen konseptscreening .....	56
7.2	Foretrukne løsningsalternativer .....	58
8	EKSPERTTESTING .....	60
8.1	Testmålsetninger .....	60
8.1.1	Hovedmål .....	60
8.1.2	Delmål .....	60
8.2	Ekspertgruppe .....	60
8.3	Kommunikasjonsform .....	60
8.4	Resultater og resultattolkning .....	61
8.4.1	Resultater .....	61
8.4.2	Resultattolkning .....	62
9	GRUNNLAGSBEREGNINGER .....	63
9.1	Målsettinger for grunnlagsberegninger .....	63
9.2	Dimensjoner og krefter på teleskoperingsprofilene .....	63
9.2.1	Valg av profillengder .....	63
9.2.2	Bøyemomenter og skjærkrefter .....	64
9.2.3	Tverrsnitts utforming .....	66
9.2.4	Nedbøyning av opphengsarm .....	70
9.3	Knutepunkt beregninger .....	76
9.3.1	Hullkantrykk i monteringsplatene .....	76
9.3.2	Avskjæring av aksling .....	78
10	PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN .....	79
10.1	Sammenstilling .....	79
10.2	Design av hovedelementer .....	82
10.3	Design av komponenter .....	87
10.4	Standardkomponenter .....	93
11	ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG SIKKERHET .....	94
11.1	Konstruksjonssikkerhet .....	94
11.1.1	Nedbøyning av opphengsarm .....	94
11.1.2	Materialegenskaper og materialvalg .....	96

11.1.3	Sikkerhetsfaktorer og tillatte spenninger.....	98
11.1.4	Overflatebehandling og vedlikehold .....	100
11.2	Brukssikkerhet.....	100
11.2.1	Nødlanding.....	101
11.2.2	Instrumentpanel og sikkerhetsrutiner .....	103
12	FRAMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER.....	106
12.1	Produksjonsmetoder .....	106
12.2	Kostnads kalkyle for prototype .....	110
12.3	Kostnadsanalyse for serieproduksjon .....	112
13	MARKEDSPRESENTASJON .....	115
13.1	Renderte framstillinger.....	115
13.2	Tekniske beskrivelser.....	120
13.2.1	Monteringsanvisning.....	120
13.2.2	Bruksanvisning .....	126
14	PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	129
14.1	Konseptutviklingsarbeidet, forbedringspotensialer .....	129
14.2	Designrevisjon, produksjon og kostnadsreduksjon .....	131
15	KONKLUSJON .....	133
15.1	Resultater og anbefalinger .....	133
15.2	Videre arbeid.....	134
16	REFERANSER .....	136
16.1	Skriftlige kilder .....	136
16.2	Personlig meddelelse .....	137
16.3	Nettbaserte kilder .....	137
17	VEDLEGG .....	140

## 1 INNLEDNING

For å sette oppgavens hensikt i perspektiv legges bakgrunnen for Dolphin Sky prosjektet til grunn. Dette for å gi et innblikk i hvorfor Dolphin Sky er et prosjekt som prioriteres på NMBU. For å gi en indikasjon på hvor langt Dolphin Sky har kommet i utviklingsprosessen utredes det for tidligere arbeid og eksisterende løsninger.

### 1.1 Bakgrunn

Det har lenge pågått en urbanisering på verdensbasis. Ifølge Verdensbanken er dette et stigende fenomen, og det ble i 2017 estimert at over 54% av verdens befolkning bor i byer [1]. Dette skyldes flere faktorer, blant annet industrialisering, modernisering og økonomisk vekst. Som følge av den teknologiske utviklingen har næringen knyttet til landsbygda blitt effektivisert, på samme tid som behovet for arbeidskraft har blitt redusert på grunn av økende internasjonal handel.



Figur 1.1: Urbanisering fører til økt trafikk, her i Bangkok [3].

Denne trenden har medført problemer knyttet til trafikk og transporter ved at fremkommeligheten i urbane områder blir dårligere og miljøutslippene blir mer konsentrert. Dagens transporteringsystem er hovedsakelig basert på en todimensjonal modell med veier og togskiner. Med et begrenset areal å bygge på, samt terreng som må tas hensyn til, kan denne modellen anses som lite bærekraftig. Det er også store kostnader knyttet til veibygging der Statens vegvesen estimerer en pris per meter på mellom 50 000 - 230 000 NOK avhengig av bredde og antall felt [2]. Med disse forutsetningene er det naturlig å utvikle en ny modell som utnytter en tredje dimensjon. En mulig løsning vil være å forflytte deler av trafikken til luftrommet.

Med en rask utvikling av batteriteknologi, lettvektsmaterialer med gode egenskaper og automatiserte kjøretøy, har utviklingen av dronebaserte løsninger for person- og varetransport tatt store skritt de siste årene. Det finnes i dag både kommersielle og konseptuelle versjoner av slike løsninger. Til tross for at fremtiden for en urban bemannet luftromstrafikk er usikker og veldig avhengig av politiske reguleringer, er utviklingen til dels upåvirket av dette. Det ligger mye potensiale i slik teknologi. Med avanserte selvkjørende systemer og en digital kommunikasjon mellom alle persondroner, kan man få en økt sikkerhet og effektivitet ved å fjerne menneskelige feil og optimalisere samhandlingen i trafikken. Teknologien er også veldig attraktiv for andre særskilte områder som utrykningskjøretøy, næringslivet og diverse redningsaksjoner.

I dag er det store forskjeller på lover og regler for dronebruk i verdens land, noen har totalforbud mens andre er mer positiv til utviklingen. Norge er blant landene som tillater både hobby- og kommersiell bruk av ubemannede fjernstyrte droner med gitte retningslinjer. I januar 2017 etablerte regjeringen en tverrdepartemental dronegruppe med hovedformål å vurdere forhold knyttet til flysikkerhet, samfunnsikkerhet, miljøvern, personvern, privatlivets fred, luftromsbruk og

frekvenser [4]. Utredningen som er gjort danner grunnlaget for en dronestrategi for ubemannede fjernstyrte luftfartøy, som vil si at forhold rundt bemannede droneflyvninger ikke er tatt høyde for. Utviklingen av persontransport med droneteknologi vil avhenge av samfunnets aksept som igjen avhenger av teknologiens sikkerhet og effektivitet. Ved en positiv utvikling på dette området har norske myndigheter et underliggende mål om å legge til rette for at sikkerhetsgevinstene ved slik teknologi kommer luftfarten og passasjerene til gode [4].

NMBU har en visjon om å sikre framtidens livsgrunnlag gjennom forskning, utdanning og innovasjon, og ønsker å inneha en sentral rolle for å bidra til løsninger på globale bærekraftsutfordringer. I den sammenheng gjennomføres det jevnlig realiseringssjekter på skolen. De senere årene har RealTek fakultetet tatt del i ansvaret som omhandler miljøvennlige kjøretøy og effektivisering av person- og varetransport gjennom konseptene Dolphin og Dolphin Sky.

## 1.2 Småbilkonseptet «Dolphin»

Dolphin er et småbilkonsept som har blitt utviklet på RealTek ved NMBU siden 2007. Det har gjennom en rekke mastergradsoppgaver blitt utredet og utviklet ulike design og konstruksjonsforslag. Hensikten med Dolphin er å konstruere et mer kompakt og miljøvennlig kjøretøy som er optimalisert for person- og varetransport. Ved å redusere unødvendig volum og vekt samt benytte en elektrisk- og/eller hybridmotor vil man få en økt energieffektivitet, bedre fremkommelighet i trafikken og et mer miljøvennlig kjøretøy.

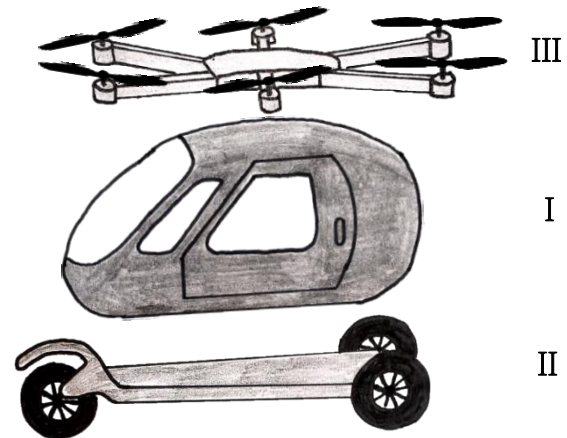


**Figur 1.2: Et konseptforslag på Dolphin fra en tidligere masteroppgave utført i 2012 [5].**

## 1.3 Kombinasjonskjøretøyet «Dolphin Sky»

I 2016 ble Dolphin konseptet videreutviklet og det ble utredet om muligheten til å implementere en svevefunksjon. Derav navnet «Dolphin Sky». Visjonen er å utvikle et miljøvennlig fullelektrisk kombinasjonskjøretøy som både kan kjøres på vei og fly. Transformasjonen mellom de to transporteringsmodusene skal enkelt kunne utføres av føreren. Konseptet er per i dag på et tidlig utviklingsstadium og det gjenstår fortsatt en del masteroppgaver som må gjennomføres, før en eventuell prototype kan produseres. For å oppnå visjonen fullt ut er det naturlig å utvikle konseptet trinnvis. Det vil derfor i førsteomgang være fokus på å utvikle kjøretøyet for kun én person og ha en hybridmotorløsning av sikkerhetsmessige årsaker.

Nåværende utviklingsstrategi bygger på en modulbasert tilnærming. Kjøretøyet kan deles inn i tre hovedmoduler; kabinmodul, kjøremodul og dronemodul. For kabin- og kjøremodulene kan det benyttes tidligere erfaringer fra småbilkonseptet Dolphin, men det er utført, og utføres også, oppgaver for disse modulene med fokus på problemstillinger knyttet til flyvning. Dronemodulen utvikles delvis isolert fra resten av kjøretøyet. Det er ikke tatt noen konkrete designvalg som omhandler utforming og innfestningsmuligheter på kabinmodulen. Hovedfokuset for dronemodulen er i dag å utrede og utvikle propell- og thrustersystemet, konfigurasjoner for opphengsarmer, sikkerhetsfunksjoner, materialvalg og en mekanisme til å sammenfolde modulen. Figuren til høyre viser de aktuelle modulene på Dolphin Sky.



**Figur 1.3: Figuren viser tanken for modulisering av Dolphin Sky. I) Kabinmodul, II) Kjøremodul og III) Dronemodul.**

Det har tidligere blitt utført totalt syv masteroppgaver som omhandler Dolphin Sky og denne våren er det utført ytterligere tre oppgaver, hvor hver oppgave har fokusert på én modul hver. Fellestrekkene for moduldesignene er et ønske om en organisk utforming. Dette for å optimalisere aerodynamiske egenskaper og funksjonalitet. Det kan derfor søkes inspirasjon fra naturen som gjennom evolusjon har utviklet optimale egenskaper for ulike forhold. I gjeldene oppgave er spesielt sammenfolding av oppheng for propell- og thruster system en problemstilling. Under flyvning skal helst armene ha et tilstrekkelig spenn for å oppnå en god stabilitet, mens ved kjøring og parkering skal dronemodulen ta så liten plass som mulig. I naturen er saksedyret et utmerket eksempel på denne problemløsningen. Saksedyret kan fly, men bruker mesteparten av sin tid under bakken, som gir behov for å beskytte vingene. Bildene under viser insektet med og uten vinger.



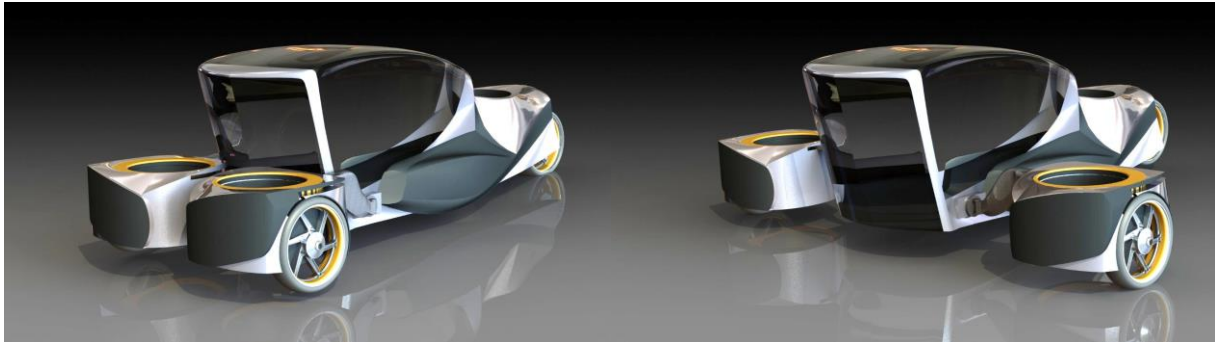
**Figur 1.4: Bilde til venstre viser saksedyret med utfoldede vinger klar til flyvning [6]. Bilde til høyre viser når insektet har sammenfoldet vingene og gjemt de bak et beskyttende skall [7].**

Saksedyret kan folde sammen vingene og oppnå en ti ganger reduksjon i areal. Den benytter seg av prinsippene fra origami og bretter vingene opptil 40 ganger. Måten vingene brettes på er teknisk sett umulig å gjenskape med tradisjonell origami, men på grunn av at brettekantene består av et gummiaktig materiale kalt resilin, kan saksedyret låse vingene i to ulike konfigurasjoner.

## 1.4 Tidligere arbeid

Som tidligere nevnt, har det blitt utført en del masteroppgaver på småbilkonseptet Dolphin. De senere årene har fokuset ligget på utvikling av droneversjoen Dolphin Sky og i denne seksjonen vil det fokuseres på masteroppgaver vedrørende sistnevnte. Det vil legges frem en oppsummering av de mest relevante oppgavene som gir en oppdatering på utviklingsstatusen.

### 1.4.1 Helhetsdesign



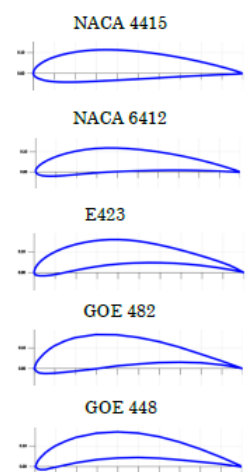
Figur 1.5: Figuren viser kjøretøyet i bilmodus til venstre og flymodus til høyre [8].

Den første masteroppgaven for Dolphin Sky ble skrevet av Kristoffer Rummelhoff i 2016 med tittelen «Dolphin Sky, Del A: Utvikling av integrert design- og helhetskonsept for sveveløsning» [8]. I denne oppgaven var hensikten å designe en helhetlig løsning for kombinasjon av kjøring og flyvning. Dette er altså ikke en modulbasert versjon. Designet hadde hovedfokus på brukervennlighet og funksjonalitet samt en innovativ angrepsvinkel med mindre fokus på problematikk knyttet til produksjon og økonomi. Kjøretøyet består av tre thrusterne og tre hjul der to er plassert bak.

### 1.4.2 Utredning og utvikling av thrusterfunksjon

I 2017 gjorde Anders Thømt en oppgave med tittelen «Utredning, dimensjonering og utvikling av testoppsett for thrusterfunksjon til persondrone» [9]. Oppgavearbeidet var to-delt, der første del gikk på utredning og tidlig spesifikasjon av fremdrift for dronen. Her ble teorien som omhandler aerodynamikk og utforming av propellbladene gjennomgått. Anders tok for seg fem ulike propellutforminger, der hensikten var å kartlegge virkning og funksjon av forskjellige design og sammensetninger av propellbladene.

Det ble også evaluert fem aktuelle likestrømsmotorer med forutsetningen at propellbladene skulle monteres direkte på motorakslingen, altså uten gir. Det ble konkludert med at oppdriftskraft og effektbehov var proporsjonalt med antall propellblader, som vil si at svevningseffekten er konstant uavhengig av antall blader. Det ble derfor foreløpig anbefalt å begrense antall propellblader til to, dette for å redusere kompleksitet og kostnader.



Figur 1.6: Fem ulike propelldesign som ble vurdert i rapporten [9].



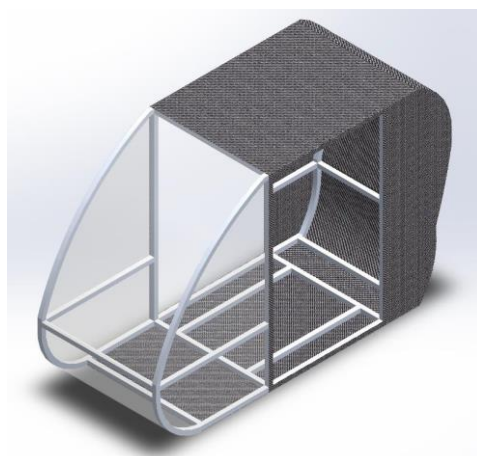
Andre del tok for seg utvikling av en testrigg for thrusterfunksjon. Hovedmålet med testriggen er å kunne gjennomføre enkle forsøk med en skalert prototype som kartlegger energiflyten gjennom systemet, oppdriftskraft med og uten bakkeeffekt og effekten ved å inkludere en kanal rundt propellene. Testriggen er hovedsakelig designet for testing av thruster systemet. Ved et senere tidspunkt i utviklingsprosessen av Dolphin Sky kan det være aktuelt å tilpasse riggen for å kombinere testing av thruster funksjon og opphengsarm.



**Figur 1.7: Testriggen skal blant annet brukes til å utforske utforming på propellbladene [9].**

#### 1.4.3 Design av chassis

I 2018 ble det utredet og utviklet et chassis/rammeverk for Dolphin Sky. Dette ble utført av Thomas Magnussen med oppgavetittel «Dolphin Sky: Chassisløsning for person- og varetransport-drone» [10]. Thomas hadde fokus på den interne rammestrukturen og løsningsforslaget besto av 38 sammenlimte deler i aluminiumslegeringen AA-7150-T6. Det var 22 stk. ekstruderte profiler med standardiserte tverrsnitt og 16 stk. knutepunkts overganger.



**Figur 1.8: Konstruksjonsforslag på chassis/rammeverk for Dolphin Sky [10].**

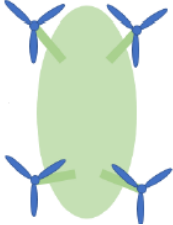
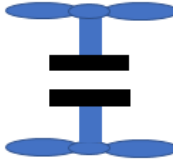
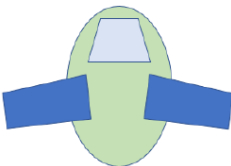

Thomas utredet for antropometri, da løsningen og menneske vil interagere i høy grad. Rammeverket er dimensjonert for at én person skal huses og kunne operere anordningen komfortabelt. En person ble definert med en vekt på 111,2 kg, høyde på 1920 mm og skulderbredde 523 mm. Løsningen er også tilpasset for å ha tilstrekkelig utsiktsmuligheter, inngang- og utgangsmuligheter og den skal kunne bære designvekten.

#### 1.4.4 Utvikling av sammenfoldbart propell- og thrustersystem



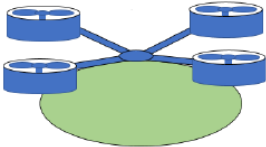
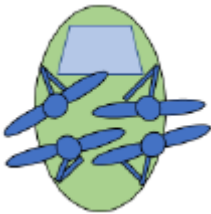
Tarek El-Gewely utførte i 2018 en oppgave med lignende problemstillinger som i gjeldene gradsarbeid. Det vil dermed utredes noe mer for denne oppgaven. Tittelen for masteroppgaven var «Dolphin Sky: Utredning og utvikling av sammenfoldbart propell- og thrustersystem» [11]. Produktmålsetningen var å utvikle et sammenfoldbart propellsystem for å redusere unødvendig plassbruk ved kjøring på vei og ved parkering.

For å kunne bygge videre på arbeidet til Tarek og videreutvikle dronemodulen, er det gjennomgått hvilke konseptalternativer som ble vurdert og valgt. Dette vil bidra med inspirasjon til en ny konseptgenerering og en forståelse av fordeler/ulempene med ulike alternativer. I tabellen på neste side fremstilles løsningsvalgene som ble tatt.

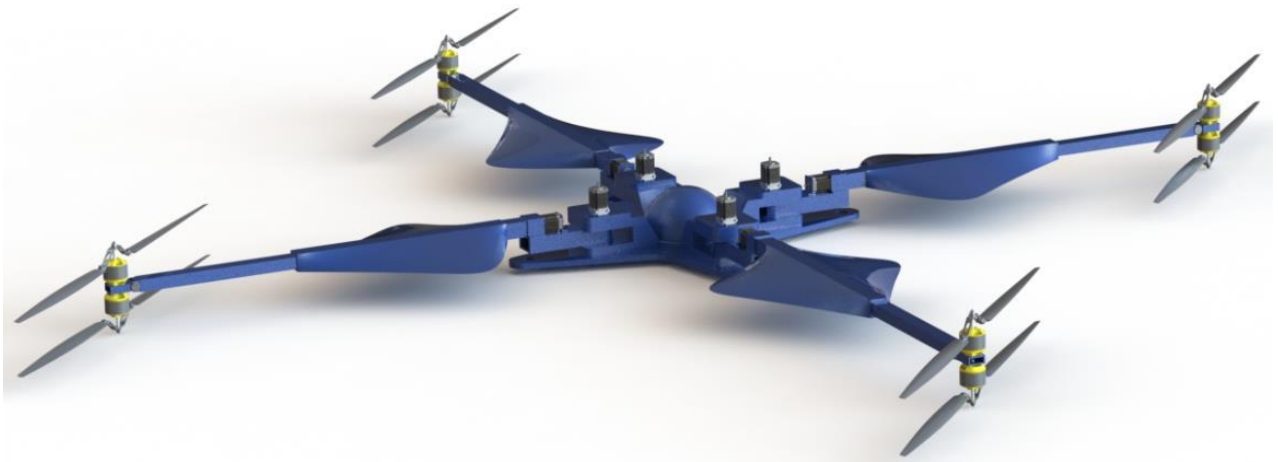
Tabell 1.1: De valgte løsningene blir presentert i tabellen med figur og begrunnelse.

Figur	Begrunnelse
<p>1. Armkonfigurasjon</p>  <p>Figur 1.9: Illustrasjon med fire armer [11].</p>	<p>For armkonfigurasjon ble det vurdert hvor mange opphengs- armer som skulle benyttes. Viktige kriterier var sikkerhet, kompleksitet og funksjonalitet. Her ble det vurdert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tre armer.</li> <li>- Fire armer.</li> <li>- Fem armer.</li> </ul> <p>Valget falt på fire armer etter antagelsen om at tre armer hadde for liten sikkerhet og fem armer ville medføre for stor kompleksitet ved sammenfolding.</p>
<p>2. Motorkonfigurasjon</p>  <p>Figur 1.10: Illustrasjon av to propeller med to motorer [11].</p>	<p>For valg av motorkonfigurasjon ble det vurdert hvor mange propeller og elektriske motorer hver arm skulle bestå av. Det ble vurdert følgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En propell og motor.</li> <li>- To kontraroterende propeller med en motor.</li> <li>- To kontraroterende propeller med en motor per propell.</li> </ul> <p>Valget ble vurdert ut ifra sikkerhet, kompleksitet og pris. Til tross for høyest pris og vekt falt valget på to propeller med en motor per propell fordi sikkerheten ble vektet høyt.</p>
<p>3. Supplering av oppdrift</p>  <p>Figur 1.11: Illustrasjon av 2. stk. vinger [11].</p>	<p>For supplering av oppdrift ble det vurdert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En kanal rundt propellene.</li> <li>- Vinger.</li> <li>- En autogyro.</li> </ul> <p>Disse ble vurdert oppimot sikkerhet, kompleksitet og funksjonalitet. Vinger ble et foretrukket valg med en jevn utfyllelse av alle kriteriene, der kanalen ville bidra til for lite sikkerhet og en autogyro ansås som for kompleks.</p>
<p>4. Propellskjerming</p>  <p>Figur 1.12: Illustrasjon av en letning-/landingsone [11].</p>	<p>Det ble valgt å se bort ifra en mekanisk løsning på en sikkerhetsfunksjon for skjerming av propellbladene. Løsning ble å definere landing og lettings soner som fjerner dette behovet. De andre alternativene resulterte i for høy kompleksitet og et noe lavt bidrag til sikkerhet.</p>

Tabell 1.1 forts.

Figur	Begrunnelse
<p>5. Antall propellblader</p>  <p>Figur 1.13: Illustrasjon av to propellblader [11].</p>	<p>For propellblader ble det vurdert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- To blader.</li> <li>- Tre blader.</li> <li>- Fire blader.</li> </ul> <p>Disse ble vurdert opp imot sikkerhet, kompleksitet og pris. Sikkerheten økte med antall blader, men det samme gjorde kompleksiteten og prisen. Det mest attraktive ble to propellblader.</p>
<p>6. Sammenfolding av propeller</p>  <p>Figur 1.14: Illustrasjon av mekanismen for sammenfolding [11].</p>	<p>En av løsningene for plassbesparelse var en funksjon som kunne sammenfolde propellbladene. Her ble det vurdert flere muligheter for sammenfolding i forskjellige retninger.</p> <p>Valget falt på en leddet versjon der bladene kan brettes innover. Dette ble sett på som den rimeligste løsningen i forhold til pris og kompleksitet.</p>
<p>7. Arm plassering</p>  <p>Figur 1.15: Illustrasjon av armplassering på taket [11].</p>	<p>For plassering av armene ble det vurdert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- På toppen.</li> <li>- På midten.</li> <li>- I bunn.</li> </ul> <p>Det ble konkludert med at den optimale plasseringen var på toppen. Dette ville gi den mest stabile flyvningen samt at armene ikke kommer i veien for andre funksjoner.</p>
<p>8. Sammenfolding av armer</p>  <p>Figur 1.16: Illustrasjon av sammenfoldingen av armene [11].</p>	<p>Den andre løsningen for plassbesparelse var sammenfoldingen av armene. Her ble det vurdert flere alternativer, men de mest aktuelle var:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Teleskopering.</li> <li>- Sammenfolding ved hjelp av ledd.</li> </ul> <p>Det var sistnevnte som ble det foretrukne valget med et redusert bidrag til kompleksitet. Men teleskopering ble også tatt videre som bidro til en kombinasjonsløsning på sluttproduktet.</p>

For materialvalg ble det vurdert fem ulike materialtyper: tre, metall, plast, kompositt og keramer. Valget ble basert på sammenligninger av vekt, pris og CO2 avtrykk i forhold til materialenes styrkeegenskaper. Det ble også tatt høyde for resirkuleringsmuligheter for å sikre en miljøvennlig løsning. Den foretrukne materialtypen var metall og det ble videre vurdert magnesium, aluminium og zink. Titan ble raskt utelukket grunnet pris og utfordringer knyttet til maskinering. Valget falt på aluminiumslegeringen EN AW 7075 T651 og EN AW 7075 T6.



**Figur 1.17: Konseptforslaget til Tarek, her i utfoldet tilstand. [11].**

Opphengsarmene består hovedsakelig av tre elementer: en vinge, en teleskopprofil og motorer. Ved sammenfolding teleskoperes den ytterste profilen inn i vingen. Dette gjøres med en elektrisk motor som roterer et gjenget stag som trekker profilen inn. Deretter roteres opphengsarmene om en aksling som også drives av en elektrisk motor. Det er ikke utviklet en mekanisk låsing av armene i flymodus eller kjøremodus.



**Figur 1.18: Figuren viser dronemodulen festet til kabinmodulen. Til venstre ser man dronemodulen i flymodus og til høyre ser man at opphendet er sammenfoldet og i kjøremodus [11].**

Som en konsekvens av at vingene opptar mye plass og at rotasjonspunktene til armene er parallelt plassert, vil ikke sammenfoldingen bli helt optimal. I kjøremodus vil dronemodulen bygge ut i bredderetning.

### 1.4.5 Oppsummering og forutsetninger for videre arbeid

På bakgrunn av erfaringer fra tidligere arbeid, egne vurderinger og samtaler med hovedveileder Jan Kåre Bøe, er det tatt følgende slutninger som danner utgangspunktet for videre arbeid med dronemodulen:

- Dolphin Sky skal være et kombinasjonskjøretøy som benytter seg av chassis/rammeverket fra småbilkonseptet Dolphin. Det skal altså være en modulbasert svevefunksjon som enkelt kan implementeres til bilversjonen.
- Hver propell skal bestå av to propellblader og skal monteres direkte på motorakslingen.
- Armenes innfestningspunkt skal være på toppen av taket. Det antas å være mye tilgjengelig plass, og plasseringen vil gi en god stabilitet i luften.
- Det tas utgangspunkt i chassis løsningen til Thomas der dimensjonene på rammeverket legger grunnlaget for innfestningen mellom dronemodul og kabinmodul.
- Armkonfigurasjonen skal bestå av seks armer av sikkerhetsmessige årsaker, med én motor per arm.
- Det skal være en ballistisk fallskjerm plassert i senter av dronemodulen.

### 1.5 Eksisterende løsninger

For å kartlegge hvilke løsninger som allerede eksisterer blir det utredet for både kommersielle og konseptuelle versjoner av persondroner og kombinasjonskjøretøy. Hensikten med en slik undersøkelse er å etablere et inntrykk av hvor langt utviklingen har kommet i en global setting. Løsningene kan også brukes til inspirasjon av design og/eller se om det er noen utelatte behov som gjør at Dolphin Sky kan skille seg ut.

#### 1.5.1 Ehang 184



**Figur 1.19: Ehang 184 viser dronen i sin helhet til venstre [12]. Til høyre ser man dronen når propellarmene er foldet sammen, i denne konfigurasjonen er det fortsatt mulig å åpne dørene [13].**

Ehang 184 ble introdusert på CES (Consumer Electronics Show) i 2016. Dette anses som verdens første passasjerdrone. Dronen har plass til én person og er et selvkjørende transportmiddel over korte avstander. Hovedrammen er laget av karbonfiber og epoxy, mens øvrige komponenter er produsert i en aluminiumslegering som er mye brukt i flyindustrien. Dronen har åtte propeller, der

to er plassert på hver arm og er kontraroterende. Hver propell er individuelt drevet av en elektrisk motor. Det kinesiske selskapet som står bak utviklingen har øynet muligheten for å anvende dronen til taxitjenester, og i den sammenheng gjennomført prosjekter i både Dubai og Nevada i USA. Dronen har ifølge Ehang gjennomført en rekke suksessfulle testflyvninger, både ubemannet og bemannet.

### 1.5.2 Pop.Up og Pop.Up Next

Den 7. mars 2017 under “The International Geneva Motor Show” hadde Airbus og Italdesign verdenspremiere på konseptet Pop.Up. Deres samarbeid bygde på den økende problematikken rundt trafikkaos i storbyer. Ved å kombinere deres respektive erfaringer dannet de grunnlag for å utvikle et urbant transporteringsmiddel som utnytter både veibanen og luftrommet.



Figur 1.20: Pop.Up konseptet [14].

PoP.Up er modulbasert, bestående av en kabinmodul, kjøremodul og en dronemodul. Kabinmodulen er enten montert til kjøremodulen eller dronemodulen. Ved behov for en flyvning tilkalles dronemodulen fra kabinen. Dronemodulen er selvkjørende og kobles automatisk på taket. Deretter transporteres kabinen i luftrommet til en ny kjøremodul plassert et annet sted. Slik blir dronemodulene og kjøremodulene brukt felles for alle kjøretøyene. Både i kjøremodus og flymodus er styringssystemet autonomt og drivkraften er tiltenkt å være full elektrisk.



Figur 1.21: Pop.Up Next konseptet [15].

Året etter, den 7. mars 2018 ble det vist frem en videreutvikling av konseptet med navn Pop. Up Next. Konseptet har et relativt likt design, men er denne gangen utviklet i et samarbeid med Audi. Audi har bidratt med kunnskaper rundt selvkjørende biler og ekspertise om batterier. De har også vært med på utviklingen av interiøret og den nye versjonen anslås å ha redusert vekten betraktelig. Det er kun gjennomført begrensede funksjonstester med en skalert prototype for disse konseptene.

## 1.6 Oppdragsbeskrivelse

Det skal gjennomføres et produktutviklingsoppdrag som skal ta for seg videreutvikling av dronemodulen på Dolphin Sky. Det skal benyttes moderne produktutviklingsmetoder og prosessen skal dokumenteres i en skriftlig rapport og presenteres ved et muntlig fremlegg. Arbeidet skal bygge videre på tidligere arbeid og tilføye nye synspunkter og løsninger på aktuelle problemstillinger. Det skal gjøres en tilstrekkelig utredning på nåværende utviklingsstatus av prosjektet og andre lignende prosjekter som danner grunnlaget for en kravspesifikasjon og viktige produkttegenskaper.

Dronemodulen skal utvikles relativt isolert fra resten av dronebilen, det skal derfor fokuseres mest på funksjoner og egenskaper som kun omhandler denne. Hovedfokuset ligger på å utvikle et sammenfoldbart oppheng til propell- og thrustersystem. Dronebilen skal kunne gjennomføre flyvninger og kjøring på veibanen med dronemodulen tilkoblet taket. Det må derfor være en mekanisme som folder dronemodulen til akseptable dimensjoner som tillater kjøring på vei, parkering og kjøring inn garasjeporter.

Det skal 3D CAD modelleres et konseptforslag med tekniske tegninger og anvisninger. Konseptet skal dimensjoneres for å ivareta konstruksjonssikkerhet og det skal legges til rett for sikkerhetsfunksjoner som ivaretar brukssikkerheten.

## 1.7 Problemstillinger og teknologiske flaskehalser

### Problemstillinger

- 1) Hvilke eksisterende løsninger finnes (både kommersielle og konseptuelle) og hvor langt har utviklingen kommet? Hvilke fordeler og ulemper har de eksisterende alternativer og hvordan kan de tilpasses gjeldene utviklingsarbeid?
- 2) I hvor stor grad må opphengsarmene sammenfoldes for god brukervennlighet og funksjonalitet? Og hvordan sikre både optimale fly- og kjøreegenskaper?
- 3) Hvilke sikkerhetstiltak og funksjoner er nødvendig for å sikre trygg bruk og ferdsel av dronebilen før, under og etter flyvning?

### Teknologiske flaskehalser

- Det er avgjørende for produksjonskostnadene at dronemodulen designes med en viss symmetri. Det er seks opphengsarmer og det er til stor fordel hvis disse designes identisk.
  - Det er ønskelig å benytte mest mulig standardkomponenter og standardiserte profiler.
  - Sammenfoldingen av opphengene må være tilstrekkelig for at dronebilen skal kunne benyttes til normal ferdsel på veibanen, parkering på standard parkeringsplass og innkjøring gjennom standard garasjeport. Døren til kabinen må ikke hindres fra å kunne åpnes.
  - Utfoldingen av opphengene må kunne være tilstrekkelig for at dronebilen skal kunne oppnå god stabilitet i luften.
  - Armkonfigurasjonen i flymodus må tillate at noen motor slutter å fungere og fortsatt opprettholde stabilitet.
-

## 2 PROSJEKTPLAN

*Hensikten med en prosjektplan er å tilegne en tidlig forståelse av prosjektets forløp og omfang. Ved å fordele og estimere ressursbruken på ulike aktiviteter i prosessen, sikres det at ingen viktige elementer uteblir. Arbeidsplanen vil også gi en indikasjon på tid til rådighet, og deretter nødvendige begrensninger for å produsere et mest mulig helhetlig produkt.*

### 2.1 Prosjekt målsettinger

Hovedmålet med oppgaven defineres tidlig for å kontinuerlig kunne kontrollere at prosjektets utvikling holdes på rett kurs. Det benyttes også delmål som er mer konkretisert og skal sikre fremgang i prosjektet og at hovedmålet nås.

#### 2.1.1 Hovedmål

Hovedmålet med gradsarbeidet er:

**«Utrede, utvikle og designe et sammenfoldbart oppheng til propell- og thrustersystem som ivaretar både konstruksjons- og brukssikkerhet. Produktet skal enkelt kunne implementeres som en dronemodul til småbilkonseptet Dolphin. Hele prosessen skal dokumenteres i form av en rapport med tegninger og tekniske anvisninger».**

#### 2.1.2 Delmål

Delmålene i prosjektet danner den kritiske veien i tidsplanen og må utføres i følgende rekkefølge:

1. Utføre nødvendig bakgrunnsarbeid, ferdigstille prosjektplanlegging og klarlegge metodisk tilnærming.
2. Redegjøre for relevant teori og teknologi som kan benyttes til utvikling og inspirasjon av designet.
3. Utarbeide en produktspesifisering som tilfredsstillende gir krav og velge endelig konsept basert på viktige produkttegenskaper.
4. Utføre nødvendige grunnlagsberegninger, FEM analyser og ferdigstille 3D CAD design.
5. Ferdigstille produksjonsmetoder og utføre kostnadsanalyser.
6. Ferdigstille rapport, fotorenderinger, evalueringer og konklusjoner.

### 2.2 Tids- og arbeidsplan med milepeler

I tabell 2.1 på neste side følger prosjektets tids- og arbeidsplan. I tabellen er delmålene delt inn i ulike aktiviteter som må utføres for at delmålene skal oppnås. Når delmålene er oppnådd markeres dette med symbolet «✓».



Tabell 2.1: Tids- og arbeidsplan der én boks representerer én ukes arbeid.

Delmål	Aktiviteter	Januar	Februar	Mars	April	Mai
1	Utrede Dolphin prosjekter	■				
	Utrede eksisterende løsninger	■				
	Prosjektplan og begrensninger		■			
	Metodebruk		■ ✓			
2	Redegjøre for teori		■			
	Vurdere relevant teknologi		■ ✓			
3	Produktegenskaper og mål		■			
	Utrede løsningskrav		■			
	Konseptgenerering			■		
	Egenscreening			■ ✓		
4	CAD modellering			■	■	
	Grunnlagsberegninger				■	
	FEM optimering				■	
	Tekniske tegninger					■ ✓
5	Produksjonsmetoder					■
	Kostnadsanalyse					■ ✓
6	Evaluering og konklusjon					■
	Fotorenderinger					■
	Skrive og levere rapport	■	■	■	■	■ ✓

Viktige frister i prosjektet er: **innlevering av rapport 15.05.2019** og **presentasjon 07.06.2019**.

Utover dette spesifiseres datoer for utførte delmål i tabellen under.

Tabell 2.2: Oversikt over milepeler med dato.

Nr.	Utførte arbeidsoppgaver	Dato
1	Det er utredet for Dolphin Sky prosjektet og eksisterende løsninger. Det er laget en prosjektplan, definert problemstillinger, satt begrensninger og klarlagt metodebruken.	12.02.2019
2	Det er redegjort for relevant teori og teknologi.	18.02.2019
3	Det er definert viktige produktegenskaper og målsettinger. Det er utredet for kravspesifikasjoner. Det er generert ulike konsepter og valgt foretrukken konseptløsning.	20.03.2019
4	Det er utført nødvendige beregninger og FEM analyser. Konseptdesignet er CAD modellert og ferdigstilt med tekniske tegninger og anvisninger.	18.04.2019
5	Det er valgt produksjonsmetoder og utført kostnadsanalyser.	01.05.2019
6	Prosjektet er evaluert og diskutert. Det er konkludert med resultater, anbefalinger og videre arbeid. Rapporten er levert.	15.05.2019

### 2.3 Begrensninger

Gradsarbeidet har en estimert tidsramme på 900 timer. Det gjøres derfor begrensninger som kan gi et mest mulig helhetlig resultat av utvalgte problemstillinger. Utelatte fokuspunkter danner grunnlag for videre arbeid. Det er satt følgende begrensninger for oppgaven:

- Det vil ikke gjennomføres FEM analyser for strukturoptimering av komponenter med tanke på opptredende spenninger.
- Det vil ikke gjennomføres grunnlagsberegninger på alle komponentene, kun de som anses som viktigst.
- Det vil ikke gjennomføres utmattingsberegninger. Dette tas høyde for gjennom en estimert sikkerhetsfaktor.
- Det vil gjennomføres en begrenset utredning av materialer. En del av materialegenskapene som benyttes er estimerte verdier og hentet fra nettbaserte kilder.
- Det vil ikke utredes for hvilken motor som skal benyttes, men det velges en løsning som har dimensjoner som kan være aktuelle.
- Det vil ikke utredes og utvikles propellblader eller innfestning til motoraksling. Propellene som benyttes er kun brukt for å visuelt se plasseringen og få et inntrykk av opptatt plass.
- Det vil ikke utredes og utvikles en kabinmodul med optimale egenskaper. Modellen som er brukt er kun for visualisering og vil ikke ha kjøremodulen tilkoblet.
- Det vil ikke prioriteres å se på glideflatene eller opplagringspunkter mellom stegprofilene i teleskoparmene.
- Det vil ikke utvikles og designes låsingsmekanismer for profilene i teleskoparmene i utfoldet eller sammenfoldet tilstand. Det vil heller ikke utvikles en komplett endestopp funksjon i teleskoparmene, men det genereres et forslag som indikerer hvordan en slik løsning kan se ut.
- Det vil ikke utvikles og designes en komplett innlåsingsfunksjon mellom kabinmodul og dronemodul. Det vil kun designes låsingskomponenten tilhørende dronemodulen.
- Det vil ikke utvikles og designes låsingsmekanisme for propellskjerming i utfoldet eller sammenfoldet tilstand.
- Det vil ikke designes en komplett løsning for innfestning av nødlandingssystem (fallskjerm og rakett), kun legges til rette for innfestningspunkter når fallskjermen er utfoldet.
- Det vil ikke gjennomføres en livsløpsanalyse av dronemodulen.
- Det er ikke gjort en omfattende utredning av symbolutforming og ergonomiske faktorer som optimaliserer løsningsforslaget til instrumentpanelet.
- Kostnadskalkylen for prototyping vil baseres på grove estimater.

### 3 METODEBESKRIVELSE

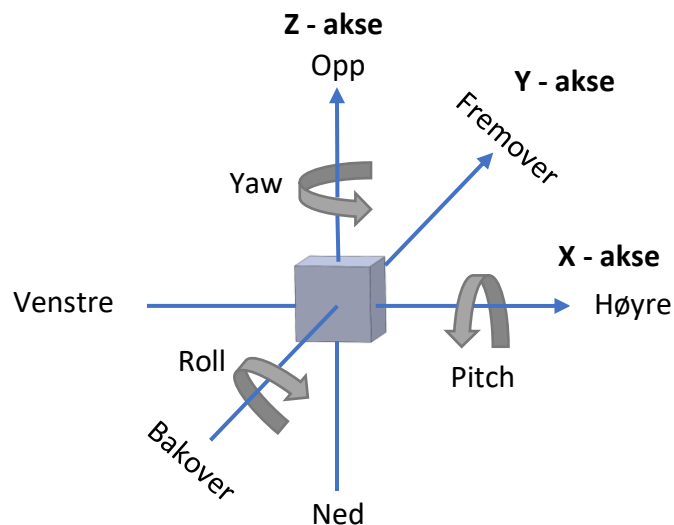
Det skal klarlegges metodebruk for utviklingsarbeidet for å kunne vise til hvordan prosjektet utføres og hvilke hjelpemidler som benyttes. Dette kapittelet vil fungere som et oppslagsverk for ulike begreper, symboler og formler samt andre referanser som benyttes senere i rapporten.

#### 3.1 Terminologi, symboler og formler

I denne seksjonen er det innledningsvis definert et globalt koordinatsystem for dronemodulen. Videre legges det frem en oversikt over ulike begreper, symboler og formler som benyttes i rapporten.

##### 3.1.1 Koordinatsystem

Figuren under viser det aktuelle koordinatsystemet som benyttes ved beregninger og annen orientering av dronemodulen. Det er tatt utgangspunkt i at origo befinner seg i dronemodulens tyngdepunkt. Positiv retning på de tre aksene og rotasjonsretningene er definert med høyrehåndsregelen. Det fremkommer også en orientering i forhold til hvilke akseretninger og rotasjonsbevegelser som utgjør ulike manøvreringsbevegelser av dronebilen.



**Figur 3.1: Koordinatsystem med x-, y- og z akser og rotasjonene pitch, roll og yaw.**

##### 3.1.2 Terminologi og begreper

I tabell 3.1 på neste side følger en oversikt over begreper som benyttes i rapporten. De generelle begrepene er definert av eksterne kilder, mens de spesifikke begrepene er generert internt for å bidra til terminologien i rapporten.

Tabell 3.1: Liste over begreper som brukes i rapporten med beskrivelse.

Generelle begreper	Beskrivelse
FEM	Finite Element Method.
IPD	Integrated Product Development.
CAE	Computer-aided engineering.
CAD	Computer-aided design.
VTOL	Vertical take-off and landing.
Drone (UAV)	Unmanned aerial vehicle, et ubemannet luftfartøy som er fjernstyrt eller selvkjørende.
Quadcopter	Rotorluftfartøy med fire propeller.
Hexacopter	Rotorluftfartøy med seks propeller.
CNC	Computer numerical control (databasert maskinering)
SI -enhet	Internasjonalt system for måling av fysiske størrelser.
BRS	Ballistic recovery system (rednings fallskjerm)
Spesifikke begreper	Beskrivelse
Dronebil	Dronebil er en betegnelse på hva slags transportmiddel Dolphin Sky er.
Kabinmodul	Kabinmodul innebærer fører/passasjer huset hvor sete, styring og all overvåkning befinner skjer.
Kjøremodul	Kjøremodulen er en betegnelse på all installasjon på undersiden av chassiset, drivverk, hjul osv.
Dronemodul	Dronemodul er betegnelsen på all installasjonen på oversiden av taket.
Flymodus	Flymodus er når dronebilen er klar til flyvning og opphenget er utfoldet.
Kjøremodus	Kjøremodus er når dronebilen er klar til kjøring og opphenget er sammenfoldet.
Parkeringsmodus	Parkeringsmodus er når dronebilen står parkert med parkeringsbrems.
Arm (oppheng)	Konstruksjon for å montere thrustere og distansere de fra tyngdepunktet i dronebilen.
Innerste stegprofil	Den stegprofilen som er nærmest senter av dronemodulen når teleskoperingsarmen er utfoldet.
Ytterste stegprofil	Den stegprofilen som er lengst unna senter av dronemodulen når teleskoperingsarmen er utfoldet.

### 3.1.3 Symboler

På neste side følger en tabell over symbolene som benyttes. Først fremkommer det generelle symboler som er definert av eksterne kilder og som er relevant for de aktuelle formlene. Videre er det egendefinert spesifikke symboler som er eksklusive for denne rapporten.

Tabell 3.2: Liste over symboler med beskrivelse og enhet.

Generelle symboler	Beskrivelse	SI-enhet
$F$	Kraft	$N$
$g$	Tyngdekrafts akselerasjon	$m/s^2$
$m$	Masse	$kg$
$a$	Akselerasjon	$m/s^2$
$M$	Moment	$Nmm$
$l$	Lengde	$mm$
$p$	Trykk	$MPa$
$\tau$	Skjærspenning	$MPa$
$F_R$	Resultantkraft	$N$
$V_\infty$	Hastighet langt unna relativt til et objekt	$m/s$
$F_L$	Oppdriftskraft	$N$
$F_D$	Luftmotstandskraft	$N$
$F_N$	Normalkraft	$N$
$F_A$	Aksialkraft	$N$
$\rho$	Masse tetthet	$kg/m^3$
$C_D$	Luftmotstandskoeffisient	-
$v$	Hastighet	$m/s$
$A$	Areal	$mm^2$
$M_A$	Moment om punkt A	$Nmm$
$F_x$	Krefter i x-retning	$N$
$F_y$	Krefter i y-retning	$N$
$\sigma_b$	Bøyespennning	$MPa$
$z$	Avstand fra nøytralaksen til spenningsområde av interesse	$mm$
$I$	Annet arealmoment	$mm^4$
$W$	Motstandsmoment	$mm^3$
$\sigma_a$	Normalspenning	$MPa$
$\sigma_t$	Trykkspenning	$MPa$
$\sigma_s$	Strekkspenning	$MPa$
$\sigma_{jf}$	Jevnførendespenning	$MPa$
$y_i$	Deformasjon der $F_i$ angriper	$mm$
$F_i$	Kraft plassert der deformasjonen $y_i$ oppstår	$N$
$U$	Formendringsenergi	$J$
$E$	E-modul	$MPa$
$P_h$	Hullkanttrykk	$MPa$

Tabell 3.2 forts.

Generelle symboler	Beskrivelse	SI-enhet
$d_h$	Diameter på hull	mm
t	Tykkelse	mm
$\sigma_f$	Flytegrensen til et material.	MPa
$\sigma_{bw}$	Utmattingsgrensen for vekslende bøyspenning ved $10^7$ sykler	MPa
$\tau_w$	Utmattingsgrensen for vekslende skjærspenning ved $10^7$ sykler	MPa
$\sigma_{b,till}$	Tillatt bøyespenning	MPa
$\tau_{till}$	Tillatt skjærspenning	MPa
$\theta$	Vinkel	radianer
Spesifikke symboler	Beskrivelse	SI-enhet
$l_{c,høyde}$	Høyde på chassiset	mm
$l_{c,lengde}$	Lengde på chassiset	mm
$l_{c,bredde}$	Bredde på chassiset	mm
$l_1$	Ytre lengde i flymodus (for dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$l_2$	Ytre bredde i flymodus (for dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$l_3$	Lengde i kjøremodus (for dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$l_4$	Bredde i kjøremodus (for dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$l_5$	Armlengde (for dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$l_6$	Propelldiameter (for dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$l_7$	Bredde på innfestningsflate (mellom dronemodul og kabin), grovspesifikasjon	mm
$l_8$	Lengde på innfestningsflate (mellom dronemodul og kabin), grovspesifikasjon	mm
$l_9$	Diameter på fallskjerm (på dronemodul), grovspesifikasjon	mm
$F_{z,arm}$	Kraft per opphengsarm i z-retning	N
$m_{tot}$	Total bruttovekt på dronebilen	kg
$n_{armer}$	Antall opphengsarmer	-
$M_{b,z arm}$	Bøyemoment på en opphengsarm med vertikal last (z-retning)	Nmm
$A_{Pr,chas}$	Projisert areal av chassis	mm <sup>2</sup>
$A_{Pr,arm}$	Projisert areal av en overdimensjonert opphengsarm	mm <sup>2</sup>
$C_{D,chas}$	Luftmotstandskoeffisient for utformingen på chassis.	-
$C_{D,arm}$	Luftmotstandskoeffisient for utformingen på opphengsarm	-
$\rho_{luft}$	Tetthet på luft	kg/m <sup>3</sup>
$M_{b,z arm}$	Maks bøyemoment i vertikal retning (z-retning)	Nmm
$F_{y,arm}$	Kraft per opphengsarm i y-retning	N
$F_{D,chas}$	Luftmotstand på chassis	N

Tabell 3.2 forts.

Spesifikke symboler	Beskrivelse	SI-enhet
$F_{D,arm}$	Luftmotstand per opphengsarm	$N$
$M_{b,y arm}$	Maks bøyemoment i horisontal retning (y-retning)	$Nmm$
$P_1$	Lengde på den største stegprofil	$mm$
$P_2$	Lengde på den nest største stegprofil	$mm$
$P_3$	Lengde på den nest minste stegprofil	$mm$
$P_4$	Lengde på den minste stegprofil	$mm$
$M_{b,z p1}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_1$ i vertikalretning	$Nmm$
$M_{b,y p1}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_1$ i horisontalretning	$Nmm$
$M_{b,z p2}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_2$ i vertikalretning	$Nmm$
$M_{b,y p2}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_2$ i horisontalretning	$Nmm$
$M_{b,z p3}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_3$ i vertikalretning	$Nmm$
$M_{b,y p3}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_3$ i horisontalretning	$Nmm$
$M_{b,z p4}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_4$ i vertikalretning	$Nmm$
$M_{b,y p4}$	Maks bøyemoment på steg profil $P_4$ i horisontalretning	$Nmm$
$W_{b,z}$	Motstandsmoment om sterk akse (vertikalretning)	$mm^3$
$W_{b,y}$	Motstandsmoment om svak akse (horisontalretning)	$mm^3$
$I_{b,z}$	Annet arealmoment om sterk akse (vertikal belastning)	$mm^4$
$I_{b,y}$	Annet arealmoment om svak akse (horisontal belastning)	$mm^4$
$\sigma_{b,z p1}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_1$ i vertikalretning	$MPa$
$\sigma_{b,y p1}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_1$ i horisontalretning	$MPa$
$\sigma_{b,z p2}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_2$ i vertikalretning	$MPa$
$\sigma_{b,y p2}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_2$ i horisontalretning	$MPa$
$\sigma_{b,z p3}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_3$ i vertikalretning	$MPa$
$\sigma_{b,y p3}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_3$ i horisontalretning	$MPa$
$\sigma_{b,z p4}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_4$ i vertikalretning	$MPa$
$\sigma_{b,y p4}$	Maks bøyespenning på steg profil $P_4$ i horisontalretning	$MPa$
$W_{b,z p1}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_1$ i vertikalretning	$mm^3$
$W_{b,y p1}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_1$ i horisontalretning	$mm^3$
$W_{b,z p2}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_2$ i vertikalretning	$mm^3$
$W_{b,y p2}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_2$ i horisontalretning	$mm^3$
$W_{b,z p3}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_3$ i vertikalretning	$mm^3$
$W_{b,y p3}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_3$ i horisontalretning	$mm^3$
$W_{b,z p4}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_4$ i vertikalretning	$mm^3$
$W_{b,y p4}$	Motstandsmoment for stegprofil $P_4$ i horisontalretning	$mm^3$
$I_1$	Annet arealmoment for $P_1$ om sterk akse	$mm^4$
$I_2$	Annet arealmoment for $P_2$ om sterk akse	$mm^4$

Tabell 3.2 forts.

Spesifikke symboler	Beskrivelse	SI-enhet
$I_3$	Annet arealmoment for $P_3$ om sterk akse	$mm^4$
$I_4$	Annet arealmoment for $P_4$ om sterk akse	$mm^4$
$\tau_{z p1}$	Skjærspenning for stegprofil $P_1$ i vertikalretning	$MPa$
$\tau_{z p2}$	Skjærspenning for stegprofil $P_2$ i vertikalretning	$MPa$
$\tau_{z p3}$	Skjærspenning for stegprofil $P_3$ i vertikalretning	$MPa$
$\tau_{z p4}$	Skjærspenning for stegprofil $P_4$ i vertikalretning	$MPa$
$A_{p1}$	Tverrsnittsareal for stegprofil $P_1$	$mm^2$
$A_{p2}$	Tverrsnittsareal for stegprofil $P_2$	$mm^2$
$A_{p3}$	Tverrsnittsareal for stegprofil $P_3$	$mm^2$
$A_{p4}$	Tverrsnittsareal for stegprofil $P_4$	$mm^2$
$\sigma_{jf,p1}$	Jevnførende spenning i stegprofil $P_1$	$MPa$
$\sigma_{jf,p2}$	Jevnførende spenning i stegprofil $P_2$	$MPa$
$\sigma_{jf,p3}$	Jevnførende spenning i stegprofil $P_3$	$MPa$
$\sigma_{jf,p4}$	Jevnførende spenning i stegprofil $P_4$	$MPa$
$M_1$	Løpende moment der $0 \leq x \leq 365$	$Nmm$
$M_2$	Løpende moment der $365 \leq x \leq 425$	$Nmm$
$M_3$	Løpende moment der $425 \leq x \leq 750$	$Nmm$
$M_4$	Løpende moment der $750 \leq x \leq 810$	$Nmm$
$M_5$	Løpende moment der $810 \leq x \leq 1155$	$Nmm$
$M_6$	Løpende moment der $1155 \leq x \leq 1215$	$Nmm$
$M_7$	Løpende moment der $1215 \leq x \leq 1600$	$Nmm$
$y_1$	Relativ nedbøyning der $0 \leq x \leq 365$	$mm$
$y_2$	Relativ nedbøyning der $365 \leq x \leq 425$	$mm$
$y_3$	Relativ nedbøyning der $425 \leq x \leq 750$	$mm$
$y_4$	Relativ nedbøyning der $750 \leq x \leq 810$	$mm$
$y_5$	Relativ nedbøyning der $810 \leq x \leq 1155$	$mm$
$y_6$	Relativ nedbøyning der $1155 \leq x \leq 1215$	$mm$
$y_7$	Relativ nedbøyning der $1215 \leq x \leq 1600$	$mm$
$y_{tot}$	Total nedbøyning ytterst på stegprofil $P_4$	$mm$
$l_{plater}$	Avstanden mellom monteringsplaten (lengden på gjenget rør)	$mm$
$t_{plate}$	Tykkelsen på monteringsplatene	$mm$
$l_{aksling}$	Avstanden mellom opplagringspunktene for røret.	$mm$
$d_{ytre,aksling}$	Ytre diameter på gjenget rør	$mm$
$d_{indre,aksling}$	Indre diameter på gjenget rør	$mm$
$d_{plate}$	Diameteren på hullet i monteringsplatene	$mm$
$F_{A,aksling}$	Opplagerkraft i punkt A på røret	$N$



Tabell 3.2 forts.

Spesifikke symboler	Beskrivelse	SI-enhet
$F_{B,aksling}$	Opplagerkraft i punkt B på røret	N
$A_{hull}$	Trykkutsatte arealet i hullet på monteringsplatene	mm <sup>2</sup>
$p_{hull}$	Hullkantrykket i monteringsplatene	MPa
$A_{aksling}$	Tverrsnittsarealet for røret	mm <sup>2</sup>
$\tau_{aksling}$	Skjærspenningen i røret	MPa
$\sigma_{b,till} (alu)$	Tillat bøyespenning for aluminiums komponenter	MPa
$\tau_{till} (alu)$	Tillat skjærspenning for aluminiums komponenter	MPa
$\sigma_{b,till} (stål)$	Tillat bøyespenning for stål komponenter	MPa
$\tau_{till} (stål)$	Tillat skjærspenning for stål komponenter	MPa

### 3.1.4 Formler

I tabellen under følger hovedformlene som brukes i rapporten. Ved beregninger utledes disse for å finne ønskede verdier og aktuell beregning markeres med indeksen til gitt formel.

Tabell 3.3: Formelsamling.

Beskrivelse	Formel	Indeks
Newtons andre lov	$F = m \cdot a$	1
Luftmotstand	$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot v^2 \cdot A$	2
Moment	$M = F \cdot l$	3
Bøyespenning	$\sigma_b = \frac{M_A}{I} \cdot z = \frac{M_A}{W}$	4
Normalspenning	$\sigma_a = \frac{F_x}{A}$	5
Skjærspenning	$\tau = \frac{F}{A}$	6
Jevnførende spenning	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$	7
Deformasjon (Castigliano's metode)	$y_i = \frac{\partial U}{\partial F_i}$	8
Deformasjon (Castigliano's metode)	$y_i = \frac{1}{E \cdot I} \int_0^l M \cdot \frac{\partial M}{\partial F_i} dx$	9
Hullkanttrykk	$P_h = \frac{F}{d_h \cdot t}$	10
Nedbøyning av fastopplagret bjelke	$y_i = \frac{F_i \cdot l^3}{E \cdot I \cdot 3}$	11
Vinkel ved maks nedbøyning av fastopplagret bjelke	$\theta = \frac{F_i \cdot l^2}{E \cdot I \cdot 2}$	12

## 3.2 Metodebruk

I utviklingsprosessen benyttes et utvalg produktutviklingsmetoder for å sikre et effektivt og vellykket prosjektforløp. Metodene bidrar også til et bedre sluttresultat ved å sørge for at flere aspekter rundt produktet er tatt høyde for. I denne seksjonen presenteres og forklares de aktuelle metodene.

### 3.2.1 Integrated Product Development (IPD) [21]

IPD er en metodikk som i større grad retter fokus mot å ivareta flere hensyn knyttet til utviklingsprosessen og produktet. Metoden bygger på å kunne skape et mer tverrfaglig samarbeid på tvers av avdelinger som vil si at det er et kontinuerlig samspill gjennom hele prosessen. Det er optimalt om utviklings, produksjons, HMS og økonomiavdelinger samkjører erfaringer fortløpende og får jevnlig tilbakemeldinger fra kunder og markedet. Dette vil bidra til at man enklere kan ivareta miljø- og bærekrafts hensyn, tidlig kartlegge viktige produktegenskaper og kunne oppnå et helhetlig sluttprodukt med en konkurransedyktig pris.

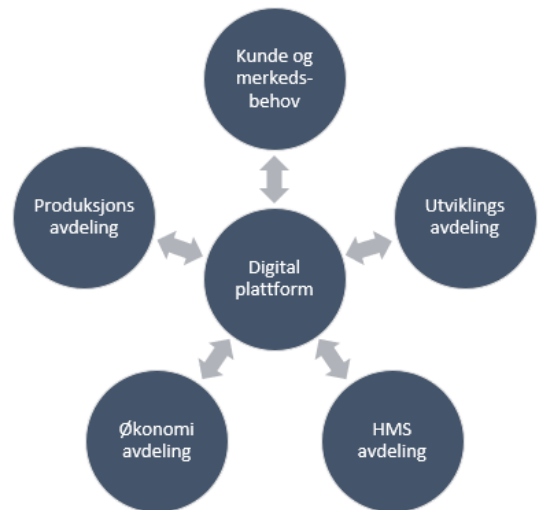
For å sikre at kommunikasjonen mellom de ulike leddene er effektiv, er dataflyt et viktig hjelpemiddel.

Det er avgjørende at det benyttes en felles digital plattform som vil si at ulike dataverktøy kommuniserer med f. eks felles filformater og/eller enkle konverteringer. En god dataflyt vil bidra til økt effektivitet og en redusert gjennomføringstid.

IPD kan utgjøre store forskjeller i organisasjoner eller større prosjekter. For gjeldene gradsoppgave vil IPD benyttes, men i en mindre skala. DRM Associates [22] har definert elleve prinsipper som bør fokuseres på ved bruk av metoden. I tabellen under følger disse prinsippene og hvordan og hvor de anvendes i gjeldene gradsarbeid.

**Tabell 3.4: Oversikt over IPD prinsipper, hvordan de brukes i dette prosjektet og hvilke områder i rapporten de er benyttet.**

Nr.	Prinsipp	Anvendelse	Område
1	Forstå kunde- og markedsbehov og administrer kravene som settes.	Det skal utredes for eksisterende løsninger og vurdere fordeler og ulemper som gir eventuelle markedsbehov. Det skal også gjøres en utredning av viktige produktegenskaper tidlig, dette vil resultere i kravspesifikasjoner som følges opp jevnlig.	Kap. 1



**Figur 3.2: Ved at alle involverte parter i prosessen benytter seg av en digital plattform vil man kunne kommunisere på tvers av fagområder med dataflyt.**

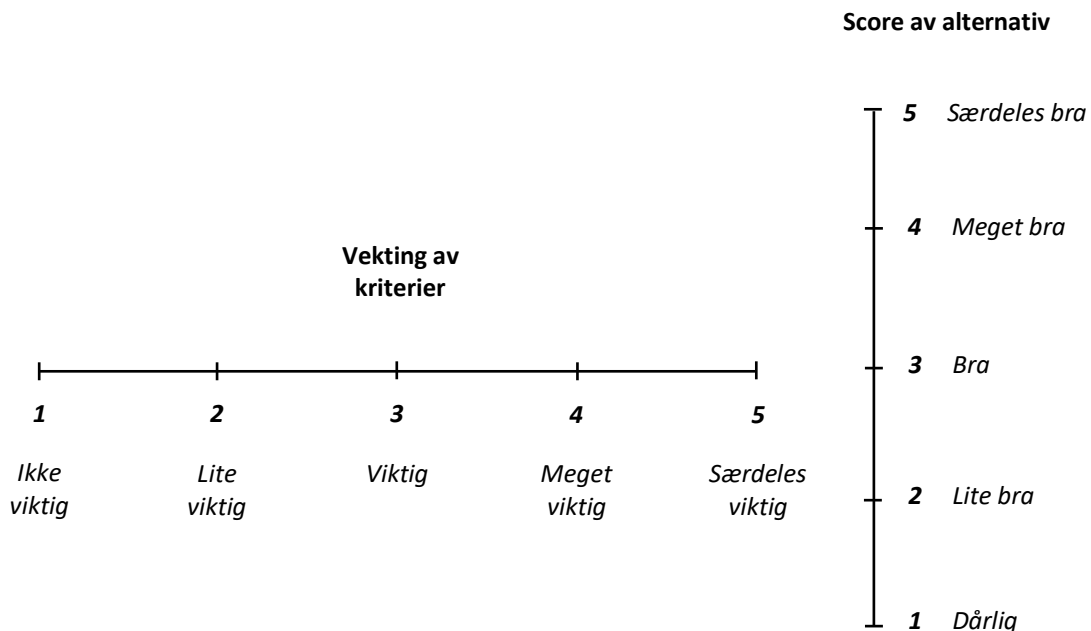
Tabell 3.4 forts.

Nr.	Prinsipp	Anvendelse	Område
2	Planlegging og administrere produktutviklingen.	Det skal gjøres en tidlig planlegging hvor det settes hoved- og delmål for prosjektet. Delmålene deles videre inn i aktiviteter som fører til milepeler. Prosjektets tidsramme skal kartlegges og ressursene fordeles på de ulike aktivitetene.	Kap. 2
3	Bruke produktutviklings team.	Prosjektoppgaven er et selvstendig arbeid, men det skal benyttes av faglitteratur, nettsøk, veiledning og eksperttesting. Det kan også benyttes av eksterne personer for inspirasjon til utvikling da oppgaven ikke er konfidensiell.	Hele
4	Integrere prosessdesign.	Det skal tas tidlig hensyn til fremtidige faktorer som kan påvirke produktdesignet. Dette gjelder spesielt produksjonsmetoder, kostnader, materialvalg, miljø og praktiske brukeregenskaper på sluttproduktet.	Hele
5	Administrere kostnader fra prosjektstart.	Det skal være fokus på økonomiske faktorer ved alle aktiviteter.	Hele
6	Involver leverandører og underleverandører tidlig.	Det skal være fokus på å kunne benytte seg av standardiserte profiler og komponenter i designet for å redusere kostnader ved produksjon.	Hele
7	Fokus på å utvikle et robust design.	Det skal gjøres grunnlagsberegninger av utvalgte elementer og dimensjoneringen skal gjøres iht. gitte sikkerhetsfaktorer.	Kap. 9/11
8	Integrere CAE/CAD verktøy.	Det skal benyttes 3D CAD modellering for produkt designet og tekniske tegninger.	Kap. 10
9	Simulere produktegenskaper elektronisk.	Det gjennomføres FEM analyser på utvalgte elementer som vil bidra til å redusere antall design-produksjon-testing sykler.	Kap. 11
10	Produsere en effektiv utviklingstilnærming.	Det skal brukes mye ressurser på å optimalisere produktegenskaper og kravspesifikasjoner. Konsept-genereringen skal gjøres for hånd og det skal avventes med å benytte 3D CAD verktøy til konsept-designet er mest mulig komplett. Det skal brukes programmer og hjelpemidler som er velkjente og hvor det anses å ha god kompetanse fra før.	Kap. 5/6
11	Forbedre designprosessen kontinuerlig.	Det skal settes begrensinger for aktiviteter som ikke anses å være av høy relevans. Det skal kontinuerlig være fokus på at aktivitetene som gjennomføres tilfører prosjektet positiv fremgang.	Hele

### 3.2.2 Pughs metodikk [23]

Pugh's metodikk er en matematisk fremgangsmåte for å kunne velge den beste løsningen ut ifra ulike alternativer. Metodikken bygger på å sette opp kriterier som anses som viktig for den aktuelle løsningen. Kriteriene kan også vektet i forhold til hverandre ettersom hvor viktig de anses å være. Deretter brukes det en poengskala for å tildele de utvalgte alternativene en score for hvor godt de utfyller gitt kriteriet. Etter summasjon av poeng vil det fremkomme en rangering av alternativene. Man vil dermed kunne gjøre en kvantitativ utvelgelse av aspekter med kvalitative egenskaper.

I denne oppgaven velges det å bruke en skala fra 1-5 for både vektning av kriterier og angitt score til alternativer. Den totale poengsummen for et alternativ finnes ved en summasjon av poengsummen alternativet tildeles på hvert kriterium. Poengsummen alternativet oppnår på et kriterium fastsettes ved en multiplikasjon av tallverdiene der aksene krysser hverandre. Se figur under.



**Figur 3.3:** Horisontalaksen viser en skala over hvor viktig et kriterium er for løsningen. Den vertikale aksene viser hvor godt et alternativ kan utfylle et gitt kriterium.

### 3.2.3 SCAMPER [24]

SCAMPER er et akronym som står for: **S**ubstitute, **C**ombine, **A**dapt, **M**agnify, **E**liminate, **E**laborate, **R**earrange og **R**everse. Disse punktene danner en huskeliste som kan brukes aktivt i en idémyldrings-, konseptgenererings og designprosess. Metoden sørger for at man utforsker mange ulike alternativer og scenarier som man intuitivt ikke anså som hensiktsmessige muligheter. Det kan være funksjoner eller geometriske utforminger som vris og vrenses på. Metoden brukes ofte ubevisst, men skulle det oppstå designutfordringer eller et sterkt ønske om et optimalt design kan SCAMPER bidra med inspirasjon og nye synspunkter.

### 3.3 Løsningsverktøy

Det er kartlagt programvarer og hjelpemidler som anses å være best for gjeldene arbeid. Disse fremkommer i tabellen under.

**Tabell 3.5: Oversikt over programvarer og andre hjelpemidler som er benyttet i prosessen.**

Verktøy	Anvendelse	Område
Microsoft Word 2016	Rapportskriving, tabeller og figurer.	Hele
Microsoft Excel 2016	Føring av timer og produksjon av grafer.	Kap. 12
SOLIDWORKS 2017	CAD modellering, fotorenderinger og tekniske tegninger.	Kap. 10
Ansys Workbench 19.2	FEM analyser	Kap. 11
Tegnesaker (blyant, penn, linjal og passer)	Alle løsningsalternativer og noen figurer er håndlagde skisser.	Kap. 1/4/5/6
CamScanner 2019 (Iphone applikasjon)	Brukt til å digitalisere håndlagde skisser.	
Paint.NET	Brukt til redigering av figurer.	
CES Edupack	Materialdata.	Kap. 12

### Litteraturstudie

Litteraturstudie er en utredning av tilgjengelig tekstmateriell eller figurer som kan benyttes i ulike deler av oppgaven. Studiet danner grunnlaget for tilegnet kunnskap og inspirasjon i utviklingsprosessen. I tabellen under følger søkerhistorikken på de områdene som anses å være viktigst.

**Tabell 3.6: Tabellen viser hvilke områder det er gjennomført en litteraturstudie og hvilke seksjoner litteraturen er benyttet. Det fremkommer også søkersted og en liste over baseuttrykk og breddeuttrykk som ble kombinert ved søking. Det ble også søkt på norsk der det var aktuelt.**

Område	Seksjon	Søkersted	Baseuttrykk	Breddeuttrykk
Innledning	1.1	google.com	Urbanization, traffic, transport system	Environment, increasing, consequence
Eksisterende løsninger	1.5	google.com	Drone, helicopter, plane, quadcopter, hexacopter	Manned, passenger, piloted, autonomous, transport, car, concept, commercial
Teoretisk grunnlag	4.1 4.2 4.3	amazon.com amazon.co.uk	Drone, micro helicopter, multi copter, hexacopter	Technology, design, construction, flying, aerodynamic, stability, configuration
Teknologiske løsninger	4.7	google.com	Drone, helicopter, plane, quadcopter, hexacopter	Foldable, attachment, telescope, quick coupling
Nødlanding	11.2.1	google.com	Parachute, rescue system	Plane, helicopter, drone

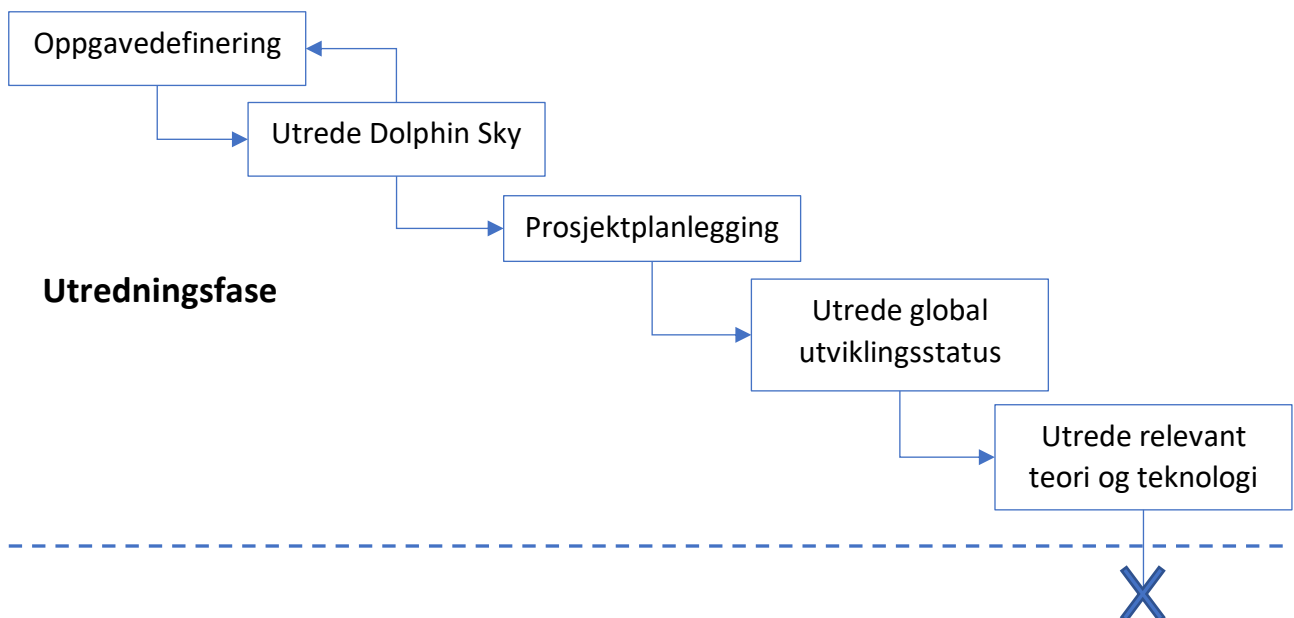
### 3.4 Kvalitetssikring

For å kvalitetssikre at alle prosesstrinnene i prosjektet utføres på en effektiv og riktig måte er det benyttet ulike hjelpemidler:

- Prosessen og produktet kvalitetssikres iht. NS-EN ISO 9000 og ISO 9001 (kapittel 7). [55]
- De fleste formler hentes fra håndboken tekniske tabeller [41]. Andre formler skal hentes fra annen anerkjent litteratur.
- Alle beregninger skal utføres iht. kjente metoder og kvalitetssikres gjennom eksperttesting [35].
- Produksjonsmetoder skal kvalitetssikres med eksperttesting [52].
- Dronemodulen skal dimensjoneres iht. selvbyggerforskriften (BSL B 3-1) [27].
- Tekniske tegninger skal utføres iht. ISO 128. [56]

### 3.5 Prosesstrinn

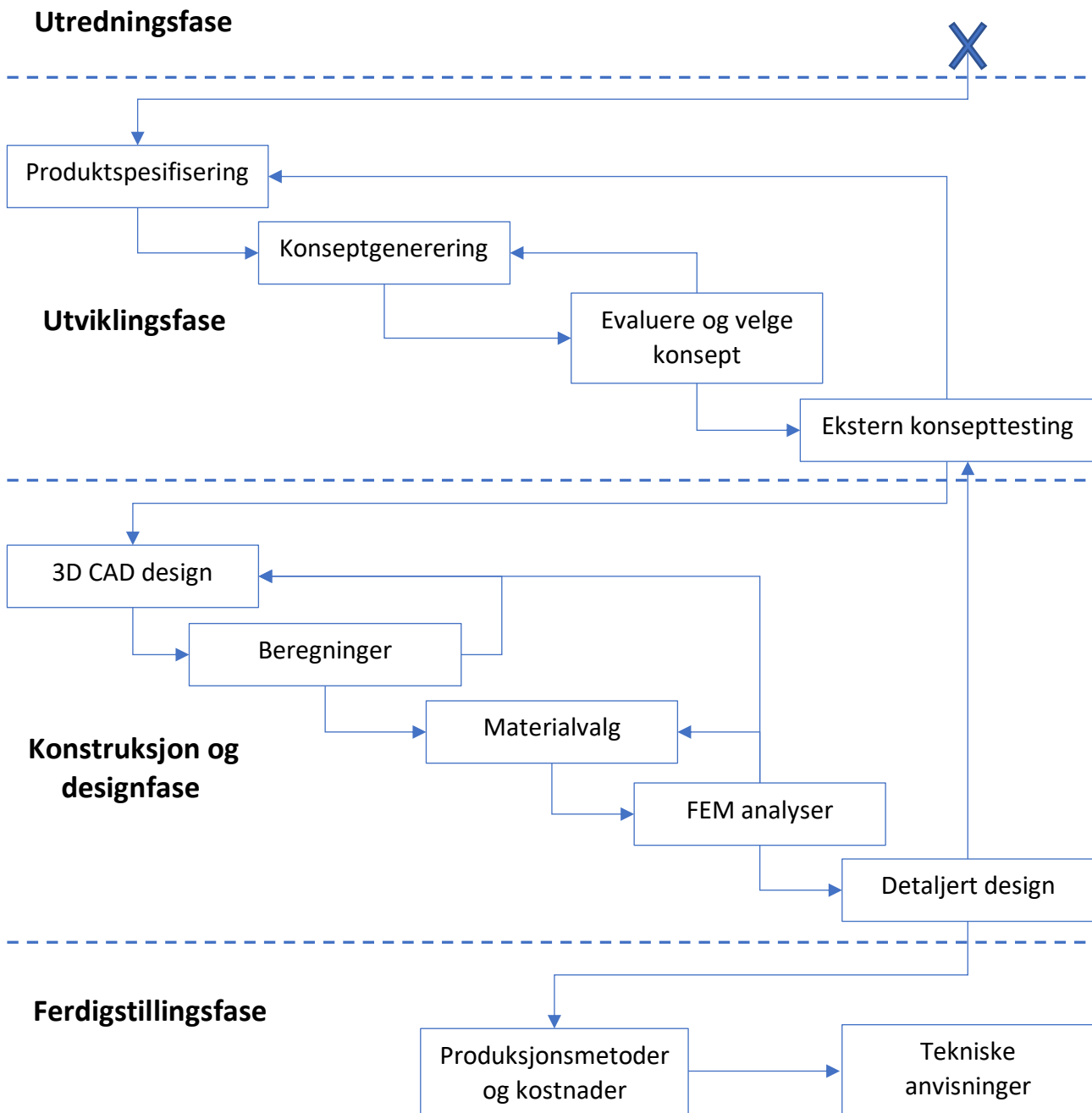
Hele utviklingsprosessen i prosjektet er skjematisk fremstilt i figuren under og på neste side. Hensikten med dette er å kartlegge sammenhengen mellom ulike prosesstrinn slik at man kan gå tilbake til en tidligere aktivitet for å utbedre eventuelle utfordringer og uforutsette problemstillinger.



**Figur 3.4: Oversikt over progressive prosesstrinn i utviklingsarbeidet. De inntegnede pilene indikerer overganger mellom ulike aktiviteter. Når en pil peker tilbake til en tidligere aktivitet etableres en forbedringssløyfe.**

**Utredningsfase:**

Her er det en forbedringssløyfe mellom oppdragsdefinering og utredning av Dolphin Sky prosjektet. Her vil oppgaven bli tydeligere desto større kunnskapen om Dolphin Sky er. Figuren fortsetter på neste side.



Figur 3.4 forts.: Blått kryss markere fortsettelsen på prosessen.

Utviklingsfasen:

Her defineres viktige produkttegnaker før konseptgenereringen begynner. Det vil være en egen forbedringssløyfe ved å fortløpende vurdere ulike konsepter. Det valgte konseptet testes for eksperter som muligens kommer med innspill som endrer tidligere arbeid i fasen.

Konstruksjon og designfasen:

Her gjøres 3D CAD modelleringer og beregninger om hverandre. Det testes ulike materialer og gjøres FEM analyser. Ved ferdigstilling av designet kan det foretas enda en eksperttest.

Ferdigstillingsfasen:

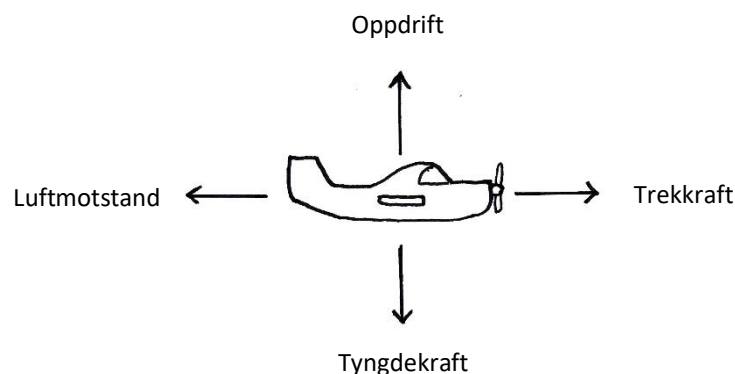
Her klargjøres alle produksjonsmetoder og kostnadsestimater. Og det lages tekniske tegninger og anvisninger.

## 4 TEORETISK OG TEKNOLOGISK GRUNNLAG

I dette kapittelet redegjøres det for teori som er relevant for utvikling av dronemodulen. Det utredes også for tekniske prinsipper som er tatt i bruk ved eksisterende produkter med lignende problemstillinger. Dette for å innhente inspirasjon til utvikling og design.

### 4.1 Droneflyvning og manøvrering

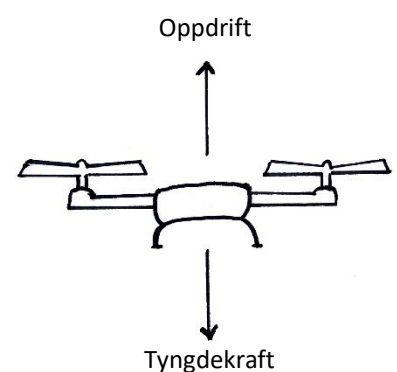
Teorien bak en droneflyvning og en vanlig flyvning baserer seg på de samme prinsippene. Det er i hovedsak fire krefter som må tas hensyn til: tyngdekraft, oppdriftskraft, trekraft og luftmotstand. Figuren under illustrerer hvordan disse kreftene påvirker et fly.



Figur 4.1: De fire kreftene som virker et fly.

Tyngdekraften som virker på flyet blir satt ut ifra totalvekten og tyngdekraftens akselerasjon. Oppdriften blir forårsaket av hastighet i bevegelsesretningen og utforming på vingene som skaper en trykkforskjell på over- og undersiden. Disse kreftene er motstående som vil si at når oppdriften er større enn tyngdekraften vil flyet bevege seg oppover og omvendt dersom tyngdekraften er størst. Trekraften oppstår ved at motoren dytter luft bakover som vil si at luften også dytter flyet framover. Som et resultat av fremdrift vil det oppstå en luftmotstand. Flyet akselererer framover når trekraften er større enn luftmotstanden og ved konstant hastighet vil disse kreftene være like store.

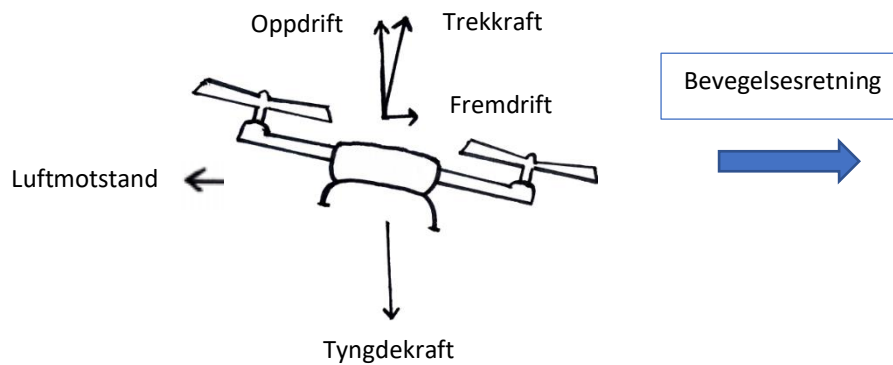
En VTOL drone er ikke avhengig av fremdrift får å bevege seg oppover. I vertikal retning kan dronen bevege seg oppover, nedover eller sveve stillestående. Dette kan gjøres ved å justere turtallet på propellene. Økt turtall gir økt oppdriftskraft. Her kan propellene sammenlignes med vingene på et fly. Propellene beveger seg i en retning som står vinkelrett på oppdriftskraften, denne hastigheten samt utformingen på propellbladene vil sammenlignet med et fly skape en trykkforskjell på over- og undersiden av bladet. For å benytte seg av de tre frihetsgradene trenger dronen hovedsakelig å justere turtallet etter tyngdekraften. Når oppdriften er større enn tyngdekraften beveger den seg oppover, er den mindre går den nedover og er kreftene like store vil drone sveve stillestående.



Figur 4.2: Kraftene som påvirker dronen ved vertikale bevegelser.



Bevegelse av dronen i det horisontale plan som er fremover, bakover, høyre og venstre gjøres på samme måte. Dette fordi propellene på dronen somregel er symmetrisk plassert. Hvis dronen for eksempel skal bevege seg fremover øker man turtallet på de bakre propellene og/eller reduserer turtallet på det fremre propellene. Dette medfører at fremre del av dronen peker skrått nedover som illustrert på figuren under.

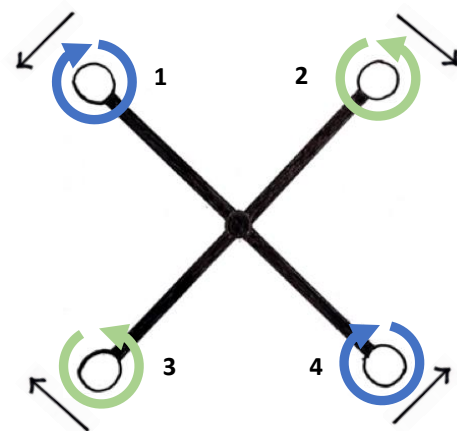


Figur 4.3: En drone sett fra siden som beveger seg fremover.

I en slik bevegelsessituasjon vil trekraften, produsert av propellene, bli dekomponert. Komponenten som peker oppover vil gi oppdrift og jobbe mot tyngdekraften og komponenten som peker i bevegelsesretningen vil jobbe mot luftmotstanden og skape fremdrift.

Hver propell som roterer vil også skape et torsjonsmoment som virker på opphenget i motsatt retning av rotasjonen. Det vil si at om alle propellene hadde vært like og rotert samme vei, ville hele dronekroppen rotert i motsatt retning. For å utligne disse kreftene er det nødvendig at man etablerer propellpar som roterer i ulike retninger. På figuren under følger en skisse av en drone med fire propeller.

For å kunne rotere dronen (yaw manøvrering) i ønsket retning bruker man torsjonskreftene som oppstår i hver opphengsarm. På figuren ser man rotasjonsretningen på propellene og kraftkomponenten til hver propell som viser reaksjonsretningen. I dette eksempelet roterer propell 1 og 4 med klokken og propell 2 og 3 mot klokken. Hvis dronekroppen skal rotere med klokken og i tillegg holde sin vertikale posisjon i luften er det viktig å samkjøre propellparene. I det tilfellet må man øke turtallet på propell 2 og 3. Da vil summen av torsjonskreftene være størst med klokken. For å sørge for at dronen beholder sin vertikale posisjon, må man også redusere turtallet på propell 1 og 4, slik at oppdriftskraften ikke overstrider tyngde-kraften. Her er det viktig at propellene som danner et propellpar er plassert ovenfor hverandre relativt til tyngde-punktet for å opprettholde stabiliteten.

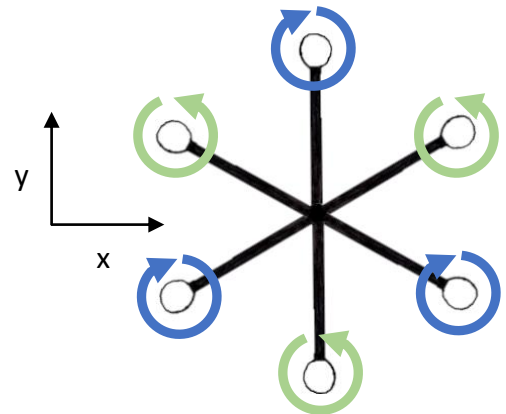


Figur 4.4: Illustrasjon av en drone sett ovenfra med én propell per arm.

## 4.2 Armkonfigurasjon og stabilitet

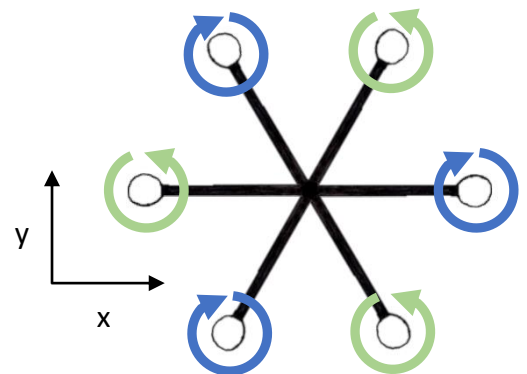
I forrige seksjon ble teorien eksemplifisert med en drone som hadde fire propeller. Som tidligere etablert skal Dolphin Sky utvikles med seks propeller og seks opphengsarmer. For å danne et grunnlag for utvelgelse av armkonfigurasjon er det utredet for de mest vanlige propellkonfigurasjonene på en hexacopter UAV drone. Felles for alle konfigurasjonene er at det er etablert propellpar som roterer i ulike retninger for å utligne torsjonskreftene. Kriteriene for et propellpar er at opphengsarmene skal være parallelle med hverandre, og at propellene har like lang avstand til tyngdepunktet.

Hexa + har seks like lange opphengsarmer med en vinkel på  $60^\circ$  mellom hverandre. Det er en propell som peker fremover og en propell som peker bakover. De fire resterende propellene stikker ut i bredderetningen. En slik konfigurasjon vil ha en rask pitch manøvrering (som er rotasjon om x-aksen). Dette fordi det er tre propeller på hver side av akse som bidrar til pitching. Den vil også kunne virke mer stabil mot denne rotasjonen fordi fremre og bakre propell har en lengere avstand til akse.



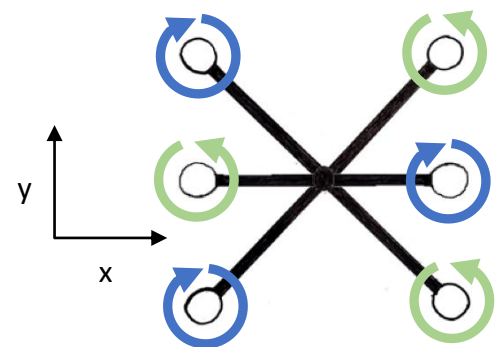
Figur 4.5: Hexa +.

Hexa X har en tilsynelatende lik konfigurasjon som hexa+, men alle propellene er rotert  $30^\circ$  mot klokken. I dette tilfellet peker det to propeller fremover, to bakover og en til hver side, med en vinkel på  $60^\circ$  mellom hverandre. Med denne konfigurasjonen vil man på samme måte som hexa + oppnå en raskere manøvrering og mer stabilitet, men her ved roll manøvrering.



Figur 4.6: Hexa X.

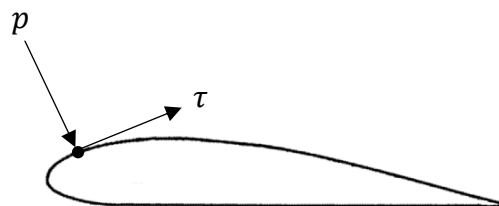
Hexa H har noe annerledes konfigurasjon der opphengsarmene er plassert på to parallelle rader. Dette medfører at de to midtre propellene har kortere armlengder. En slik konfigurasjon vil derfor lage en mindre symmetrisk konstruksjon. Armene på hver side har en  $45^\circ$  vinkling mellom hverandre og de to fremre og bakre armene har en vinkel på  $90^\circ$ . Dette vil redusere antall kombinasjoner av hvilke motorer som kan slutte å fungere for å fortsatt opprettholde stabilitet.



Figur 4.7: Hexa H.

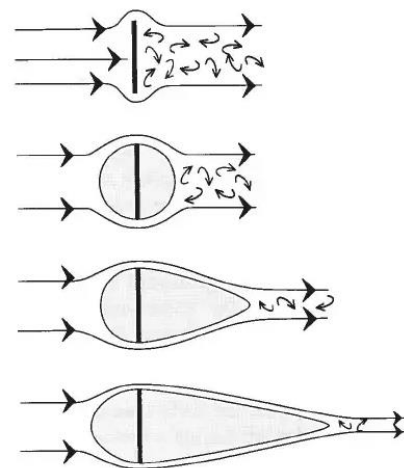
## 4.3 Aerodynamikk [31]

Aerodynamikk er læren om hvordan luftstrømninger og solide objekter oppfører og påvirker hverandre ved interaksjon. De aerodynamiske kreftene og momentene som virker på et objekt oppstår av to ulike årsaker. Trykk- og skjærspenningsfordeling over overflaten til objektet uavhengig av hvor kompleks geometrien nødvendigvis er. For et hvilket som helst objekt som beveger seg gjennom en fluid vil alle overflatene som er i kontakt med f. eks luft bli utsatt for disse fordelingene. I figuren under ser man kreftene virke på et vilkårlig punkt på overflaten. Trykket ( $p$ ) virker normalt på flaten mens skjærspenningen ( $\tau$ ) virker tangentielt.



**Figur 4.8: Trykk og skjærspenning på overflaten til et objekt [31].**

Trykket ( $p$ ) som fordeles på overflaten kan også betegnes som formmotstand som i høy grad blir påvirket av geometrien og utformingen på objektet som beveger seg gjennom luften. Når luftpartikler treffer fronten av objektet vil partiklene bevege seg langs med overflatene. Det vil dannes laminære strømningslinjer som ligger i parallelle lag over overflaten. Hvis geometrien har en ugunstig form med bråe overganger, vil ikke luftpartiklene klare å følge overflaten på samme måte, og det dannes turbulens. I slike områder vil det oppstå et undertrykk sammenlignet med trykket på fremsiden av objektet. Denne trykkforskjellen vil dytte objektet i luftens bevegelsesretning. I figuren til høyre fremkommer det ulike eksempler på utforminger som beveger seg gjennom luft. Man kan se at ved en strømlinjeformet geometri (nederst) er lavtrykksonen drastisk mindre enn for en plate (øverst).

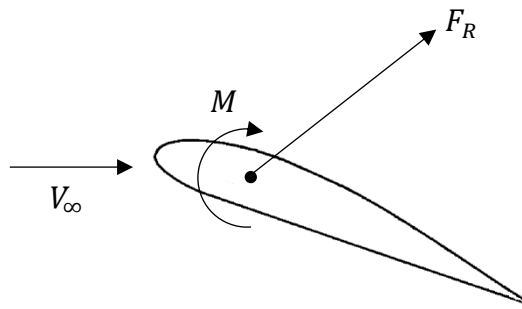


**Figur 4.9: Ulike objekter som beveger seg gjennom luft. Luftmotstanden reduseres fra toppen og nedover [32].**

Skjærspenningen ( $\tau$ ) som oppstår er hovedsakelig et resultat av viskositeten til luften, og friksjonen mot overflaten til objektet. Dette kan også betegnes som friksjonsmotstand, og vil bli påvirket av ruheten og arealet til overflaten. Luftpartikler i direkte kontakt med overflaten blir mest påvirket av friksjonen, og for luftpartikler lengere unna vil motstanden primært komme fra viskositeten. Turbulens vil skape større friksjonskrefter enn ved laminær strømning, ettersom at flere luftpartikler vil komme i kontakt med overflaten. Turbulens kan lettere oppstå på ruge overflater, det er derfor ønskelig å ha en finest mulig overflate som kan utsette dannelsen av turbulens.

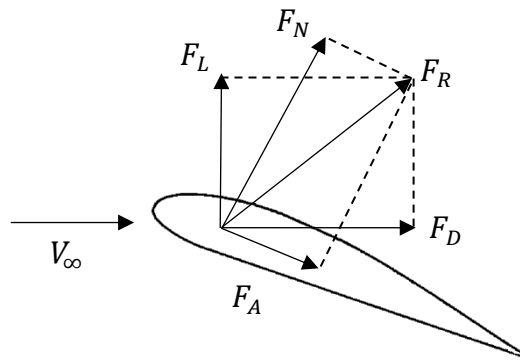
Nettoeffekten av trykket og skjærspenningen, integrert over hele overflaten, danner en aerodynamisk resultantkraft ( $F_R$ ) og et moment ( $M$ ), gitt en hastighet ( $V_\infty$ ) på luften relativt til objektet

et stykke unna.



Figur 4.10: Moment og resultantkraft [31].

Resultantkraften kan videre dekomponeres til oppdriftskraft ( $F_L$ ), luftmotstand ( $F_D$ ), normalkraft ( $F_N$ ) og aksialkraft ( $F_A$ ).



Figur 4.11: Dekomponert resultantkraft [31].

For utviklingen av dronemodulen i gjeldene gradsarbeid vil luftmotstanden være variabelen som er mest aktuell. Luftmotstanden finnes med følgende formel [31]:

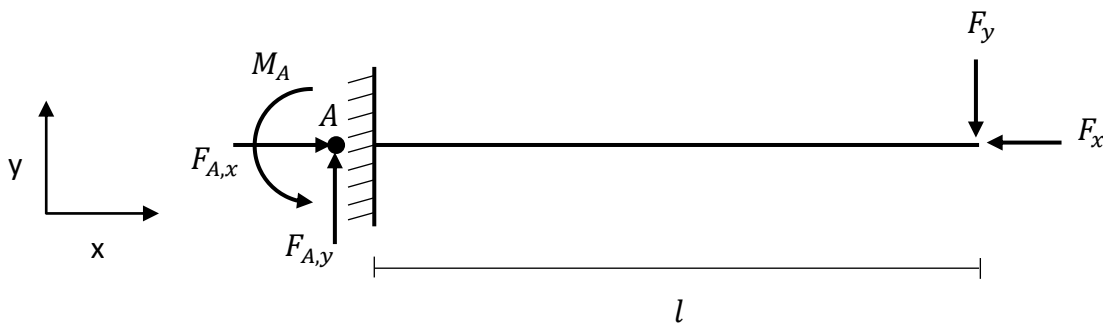
$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot v^2 \cdot A \quad (2)$$

#### 4.4 Statikk og fasthetslære [42][43]

Statikk omhandler krefter og momenter som virker på konstruksjoner som holder systemet i likevekt. Statikk kan anvendes når et legeme står i ro eller beveger seg i konstant hastighet. Forutsetningen for beregningene er at summen av alle krefter og momenter i alle retninger skal bli null. Fasthetslære omhandler mer om hvordan faste stoffer oppfører seg ved påvirkning av blant annet krefter, momenter, spenninger og nedbøyninger.

## 4.4.1 Krefter, momenter og spenninger for en utkragerbjelke

En utkragerbjelke er kun opplagret i den ene enden og er ofte fast opplagret. De statiske beregningene av belastninger på opphengsarmene på dronebilen vil dimensjoneres etter en slik modell. Når det settes på en vertikal last ( $F_y$ ) vil kreftene tas opp som moment og skjærkrefter i opplageret (A). En horisontal last ( $F_x$ ), vil avhengig av retningen på kraften, gi enten aksiale trykk- eller strekkspenninger.

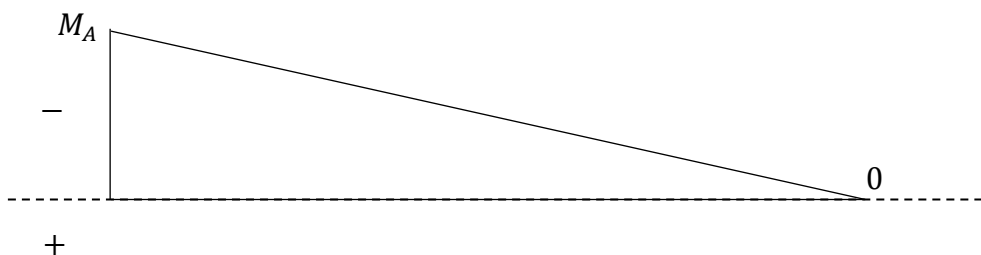


**Figur 4.12:** En fast opplagret utkragerbjelke med en vertikal og horisontal last på enden. Kraftene i opplageret er like store som påsatte laster, som vil si at:  $F_{A,x} = F_x$  og  $F_{A,y} = F_y$

Momentet finnes ved:

$$M_A = l \cdot F_y \quad (3)$$

Momentdiagrammet for bjelken blir:



**Figur 4.13:** Med retningene på lastene fra forrige figur, vil det oppstå strekkspenning på oversiden og trykkspenning på undersiden av bjelken.

Momentdiagrammet viser at maks moment oppstår i punkt A og går gradvis ned til null der lasten opptrer. Ettersom at bøyepeningen blir,

$$\sigma_b = \frac{M_A}{I} \cdot z = \frac{M_A}{W} \quad (4)$$

vil spenningen være størst nærmest opplageret, gitt at motstandsmomentet ( $W$ ) er konstant over hele bjelkens lengde. Videre utover bjelken vil spenningene reduseres lengere ut mot lasten. For å

optimalisere bjelken til aktuelle forhold er det konstruksjonsmessig fornuftig at tverrsnittet ved opplageret er størst og deretter reduseres ut mot lasten. Et teleskoperingsprinsipp vil i utstrakt konfigurasjon ha en slik form som da utnytter momentdiagrammet til å redusere egenvekten.

Aksialkreftene ( $\sigma_a$ ) finnes ved å dele kraften på tverrsnittsarealet. På eksempelfiguren for utkragerbjelken er  $F_x$  en trykkraft som vil gi trykkspenning ( $\sigma_t$ ) gjennom hele bjelken. Hvis kraften er plassert motsatt vei vil det oppstå strekkspenninger ( $\sigma_s$ ). Aksialkraften finnes ved:

$$\sigma_a = \frac{F_x}{A} \quad (5)$$

Skjærkreftene varierer i ulike snitt på bjelken ut ifra de vertikale kreftene som virker parallelt med det aktuelle snittet. Skjærspenningen ( $\tau$ ) finnes ved å dele skjærkraften på tverrsnittsarealet:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Jevnføringsspenning kan finnes med Von mises hypotese:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad (7)$$

#### 4.4.2 Castigliano's metode [34]

Castigliano's metode brukes for å bestemme forskyvninger i lineære systemer basert på den partielt deriverte tøyingsenergien. Ved å benytte generelle former for metoden kan man finne deformasjoner for konstruksjoner utsatt for momenter.

Formelen for deformasjon kan skrives:

$$y_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} \quad (8)$$

Her er U den totale formendningsenergien i delen og  $y_i$  er deformasjonen der hvor  $F_i$  angriper.

Ved partiell derivasjon av U med hensyn på  $F_i$  for man ligningen:

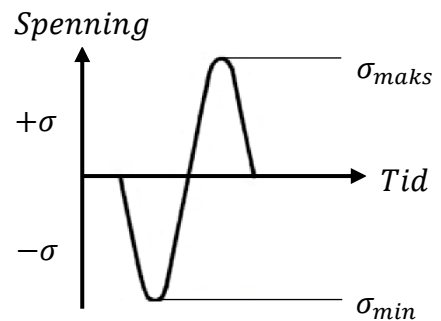
$$y_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} = \frac{1}{E \cdot I} \int_0^l M \cdot \frac{\partial M}{\partial F_i} dx \quad (9)$$

Når annet arealmoment ( $I$ ) varierer med x over lengden av delen man beregner, må de aktuelle verdiene av annet arealmoment holdes innenfor integrasjonstegnet.

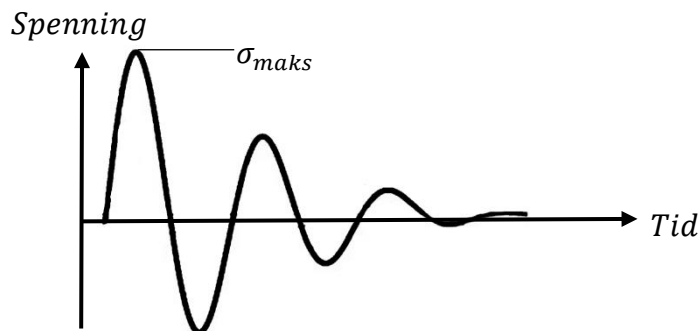
## 4.5 Dynamiske belastninger

Dynamiske belastninger er når en konstruksjon blir utsatt for krefter som varierer med tiden. Disse kreftene kan i mange tilfeller være vanskelig å kartlegge og kontrollere. I dronebilens tilfelle, ved flyvning, kan dette være i form av vibrasjoner fra motorer, varierende trekraft fra thrustere, luftmotstandskrefter ved varierende hastigheter, ulik orientering av dronebilen og vindkrefter. Alle dynamiske påkjenninger bidrar til at konstruksjonen er utsatt for utmatting og det stilles derfor strengere krav til sikkerhet.

Det kan også oppstå støt eller hurtig oppstående pulseringer i konstruksjonen. Dette kan for eksempel forekomme hvis det kommer store vindkast eller dronebilen opplever en rask nedgang i oppdriftskraft. Ved støt vil konstruksjonen oppleve en unormalt høy amplitude på spenningskurven.



Figur 4.14: En syklus som viser at spenningen varierer mellom strekk og trykk over tid.



Figur 4.15: Spenningspuls i konstruksjonen ved støt.

Det vil ikke gjennomføres beregninger for utmatting i gjeldene gradsarbeid. Det vil derfor kun tas hensyn til de dynamiske belastningene gjennom en sikkerhetsfaktor. I tekniske tabeller [41] er det generert en tabell over tillatte belastninger for stål konstruksjoner som utsettes for utsvingene og vekslende belastningstilfeller. Verdiene baserer seg på sirkulære tverrsnitt og glattpolerte overflater. Det oppgis tillatte spenningsnivåer for ulike materialer ved forskjellige spenningsvariasjoner. Faktorene er relativt like uavhengig av stållegering og er satt oppimot flytegrensen til materialet. Det er hurtig vekslende belastninger som anses som worst case, og disse presenteres i tabellen under.

Tabell 4.1: Sikkerhetsfaktorer mot flyt for hurtig vekslende belastninger for s235JRG2.

Spenningsstype	Tillatt spenning	Faktor
Strekk/trykk ( $\sigma_s/\sigma_t$ )	45-70 MPa	5,22
Bøyepening ( $\sigma_b$ )	50-75 MPa	4,7
Vridning/skjær ( $\tau$ )	30-45 MPa	7,83

Ved å benytte slike tillatte spenningsnivåer kan man dimensjonere konstruksjoner med statiske beregninger. Dette ved å benytte faktoren relativt til flytegrensen. Disse verdiene gjelder som sagt kun for én type stål. For andre materialer og legeringer vil verdiene variere.

#### 4.6 Regelverk

Luftfartstilsynet er underliggende Samferdselsdepartementet og er en etat som har fått delegert myndighet etter luftfartsloven, som blant annet gjelder en rekke bestemmelser for luftdyktighet [25]. Utvikling, design og dimensjonering av Dolphin Sky vil gjøres i henhold til relevante forskrifter, spesielt under kategorien luftdyktighet og BSL B [26].

For gjeldene gradsarbeid vil selvbyggerforskriften (BSL B 3-1) være mest aktuell, der formålet med forskriften er å sikre at selvbygde luftfartøy er luftdyktig. Forskriften stiller et konstruksjonskrav som sier at grenselastfaktoren for rotorluftfartøy i normal kategori skal være minst  $+3,5/-1,5$  G [27]. Denne faktoren antas å ta høyde for ulike belastningstilfeller ved dynamiske påkjenninger og støt.

#### 4.7 Teknologiske løsninger

I denne seksjonen utredes det hovedsakelig for løsninger som har hatt lignende problemstillinger som gjeldene gradsarbeid. Men det utredes også for andre typer produkter som innehar spesifikke teknologiske prinsipper som kan inspirere konseptutviklingen.

##### **Rotasjon av opphengsarmer**

Jetpack Aviation har utviklet et persondronekonsept som er på et tidlig 3D renderings stadium. Dronen har seks armer og tolv propeller hvorav de to midterste armene strekker seg i dronens bredderetning. For å kunne parkere dronen på en vanlig bilparkering, er disse armene mulig å folde sammen. Dette gjøres ved å rotere de fremover som vist på figuren under.



**Figur 4.16: Konseptet er kun designet for flyvning. Sammenfolding av resterende armer er derfor ikke hensiktsmessig [16].**



### Opphengsarmer montert i ulike høyder

Hoverbike Scorpion 3 er dronenes svar på en motorsykkel. Den er produsert av Hoversurf og er et fullelektrisk enmanns kjøretøy. Den er fullt funksjonell og har gjennomgått en rekke testflyvninger. Kjøretøyet er designet for å være kompakt, som vil si at det er ønskelig og plassere propellopphengene tett inntil hverandre. Opphengene er ikke sammenfoldbare, men designet viser et interessant teknisk prinsipp. Propellene er montert i ulike høyder som vist på figuren under. Dette åpner opp muligheten for at eventuelle opphengsarmer kan sammenfoldes ved å plassere den ene armen over den andre.



**Figur 4.17:** Til venstre gjennomføres det en testflyvning av Hoverbike [17]. Til høyre kan man se at propellene på bak og fremsiden er i ulik høyde, for at propellene skal unngå hverandre ved rotasjon [18].

### Teleskopering

Teleskopering er et prinsipp som stammer fra det optiske hjelpemiddelet teleskop. Prinsippet bygger på at man har en hovedprofil hvor det på innsiden finnes profiler med identisk form, men mindre dimensjoner. Dette muliggjør at de indre stegene kan skyves ut og forlenge total lengden. Teleskopering er en nyttig funksjon spesielt for deler eller utsyr som krever lange dimensjoner ved bruk. Transportering eller oppbevaring av slike produkter kan være problematisk, så ved en betydelig reduksjon i opptatt plass etter teleskopering, er produktene mye lettere å håndtere.



**Figur 4.18:** Et gammelt optisk teleskop [30].

Et godt eksempel på eksisterende utstyr som kan ha stor nytte av dette, er stiger. En stige har som hensikt å være lang for å nå opp til utilgjengelige høyder. Hvis stigen ikke er fastmontert, men skal brukes mobilt er det nyttig å kunne redusere dimensjonene for å lettere frakte med seg og oppbevare.



**Figur 4.19:** Til venstre vises stigen i sammenfoldet tilstand og til høyre er stigen fullt utstrakt [19].

### Innfestning mellom dronemodul og kabinmodul

Airbus sitt Pop.Up Next konsept som ble presentert i seksjon 1.5.2 er avhengig av en hurtigkobling for optimal funksjonalitet. Konseptet baserer seg på at dronemodulen kobles fra resten av kjøretøyet når det kun skal benyttes til kjøring på veibanen. Dronemodulen er her selvkjørt og kobles automatisk av og på kjøretøyet etter kommando. Hurtigkoblingen består av en styringspinne i midten og tre låsemekanismer laget i titan. Når dronemodulen er plassert i riktig posisjon roterer innfestningene på taket av kjøretøyet slik at forbindelsen blir fast.



Figur 4.20: Hurtigkoblingen mellom dronemodulen og kabinmodulen på Pop. Up Next [20].

## 5 PRODUKTSPEISIFISERING

*Hensikten med en produktspeisifisering er å definere produktets målsettinger og de viktigste produktegenskapene. Dette vil rette fokuset på de aspektene ved produktet som bør prioriteres, slik at sluttproduktet blir best mulig. Det er også viktig å sette dimensjoner for designrommet, som kan benyttes ved utviklingen og videre beregninger og analyser.*

### 5.1 Produktmålsettinger

**Hovedmålet** med dronemodulen er å kunne gjøre Dolphin Sky luftdyktig på en effektiv og trygg måte, som ivaretar både konstruksjon- og brukssikkerhet. Dronemodulen skal kunne sammenfolde og låse opphengsarmene for propell- og thrustersystem i to forskjellige konfigurasjoner (flymodus og kjøremodus). Sammenfoldingen skal ha fokus på å tilfredsstille brukerens behov og konstruksjonen skal holde seg innenfor en realistisk økonomisk ramme.

**Delmålene** for dronemodulen representerer tre viktige kategorier som spesielt må tas hensyn til for god oppnåelse av hovedmålet:

Designmål: Produktdesignet må være estetisk appellerende og ha en utforming som har gode aerodynamiske egenskaper både i flymodus og i kjøremodus. Designet må også ha fokus på personsikkerhet gjennom robusthet og sikkerhetsfunksjoner.

Brukermål: Alle funksjoner på dronemodulen må være brukervennlige. Det må legges til rette for en god ergonomi, slik at man effektiviserer bruken og samtidig gir brukeren en behagelig opplevelse. Vekten må reduseres for å optimalisere brukeregenskapene, og det må tas hensyn til enkelt vedlikehold.

Økonomiske mål: For å redusere både utviklings- og produksjonskostnadene, må kompleksiteten i produktet være lav. Det er til fordel at produktet også har like deler eller en symmetrisk utforming.

### 5.2 Rangering av viktige produktegenskaper

For utvelgelse av de viktigste produktegenskapene tas det utgangspunkt i delmålene som ble beskrevet over. Det defineres så egenskaper som anses som de viktigste for å utfylle disse målene. Deretter er de ulike egenskapene vektet etter hvor viktige de anses å være relativt til produktet og hverandre. Vektingen gjøres med pugh's metodikk jevnfør seksjon 3.2.2.

I tabellen på neste side følger en oversikt over de utvalgte produktegenskapene med vekting og begrunnelse.

Tabell 5.1: Oversikt over viktige produkttegenskaper. Egenskapene er vektet med en skala fra 1-5 og det fremkommer en begrunnelse for vektingen.

Delmål	Kriterium	Vekting	Begrunnelse
Designmål	Estetikk	3	Et estetisk appellerende design er noe som muligens er mer aktuelt senere i utviklingen. Men det kan i tidligfase legges til rette for et bedre utgangspunkt før ferdigstilling av designet.
	Aerodynamikk	4	Utformingen på del- og helhetsdesign skal ha aerodynamisk utforming som bidrar positivt i både flymodus og kjøremodus.
	Sikkerhet	5	Designet skal i høy grad ta høyde for ulike sikkerhetsaspekter. Det skal være tilstrekkelige med funksjoner og tiltak som sikrer trygg ferdsel i og rundt kjøretøyet. Og konstruksjonen skal være robust.
Brukermål	Brukervennlighet	4	Alle funksjonene skal være enkle å håndtere og være intuitive for brukeren.
	Ergonomi	4	Utformingen på designet må være tilrettelagt for menneskelig kontakt. Utformingen skal bidra til effektiv håndtering og redusere risikoen for skader og/eller ugunstige påkjenninger.
	Vekt	5	Det er ønskelig å redusere vekten til en optimal grense. God energieffektiviteten for kjøretøyet er avhengig av liten vekt. Dette er spesielt viktig ved flyvning da man har begrenset batterikapasitet.
	Vedlikehold	4	Spesielt på et tidlig prototypstadium er det viktig at deler enkelt kan demonteres, skiftes og vedlikeholdes. Men det er også på sluttproduktet ønskelig og enkelt kunne ivareta utstyret.
Økonomiske mål	Kompleksitet	3	Kompleksitet i produktet kan medføre økte kostnader og tidsbruk, men ettersom prosjektet er på et tidlig utviklingsstadium, kan det fortsatt være ønskelig å utrede løsninger selv om kompleksiteten anses som høy.
	Symmetri/like deler	4	Det er til stor fordel at designet er symmetrisk utformet eller har flere like deler. Dette vil spesielt redusere produksjonskostnader.

### 5.3 Metriske grensespesifikasjoner

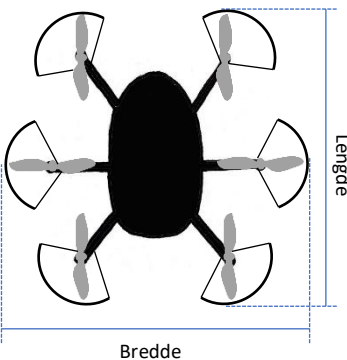
De metriske grensespesifikasjonene danner variasjonsbredden for dimensjonene på dronemodulen. Det skal etableres største og minste verdier for dimensjoner, som vil gi et akseptabelt avgrenset designrom som er basert på realistiske mål. Det skal også tas høyde for variasjonsbredden for vekt.

Denne utredningen har tidligere blitt utført av Tarek-El Gewely [11] og det vil derfor i hovedsak bli lagt fram en oppsummering. Men det vil legges til noen endringer i forhold til at Dolphin Sky prosjektet nå er på et senere stadiet.

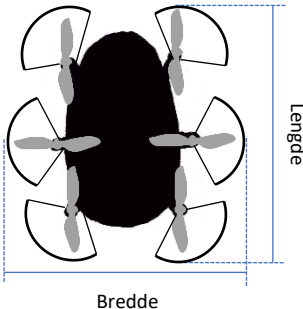
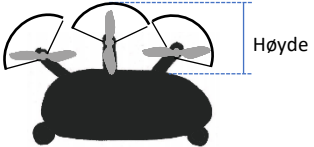
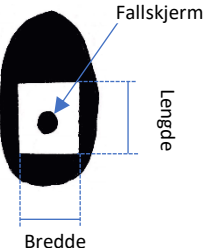
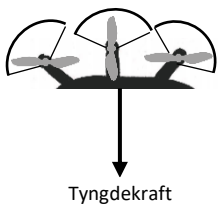
Forutsetninger for grensespesifikasjonene er:

- Det er usikkerheter knyttet til diameteren på propellene. Dette varierer med blant annet antall blader, utforming, bærelast og nødvendig effekt, som er faktorer som kan endres ved et senere stadiet i prosjektet. Men Anders Thømt [9] utredet for ulike propelldiameterer som var avhengig av antall propeller. Med seks propeller ble diameteren satt til **1,3 m**.
- Når dronemodulen er i kjøremodus må den tilpasses i bredden og lengden for veibanen og parkeringsplasser, og i høyden for innkjøring i parkeringshus, garasje og tunnel. Tarek El-Gewely [11] fant ut at det var parkering langs veibanen som var dimensjonerende for bredden, med et maksimum på **2 m**. Standard lengde på en parkeringsplass er **5 m**. I høyden var det innkjøring inn en vanlig garasjeport som var dimensjonerende, med et maksimum på **1,97 m** med klaring.
- Det er også usikkerheter knyttet til dimensjonene på chassiset, men Thomas Magnussen [10] har utredet for noen tidlige dimensjoner og endte opp med en høyde ( $l_{c,høyde}$ ) på **1,36 m**, en lengde ( $l_{c,lengde}$ ) på **2,14 m** og en bredde ( $l_{c,bredde}$ ) på **0,86 m**.
- For understellet og bakkeklaring opp til chassiset anslås det et mål på **0,3 m**.
- Det er holdt av et sirkulært område med diameter på **0,3 m** til en ballistisk fallskjerm i senter av dronemodulen.
- Armlengden fra motorakslingen og til opplagringen på opphengsarmen settes til **1,75 m**.
- Det er anslått at vekten på hele dronebilen med dronemodul, kabinmodul og kjøremodul ender på **450 kg**.

**Tabell 5.2: Metriske grensespesifikasjoner fremstilles med målsatte figurer, beskrivelse og minimum og maksimum dimensjoner.**

Figur	Beskrivelse	Dimensjoner
	<p>Figuren viser dronemodulen i flymodus der opphengene er utfoldet. Her vil dimensjonene bli satt ut ifra hva som er mest egnet for produkttegenskapene, spesielt med tanke på god stabilitet i luften og en begrenset vekt.</p> <p>Armlengden er satt til 1750 mm, bredden på chassis til 860 mm og propell lengden til 1300 mm, som gir minstemålene. Med en propellskjerming vil dimensjonene øke ytterligere.</p>	<p><u>Lengde:</u> 5660 mm – 6000 mm</p> <p><u>Bredde:</u> 5660 mm – 6000 mm</p>

Tabell 5.2 forts.

Figur	Beskrivelse	Dimensjoner
	<p>Figuren viser dronemodulen i kjøremodus der opphengene er sammenfoldet. Det anses som mest optimalt å redusere disse målene så mye som mulig. Minste målet blir derfor satt ut ifra dimensjonene på chassiset og maks målene blir satt ut ifra minste bredde på en parkeringsplass.</p>	<p><u>Lengde:</u> 1250 mm – 1950 mm</p> <p><u>Bredde:</u> 860 mm – 2000 mm</p> <p>Dimensjoner hentet fra Tarek [11] og Thomas [10].</p>
	<p>Figuren viser dronemodulen fra siden i kjøremodus der opphengene er sammenfoldet. Maksimum høyde vil bli satt ut ifra innkjøring gjennom en standard garasjeport. Minimum høyde settes ut ifra et estimat utført av Tarek [11].</p>	<p><u>Høyde:</u> 300 mm – 310 mm</p>
	<p>Figuren viser tilgjengelig innfestningsareal mellom dronemodulen og chassiset (sett ovenfra). Det er holdt av plass til en fallskjerm i midten.</p>	<p><u>Bredde:</u> 600 mm - 860 mm</p> <p><u>Lengde:</u> 600 mm – 860 mm</p> <p>Dimensjoner fra Thomas [10].</p>
	<p>Vekten på dronemodulen skal helst være så liten som mulig. Tarek [11] sin konstruksjon ente opp med en totalvekt på 106,5 kg uten innkjøpte komponenter. Denne konstruksjonen hadde kun fire armer så med seks armer anslås vekten å øke ytterligere.</p>	<p><u>Vekt:</u> 100 kg – 130 kg</p>

#### 5.4 Metriske grovspesifikasjoner

De metriske grovspesifikasjonene vil være en bestemmelse av dimensjonene som skal arbeides videre med. Dette er en tidlig vurdering som gjøres for å kunne tilegne en forståelse av hvilke dimensjoner som er aktuelle og hvordan dimensjonene er i forhold til hverandre. Dette vil gi bedre forutsetninger for konseptgenereringen som gjør at uaktuelle konsepter forkastes tidligere. Man vil også ha et utgangspunkt for å begynne med beregninger, 3D modellering og FEM analyser.

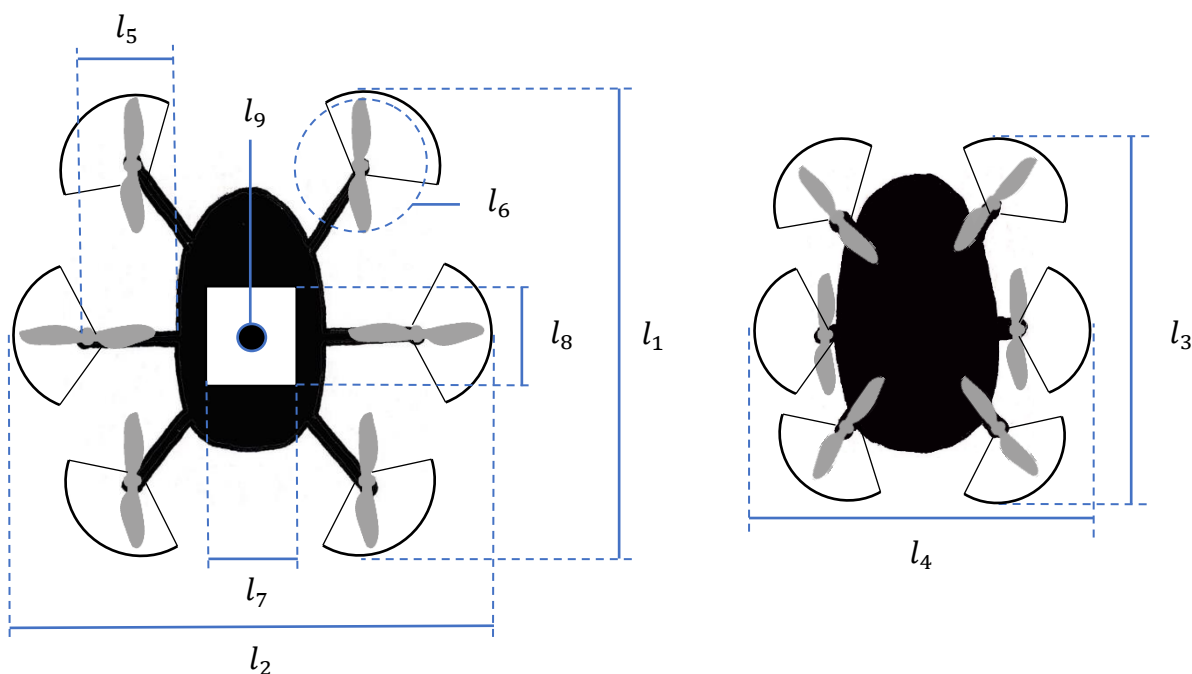
Grovspesifikasjonene vil befinne seg innenfor de tillate dimensjonsområdene som ble etablert i grensespesifikasjonene fra forrige seksjon. Dimensjonene settes på bakgrunn av tidligere oppgaver,

eksisterende løsninger og etter avtale med hovedveileder Jan Kåre Bøe.

Tabell 5.3: Oversikt over metriske grovspekifikasjoner.

Indeks	Spesifikasjon	Dimensjon	Enhet
$n_{armer}$	Antall armer	6	-
-	Antall propeller	6	-
$l_1$	Ytre lengde i flymodus	5800	mm
$l_2$	Ytre bredde i flymodus	5800	mm
$l_3$	Lengde i kjøremodus	1950	mm
$l_4$	Bredde i kjøremodus	1000	mm
$l_5$	Armlengde	1750	mm
$l_6$	Propelldiameter	1300	mm
$l_7$	Bredde på innfestningsflate	830	mm
$l_8$	Lengde på innfestningsflate	830	mm
$l_9$	Diameter på fallskjerm	300	mm
-	Høyde på dronemodul	310	mm
-	Vekt på dronemodul	130	kg
$m_{tot}$	Totalvekt på dronebilen	450	kg

Det velges å bruke en hexa X konfigurasjon (fra seksjon 4.2) der alle opphengsarmene har 60° mellom hverandre.

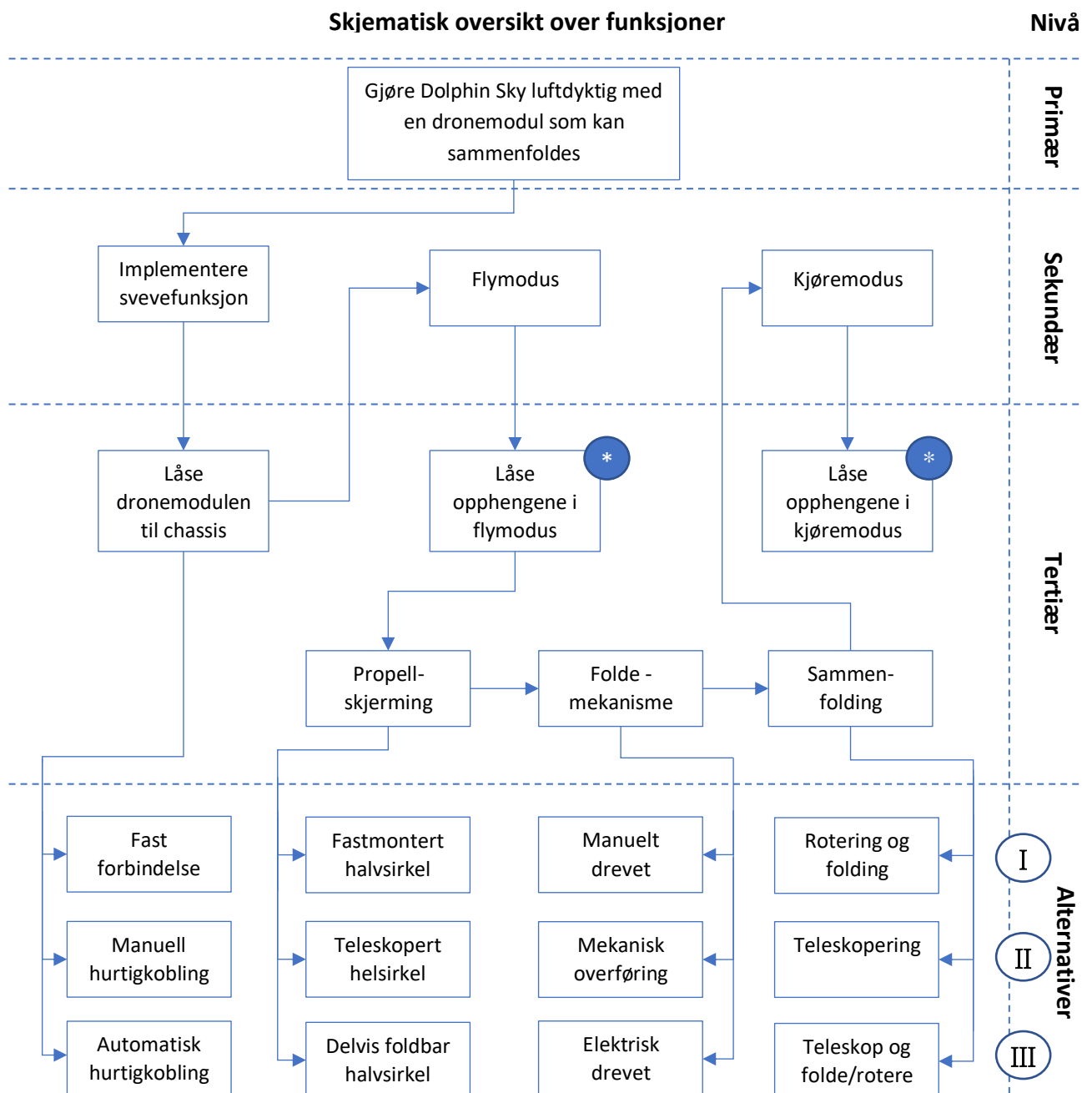


Figur 5.1: Målsatte figurer med symboler for dronemodulen i flymodus til venstre og kjøremodus til høyre.

## 6 KONSEPTGENERERING

Det er utført en funksjonsanalyse av de viktigste funksjonene på dronemodulen, for å kunne oppnå produktmålsettingene. Dette gjøres også for å isolere konseptgenereringen for de ulike funksjonene, som bidrar til en friere tenkning ved idemyldring.

### 6.1 Funksjonsanalyse



**Figur 6.1:** Funksjonsanalysen tar utgangspunkt i primærfunksjonen til produktet som skal utvikles. Deretter hvordan dronemodulen skal implementeres til resten av kjøretøyet. Etter at dronemodulen er festet på chassiset analyseres de ulike funksjonene i fly- og kjøremodus.

\*) Disse tertiære funksjonene vil det ikke gjøres en tidlig konseptgenerering på. Løsningsalternativene er såpass avhengig av andre faktorer at disse vil adresseres når valg av øvrige alternativer er gjort.



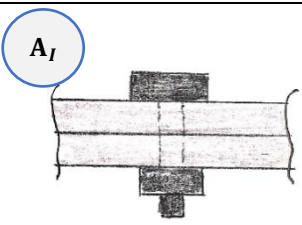
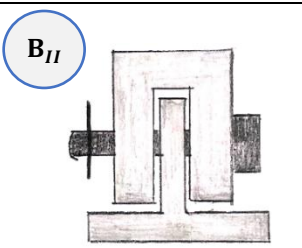
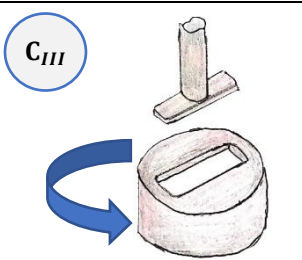
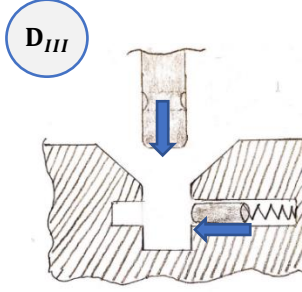
6.2 Funksjonsalternativer med skisser

I denne seksjonen vil det legges frem ulike løsninger tilhørende alternativene fra funksjonsanalysen. Fra funksjonsanalysen er det kartlagt tre ulike hovedmetoder å løse problemene på, disse er indikert med romertallene I, II og III. Alternativene som genereres markeres med en bokstav og indekseres med romertallet tilhørende den aktuelle metoden. Videre fremstilles alternativene med skisser, beskrivelser og en tidlig vurdering av fordeler og ulemper.

6.2.1 Låse dronemodulen til chassiset

For innfestning av dronemodulen til chassiset er det et veivalg som må gjøres. Man kan enten ha en fastforbindelse, som vil si at dronemodulen til enhver tid er montert på kjøretøyet. Eller man kan utvikle en hurtigkobling som gjør det enklere å ta av og på dronemodulen. Dette vil bli avgjort etter hvilke produkttegenskaper som vektet høyest. Ulike alternativer presenteres i tabellen under.

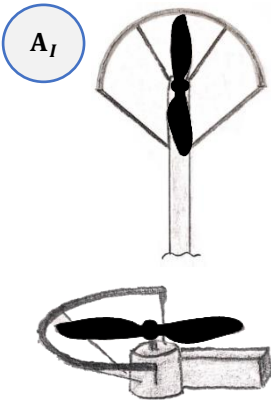
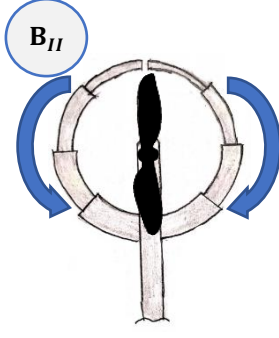
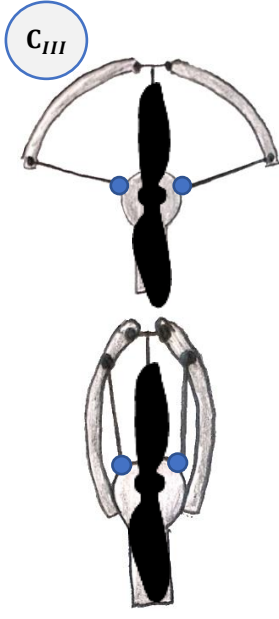
Tabell 6.1: Under følger skisser for innfestning til chassis med beskrivelse, fordeler og ulemper.

Figur	Beskrivelse	Fordel	Ulempe
 <p>A<sub>I</sub></p>	<p>En fast boltforbindelse hvor dronemodulen festes med gjennomgående bolt og mutter på undersiden av taket.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitter godt fast.</li> <li>• Enkelt design.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindre brukervennlig.</li> <li>• Vanskeligere å utføre vedlikehold.</li> </ul>
 <p>B<sub>II</sub></p>	<p>En manuell hurtigkobling med bolt og låsepinner. Øvre del tilhører dronemodulen og nedre del, som plasseres på innsiden av «gaffelen», er montert på taket.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enkel konstruksjon.</li> <li>• Kan enkelt visuelt verifisere at forbindelsen er låst.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utfordringer knyttet til riktig tilpasning av hull og bolt.</li> <li>• Slingring i forbindelsen.</li> </ul>
 <p>C<sub>III</sub></p>	<p>En roterende hurtigkobling. Utstikkende tapper under dronemodulen, som sentreres ned i tilsvarende geometri på taket. Deretter roteres forbindelsen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan både være manuell og elektrisk dreven.</li> <li>• Enkel å bruke.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mer komplekst design.</li> </ul>
 <p>D<sub>III</sub></p>	<p>En automatisk hurtigkobling. Dronemodulen har utstikkende tapper på undersiden som sentreres ned i hull på taket av chassis. Deretter låses boltene med en fjærbelagt låsepinne.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veldig brukervennlig</li> <li>• Kan enklere kombineres med signalisering om at modulen er låst.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mer komplekst design.</li> </ul>

## 6.2.2 Propellskjerming

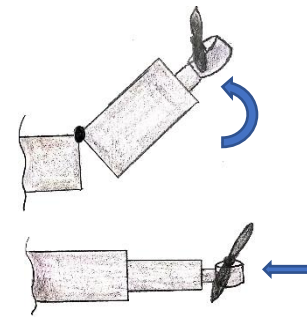
Propellskjermingen skal hovedsakelig sikre at personer eller omgivelser rundt propellene på bakkenivå ikke kommer til skade. Kjøretøyet antas å ha en relativt lav høyde som vil si at hurtigroterende propeller kan utgjøre en reel risikofare. Utover dette vil ikke skjermingen nødvendigvis bidra positivt til produkttegenskapene. Det er derfor ønskelig å redusere opptatt plass og/eller vekt. Ulike alternativer presenteres i tabellen under.

Tabell 6.2: Under følger skisser for propellskjerming med beskrivelse, fordeler og ulemper

Figur	Beskrivelse	Fordel	Ulempe
 <p>A<sub>I</sub></p>	<p>En fastmontert skjerm som strekker seg ut i en halvsirkel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enkelt design.</li> <li>• Vil kunne være solid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil permanent oppta plass.</li> <li>• Reduserer potensialet for plassbesparelse ved folding av opphengsarmene.</li> </ul>
 <p>B<sub>II</sub></p>	<p>En sammenfoldbar skjerm som bruker teleskopering. Skjermen dekker rundt hele propellen. I sammenfoldet tilstand er det kun leddet nærmest opphengsarmen som opptar plass.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan gjøre det enklere for sammenfolding av opphengsarmene ved å oppta mindre plass.</li> <li>• Kan gi et estetisk appellerende design.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan bidra til unødvendig vekt og kompleksitet i designet.</li> <li>• Flere deler.</li> </ul>
 <p>C<sub>III</sub></p>	<p>En delvis sammenfoldbar skjerm. I utfoldet tilstand strekker skjermen seg ut i en halvsirkel. Den foldes sammen ved at sidestagene som er festet på innsiden av selve skjermen roterer om de blå punktene. Da vil skjermene trekkes inn mot motoren.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan gjøre det enklere for sammenfolding av opphengsarmene ved å oppta mindre plass i bredde retning.</li> <li>• Liten kompleksitet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan være problematisk å få sammenfoldingen elektrisk drevet.</li> </ul>

6.2.3 Foldemekanisme

Foldemekanismen går på hvordan man utfører de aktuelle sammenfoldings bevegelsene. Her er det hovedsakelig tre ulike metoder det fokuseres på. Manuelt drevet, mekanisk overføring og elektrisk drevet. Manuelt drevet vil si at sammenfoldingen fysisk gjøres av en person. Mekanisk overføring vil si at sammenfoldingen gjøres manuelt av en person, men at det benyttes en kraftoverføring som gjør sammenfoldingen lettere og mer effektiv. For elektrisk drevet skal sammenfoldingen kunne utføres fra styringspanelet i kabinen, ved hjelp av elektriske motorer.



Figur 6.2: Eksempel på noen bevegelser som skal kunne styres (rotering og teleskopering).

Foldemekanismen avhenger av hvordan sammenfoldingen av opphenget gjøres. Noen eksempler vises i figuren til høyre. Det vil derfor ikke genereres konkrete løsningsalternativer, men det vil utredes for ulike løsningsmetoder.

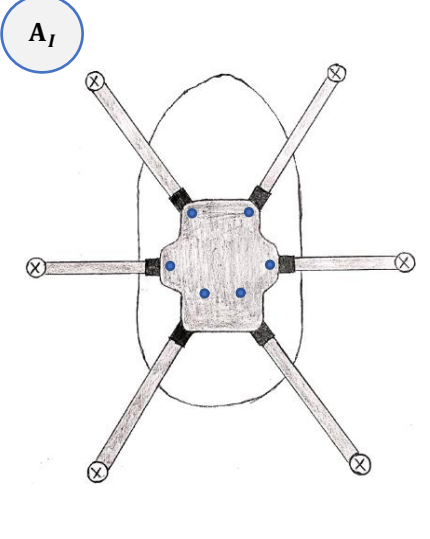
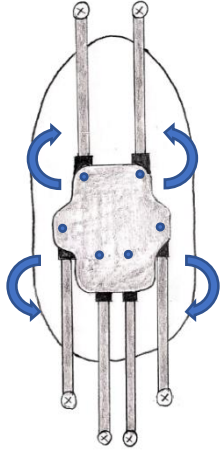
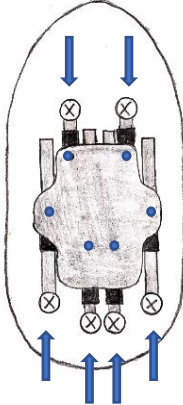
Tabell 6.3: Under følger skisser for foldemekanismer med beskrivelse, fordeler og ulemper.

Figur	Beskrivelse	Fordel	Ulempe
	En manuelt drevet sammenfolding gjøres av en person ved å direkte manipulere bevegelsene. Dytte, skyve, rotere osv.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enkel løsning som ikke bidrar til økt kompleksitet.</li> <li>• Vekt og plassbesparelse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan være tungvint å håndtere.</li> <li>• Vil redusere brukervennligheten.</li> </ul>
	En mekanisk overføring der det benyttes tannhjul og en sveiv for å etablere en kraftoverføring.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lett å håndtere.</li> <li>• Effektivt ved at alle opphengene kan foldes samtidig.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bidrar til mer vekt.</li> <li>• Mer opptatt plass.</li> <li>• Øker kompleksiteten.</li> </ul>
	En mekanisk overføring med tau og trinser. Det er montert trinser ved alle opphengsarmene. Ved å dra i tauet i enden av systemet foldes alle opphengene samtidig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lett å håndtere.</li> <li>• Effektivt ved at alle opphengene kan foldes samtidig.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mer opptatt plass.</li> <li>• Øker kompleksiteten.</li> <li>• Kan være problematisk å benytte et tausystem.</li> </ul>
	En elektrisk drevet sammenfolding styres fra kabinen og ved bruk av motorer kan man initiere og utføre sammenfoldings bevegelsene.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lett å håndtere.</li> <li>• Veldig brukervennlig.</li> <li>• Effektiv sammenfolding.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bidrar til mer vekt.</li> <li>• Mer opptatt plass</li> <li>• Øker kompleksiteten.</li> </ul>

## 6.2.4 Sammenfolding av opphengene

For sammenfolding av opphengene er det spesielt reduksjon i opptatt plass som er viktig. I flymodus skal armene ha en konfigurasjon og et spenn som bidrar til gode flyegenskaper. I kjøremodus skal opphenget ta så liten plass som mulig og helst ha en aerodynamisk utforming. Det er fire ulike løsningsalternativer som presenteres i de fire neste tabellene med figurer og beskrivelse etterfulgt av fordeler og ulemper.

Tabell 6.4: Løsningsalternativ  $A_1$  for sammenfolding av oppheng.

Flymodus	Sammenfolding	
		
<p>Figuren viser opphengsarmene utfoldet og i flymodus. Det er seks armer der hver propell har samme avstand til senter av dronemodulen. Propellenes plassering er illustrert med kryss.</p>	<p>Ved sammenfolding roteres armene i pilenes retning. De to fremre armene roterer fremover og de fire bakre armene roterer bakover. Armene roterer med en brakett som har en rotasjon om de blå punktene.</p>	<p>Deretter skyves armene innover i pilenes retning. Armene føres gjennom en kanal og stikker ut på motsatt side.</p>

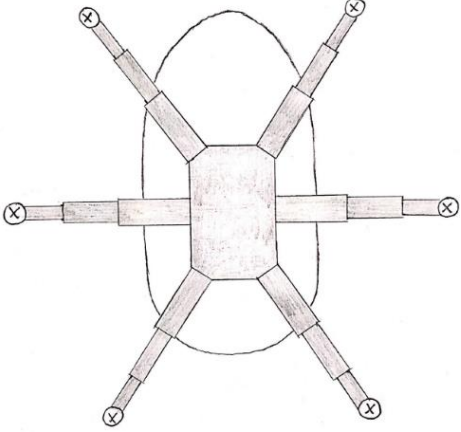
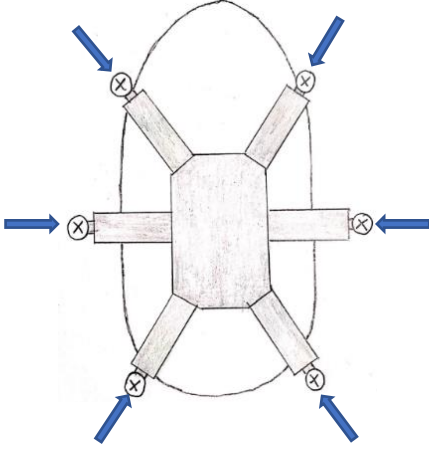
#### Fordeler:

Opphengsarmene består hovedsakelig av en komponent som gjør konstrueringen enkel. Det kan benyttes standardiserte profiler, som gjør at lengdene kan tilpasses for å oppnå best mulig stabilitet. Sammenfoldingen blir veldig kompakt og vil oppta minimalt med plass i både lengde, bredde og høyde retning.

#### Ulemper:

Kan være utfordrende å samkjøre sammenfolding av alle armene samtidig. Propellene og propellskjerming vil muligens komme i veien for hverandre. Kan også by på problematikk knyttet til ugunstig bevegelsesmønster på ledninger som går fra motor til batteri og annen elektronisk styring.

Tabell 6.5: Løsningsalternativ  $B_{II}$  for sammenfolding av oppheng.

Flymodus	Sammenfolding
	
<p>Figuren viser opphenget i flymodus. Her benyttes teleskoperingsarmer. Hver arm består av flere profiler, der profilene nærmest senter av dronemodulen er størst. De videre profilene langs armene er tilpasset slik at de får plass på innsiden av hverandre.</p>	<p>Ved sammenfolding skyves de mindre profilene inn mot senter av dronemodulen. Det vil i sammenfoldet tilstand være de største profilene innerst, propellene og propellskjermingen som opptar plass.</p>

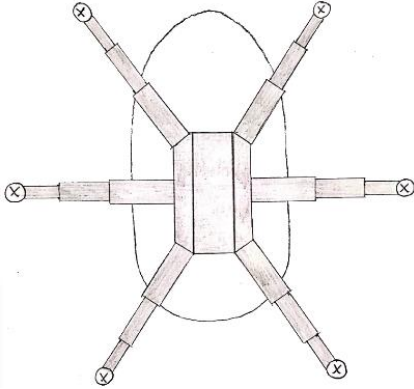
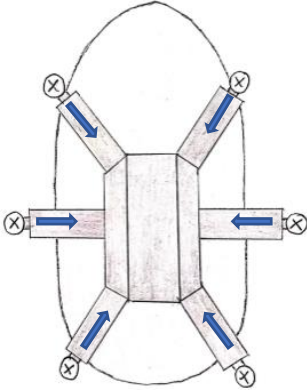
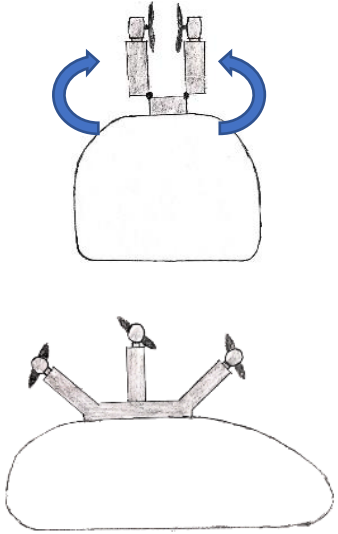
### Fordeler:

Teleskopering resulterer i en konstruksjonsmessig riktig utforming med tanke på lastbilde på armene. Teleskopering gir også en veldig effektiv plassbesparelse ved å utnytte volumet på konstruksjonen. Det vil være en symmetrisk sammenfolding som er enklere å samkjøre. I sammenfoldet tilstand, vil den oppta liten plass i høyderetning, og tilstrekkelig plassbesparelse i bredde- og lengderetning for parkering og kjøring på vei. Konstruksjonen anses som lite kompleks, og alle opphengsarmene vil ha et identisk design og bevegelsesmønster som reduserer kostnader.

### Ulemper:

Det er begrenset hvor mange teleskoperingstrinn man kan ha og det antas at ved sammenfoldet tilstand vil armene fortsatt bygge ut i både bredde og lengde retning. I tillegg vil propellen og propellskjermingen stikke ytterligere ut fra tuppen av opphengsarmene. Vil ikke ha optimale aerodynamiske egenskaper i kjøremodus da opphengsarmene fortsatt opptar ugunstig plass.

Tabell 6.6: Løsningsalternativ  $C_{III}$  for sammenfolding av oppheng.

Flymodus	Sammenfolding	
 <p><math>C_{III}</math></p>		
<p>Dette løsningsalternativet er veldig likt alternative på forrige side. Figuren over viser opphengene i flymodus. Se beskrivelse av flymodus i forrige tabell.</p>	<p>Ved sammenfolding teleskoperes profilene på samme måte som alternative på forrige side. Se beskrivelse for sammenfolding i forrige tabell.</p>	<p>Når teleskoperingen er gjennomført roteres opphengene opp på taket. Tanken er at de tre opphengene på henholdsvis venstre og høyre side, er festet på samme brakett som resulterer i at når braketten roteres følger armene med.</p>

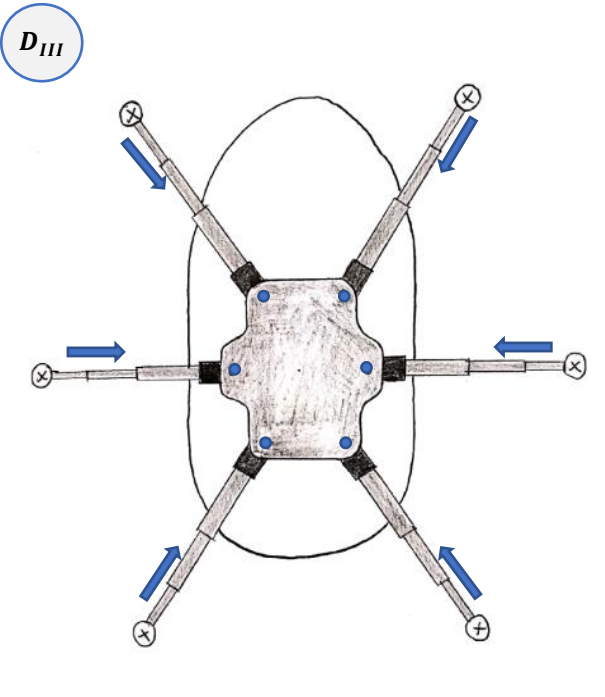
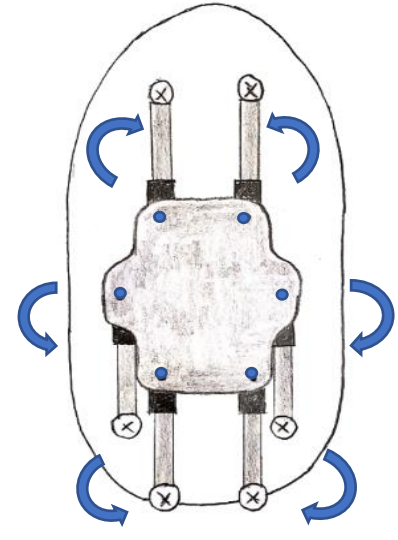
### Fordeler:

I likhet med fordelene ved alternativet på forrige side er teleskopering en konstruksjonsmessig fornuftig løsning og har effektiv plassbesparelse. Det vil også her være symmetri for teleskoperingen av armene. Ved å legge til en rotering av armene i høyderetning vil man redusere opptatt plass i bredderetning.

### Ulemper:

Når brakettene roterer armene i høyderetningen vil armene i sammenfoldet tilstand bygge mer i høyderetningen som mest sannsynlig gjør at dronebilen ikke kommer inn en standard garasjeport. Plassbesparelsen i sammenfoldet tilstand vil også ha negative aerodynamiske egenskaper når det kjøres på veibanen. Bevegelsesmønsteret for sammenfoldingen vil være noe mer kompleks.

Tabell 6.7: Løsningsalternativ  $D_{III}$  for sammenfolding av oppheng.

Flymodus	Sammenfolding
	
<p>Figuren viser opphenget i flymodus. Alle armene har lik avstand fra tyngdepunktet. Det benyttes også her av teleskopering. Når alle armene er teleskopert til minste størrelse kan armene roteres.</p>	<p>Når armene roteres gjøres dette om noen aksler som indikeres med blå prikker. De to fremre armene roterer mot fronten, mens de midtre og bakre armene roterer bakover.</p>

**Fordeler:**

Vil ha samme fordeler med teleskopering som tidligere nevnt ved de øvrige alternativene. Ved å rotere armene etter teleskopering vil man kunne oppnå en optimal plassbesparelse i bredde og høyderetning. Det antas at det er potensialet for at opphengsarmene kan plasseres på innsiden av chassis, som vil si at i sammenfoldet tilstand vil ikke dronemodulen bygge ut i bredderetning. Og ettersom at det ikke er noen bevegelser i høyden vil man i denne retningen beholde samme dimensjoner i fly og kjøremodus. Ved at armene plasseres parallelt med bevegelsesretningen vil luftmotstanden reduseres.

**Ulemper:**

Vil være utfordringer knyttet til en samkjøring av sammenfolding av alle armene på grunn av ulike rotasjonsretninger på opphengsarmene. Dronemodulen vil i sammenfoldet tilstand bygge ut og oppta plass i lengderetning. Ikke optimalt at de to fremre armene plasseres over frontruten i kjøremodus, dette kan være mindre estetisk appellerende og muligens påvirke sikten.

### 6.3 Tidlig materialdrøfting

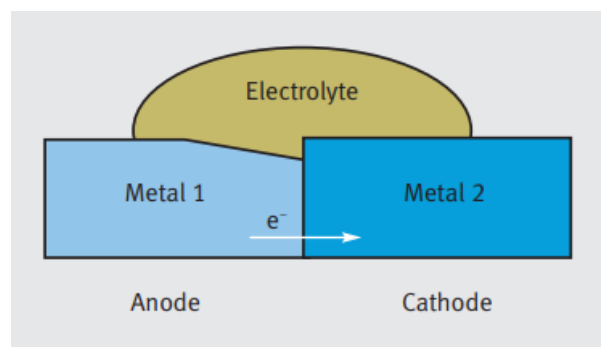
En tidlig vurdering av aktuelle materialer er viktig for videreutvikling av konseptet. Når ulike løsningsalternativer skal vurderes er det en fordel at hovedmaterialet er valgt. Ettersom at de ulike materialtypene har forskjellige egenskaper må løsningene tilpasses materialet. Tilnærmingen til design av de ulike komponentene er blant annet avhengig av produksjonsmetoder og andre begrensninger/muligheter materialet måtte ha.

Dronemodulen er fortsatt på et tidlig utviklingsstadium og materialvalget ved prototyping vil muligens endre seg noe med tanke på ytterligere optimalisering av vekt og materialeegenskaper. Det kan da være aktuelt å konstruere et kompositt materialet som f. eks benytter seg av karbonfiber i strekkutsatte områder, som er et material med veldig bra styrke/vekt forhold ved slike påkjenninger. Og evt. treverk ved trykkpåkjenninger med tilsvarende styrker. Per nå er det aluminium som er mest aktuelt og dette fremkommer også etter en utredning gjennomført av Tarek [11].

Aluminium er et meget allsidig materiale som har et relativt bra styrke/vekt forhold, som er høyst aktuelt for luftfartøy. Det har også god resirkulerbarhet, korrosjonsbestandighet, holdbarhet og formbarhet. Aluminium er enkelt å tilvirke og man har en høy designfrihet. Det finnes også legeringer med gode utmattings og fjæringsegenskaper. Det velges derfor å benytte aluminium i de fleste hovedkomponenter.

Det finnes aluminiumslegeringer som kan sveises, men dette anses som en lite ønskelig metode for sammenføring av komponenter. Hovedsakelig fordi sveising av aluminium er dyrt og sveiste forbindelser er ugunstig når konstruksjonen er utsatt for utmatting. For å feste komponenter sammen antas det å benytte gjenget forbindelser.

Hvis det benyttes ulike materialer ved f. eks sammenføyningsforbindelser kan det være aktuelt å ta høyde for galvanisk korrosjon. Galvanisk korrosjon kan oppstå når det benyttes to ulike metaller med forskjellig edelhet. Edelheten til et metall indikerer blant annet motstandsdyktigheten mot korrosjon. Når metaller har ulik edelhet etableres det en anode og en katode. Anoden er det aktive metallet som er mindre korrosjonsbestandig enn katoden. Hvis det i tillegg er en elektrisk kontakt mellom metallene, og at metallene er omringet av samme elektrolytt, vil anoden korrodere. Dette fordi anoden avgir elektroner til den mer passive katoden.



**Figur 6.3: Galvanisk korrosjon mellom to metaller som oppfyller gitte kriterier [49].**

For å forhindre galvanisk korrosjon kan det legges inn et isolerende lag mellom metallene. Eller det kan brukes et metall som befinner seg mellom den aktuelle anoden og katoden i den galvaniske serien. Da vil man redusere hastigheten på korrosjonen for anoden. Hvis man har en anode med betraktelig større overflateareal relativt til katoden vil korrosjon også reduseres.



## 6.4 Tidligvurdering av brukspåkjenninger

Det er gjennomført en tidligvurdering av brukspåkjenninger på bakgrunn av dimensjonene som ble satt i grovspekifikasjonen i seksjon 5.4. Dette er hensiktsmessig for å tilegne en bedre forståelse av lastbilde og dimensjonene på dronemodulen som gjør det enklere og evaluere og velge løsningsalternativer.

### Målsettinger for tidlige beregninger:

1. Finne de vertikale kreftene som virker på opphengsarmene og finne maks bøyemoment om sterk akse (seksjon 6.4.1).
2. Finne de horisontale kreftene som virker på opphengsarmene og finne maks bøyemoment om svak akse (seksjon 6.4.2).

I tabellen under følger verdier for ulike variabler som benyttes og danner forutsetningene for beregningene.

**Tabell 6.8: Forutsetninger for tidlige beregninger med begrunnelse for valgte dimensjoner.**

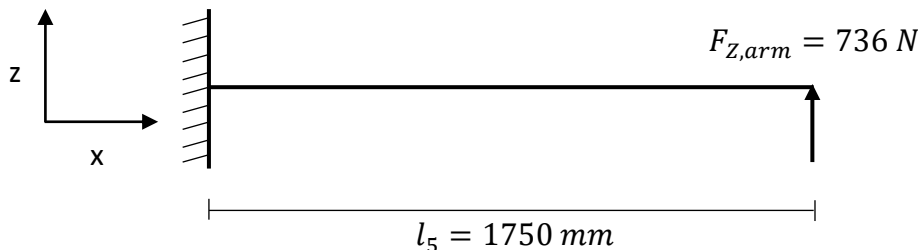
Symbol	Dimensjon	Begrunnelse
$m_{tot}$	450 kg	Jevnfør seksjon 5.3
$n_{armer}$	6 stk.	Jevnfør seksjon 1.4.5
$l_5$	1750 mm	Jevnfør seksjon 5.3
$l_{c,bredde}$	860 mm	Jevnfør seksjon 5.3
$l_{c,høyde}$	1360 mm	Jevnfør seksjon 5.3
$A_{Pr,chass}$	1,17 m <sup>2</sup>	$A_{Pr} = l_{c,bredde} \cdot l_{c,høyde}$
$A_{Pr,arm}$	0,175 m <sup>2</sup>	Tar utgangspunkt i en rektangulær utforming på armen med høyde 100 mm og lengde 1750 mm.
$C_{D,chass}$	0,4	Luftmotstands koeffisient for chassiset grov estimeres til 0,4 etter utredning gjennomført av Thomas [10].
$C_{D,arm}$	2,1	Bruker en omtrentlig verdi hentet fra [33] som gjelder for en rektangulær boks.
$\rho_{luft}$	1,293 kg/m <sup>3</sup>	Massetettheten til luft ved 0°C.
$v$	50km/t = 14m/s	Dronebilens maks hastighet (fremover) settes etter samtale med hovedveileder Jan Kåre Bøe.

### 6.4.1 Vertikale påkjenninger

De vertikale kreftene som virker på opphengsarmene er et resultat av tyngdekraften når dronebilen er i luften. De største kreftene vil enten være når dronebilen akselererer oppover eller ved negativ akselerasjon når farten bremses nedover. Men for de tidlige beregningene ses det på en stabil flyvning, kun påvirket av egenvekten. Ytterligere krefter vil tas hensyn til gjennom sikkerhetsfaktorer som adresseres senere i oppgaven.

Dronemodulen består av seks opphengsarm, der hver propell vil ha omtrentlig samme avstand til tyngdepunktet. Den estimerte bruttovekten vil dermed bli likt fordelt på hver opphengsarm. Kraften blir dermed:

$$F_{Z,arm} = \frac{m_{tot}}{n_{armer}} \cdot g = \frac{450}{6} \cdot 9,81 = 736 \text{ N} \quad (1)$$



Figur 6.4: Beregningsmodellen ser på armen som fastopplagret ved innfestningen til chassiset og kraften fra thrusteren virker på enden. Armen er sett fra siden.

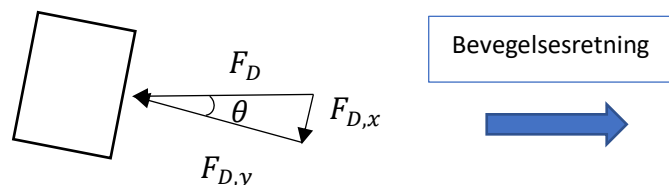
Maks bøyemoment nærmest opplagringen på opphengsarmen blir:

$$M_{b,z arm} = F_{Z,arm} \cdot l_5 = 736 \cdot 1750 = 1288 \text{ Nm} \quad (3)$$

#### 6.4.2 Horisontale påkjenninger

De horisontale kreftene vil oppstå når dronebilen flyr i maks hastighet, som et resultat av luftmotstand. Det er seks opphengsarm der de midtre armene er plassert vinkelrett på bevegelsesretningen fremover/bakover (y-retning), disse vil derfor være dimensjonerende. Luftmotstanden vil i realiteten være fordelt over hele det projiserte arealet av dronebilen. Det velges her å gjøre en forenkling ved å kun se på chassis og de midtre armene samt gjøre en konservativ beslutning om at alle kreftene tas opp av de to midtre armene.

Når dronebilen beveger seg vil den også tilte noe fremover i bevegelsesretningen, dette fører til en vinkelendring som dekomponerer luftmotstandskreftene. Det velges å se bort ifra dette, fordi små vinkelendringer utgjør små forskjeller for komponentene.



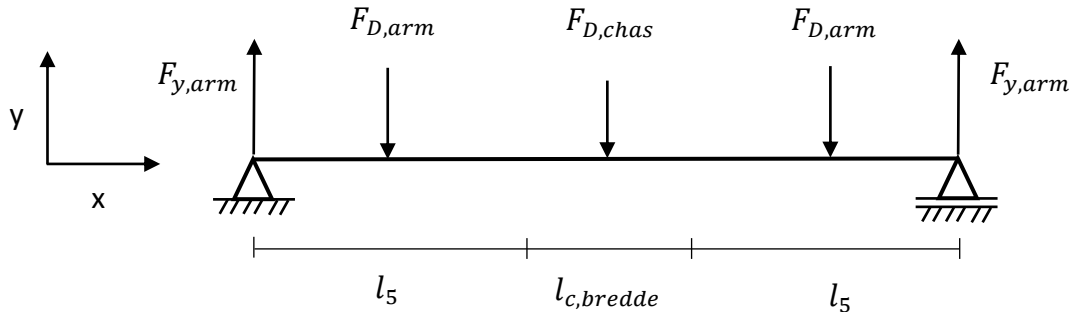
Figur 6.5: Figuren viser tverrsnittet av en opphengsarm som er tiltet  $\theta$  grader mot bevegelsesretningen.

Gitt at:

$$\sin \theta = \frac{F_{D,x}}{F_{D,y}} \rightarrow F_{D,x} = \sin \theta \cdot F_{D,y}$$

Når  $\theta \rightarrow 0$ , vil  $\sin \theta \rightarrow 0$  som resulterer i at  $F_{D,x} \rightarrow 0$

Beregningsmodellen under viser dronebilen sett ovenfra med opplagere i thrusterene. En punktlast plasseres i senter av det projiserte arealet av chassiset ( $F_{D,ch\text{as}}$ ) og tilsvarende for hver opphengsarm ( $F_{D,arm}$ ).



Figur 6.6: Dronebilen sett ovenfra med de to midtre opphengsarmene på hver sin side av chassis. Bevegelse i y-retning.

Luftmotstandens kraftkomponent for chassis blir:

$$F_{D,ch\text{as}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{luft}} \cdot C_{D,ch\text{as}} \cdot v^2 \cdot A_{Pr,ch\text{as}} = \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 0,4 \cdot 14^2 \cdot 1,17 = 60 \text{ N} \quad (2)$$

Luftmotstandens kraftkomponent for én arm blir:

$$F_{D,arm} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{luft}} \cdot C_{D,arm} \cdot v^2 \cdot A_{Pr,arm} = \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 2,1 \cdot 14^2 \cdot 0,175 = 46,56 \text{ N} \quad (2)$$

Kreftene i opplagrene blir:

$$F_{y,arm} = \frac{F_{D,ch\text{as}} + 2 \cdot F_{D,arm}}{2} = \frac{60 + 2 \cdot 46,56}{2} = 76,56 \text{ N}$$

Maks bøyemoment ved opplagringen til opphengsarmen vil opptre 1750 mm fra thrusterne. Bøyemomentet blir:

$$M_{b,y \text{ arm}} = F_{y,arm} \cdot l_5 - F_{D,arm} \cdot \frac{l_5}{2} = 76,56 \cdot 1750 - 46,56 \cdot \frac{1750}{2} = 93,24 \text{ Nm} \quad (3)$$

## 7 EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

Hensikten med egen screening er å foreta utvelgelse av foretrukne løsningsalternativer basert på metri av produkttegenskaper og spesifikasjoner.

### 7.1 Seleksjonsmatrise og egen konseptscreening

Seleksjonsmatrisen som brukes til å velge foretrukket løsningsalternativ vil ta for seg produkttegenskapene som ble definert og vektet i seksjon 5.2 og funksjonsalternativene fra seksjon 6.2. Hvert alternativ vil vektes og deretter rangeres med Pugh's metodikk jevnfør seksjon 3.2.2.

Hver tabell som følger representerer de ulike tertiære funksjonene fra funksjonsanalysen i seksjon 6.1. Tabellene resulterer i en rangering av de respektive funksjonsalternativene som vil være med i betraktningen når foretrukne løsningsalternativer velges.

**Tabell 7.1: Seleksjonsmatrise for valg av innfestning til chassis.**

Funksjon →		Låse dronemodulen til chassis			
Kriterium	Vekting	A <sub>I</sub>	B <sub>II</sub>	C <sub>III</sub>	D <sub>III</sub>
Estetikk	3	4	2	3	4
Aerodynamikk	4	4	2	3	3
Sikkerhet	5	4	4	3	4
Brukervennlighet	4	2	3	4	5
Ergonomi	4	3	2	4	4
Vekt	5	4	3	3	3
Vedlikehold	4	1	4	4	5
Kompleksitet	3	4	3	2	2
Symmetri/like deler	4	4	4	3	3
Sum		120	110	117	133
Rangering		2	4	3	1

■ Alternative **D<sub>III</sub>**, låsing av dronemodulen med automatisk hurtigkobling anses som beste løsning.

**Tabell 7.2: Seleksjonsmatrise for valg av propellskjerming.**

Funksjon →		Propellskjerming		
Kriterium	Vekting	A <sub>I</sub>	B <sub>II</sub>	C <sub>III</sub>
Estetikk	3	2	4	3
Aerodynamikk	4	2	3	3
Sikkerhet	5	4	3	3
Brukervennlighet	4	2	3	4
Ergonomi	4	4	3	3
Vekt	5	4	2	4
Vedlikehold	4	2	2	4
Kompleksitet	3	5	2	4
Symmetri/like deler	4	4	2	4

Tabell 7.2 forts.

	$A_I$	$B_{II}$	$C_{III}$
Sum	117	95	128
Rangering	2	3	1

■ Alternative  $C_{III}$ , en delvis sammenfoldbar propellsjerming anses som beste løsning.

Tabell 7.3: Seleksjonsmatrise for valg av foldemekanisme.

Funksjon →		Foldemekanisme			
Kriterium	Vekting	$A_I$	$B_{II}$	$C_{II}$	$D_{III}$
Estetikk	3	4	2	1	5
Ergonomi	4	4	3	3	4
Aerodynamikk	4	4	3	3	4
Brukervennlighet	4	2	4	3	5
Sikkerhet	5	3	4	3	4
Vedlikehold	3	5	2	3	2
Kompleksitet	3	4	2	2	3
Vekt	4	5	3	3	3
Symmetri	4	5	3	3	3
Sum		144	104	98	126
Rangering		1	3	4	2

■ Alternative  $A_I$ , foldemekanisme som er manuelt drevet anses som beste løsning.

Tabell 7.4: Seleksjonsmatrise for valg av sammenfolding av opphengsarmene.

Funksjon →		Sammenfolding			
Kriterium	Vekting	$A_I$	$B_{II}$	$C_{III}$	$D_{III}$
Estetikk	3	4	3	2	4
Ergonomi	4	4	2	2	4
Aerodynamikk	4	4	4	3	4
Brukervennlighet	4	3	5	3	5
Sikkerhet	5	4	4	3	4
Vedlikehold	3	3	4	3	3
Kompleksitet	3	3	3	2	3
Vekt	4	4	3	2	4
Symmetri	4	4	3	3	3
Sum		131	126	94	135
Rangering		2	3	4	1

■ Alternative  $D_{III}$ , sammenfolding med teleskopering og rotering av armene anses som beste løsning.

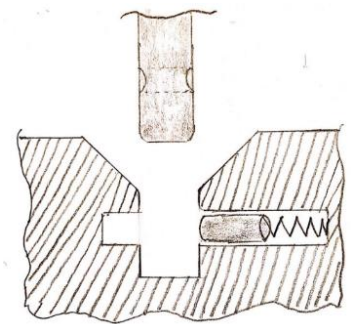
## 7.2 Foretrukne løsningsalternativer

Valgene av foretrukne løsningsalternativer baseres hovedsakelig på seleksjonsmatrisene. Rangeringen av de ulike alternativene er relativt klare med unntak av sammenfolding (tabell 7.4), som kun skiller fire poeng mellom rangering 1 og 2. Det ble derfor utredet noe mer for disse alternativene før det endelige valget ble tatt. Dette ble også tatt opp under ekspertestingen i neste kapittel.

De foretrukne løsningsalternativene som videreutvikles for de respektive funksjonene er:

### Låse dronemodulen til chassis

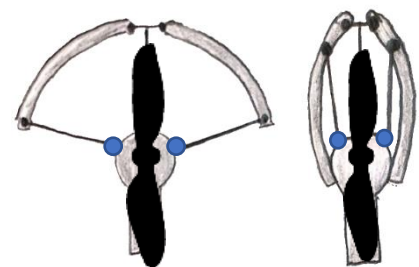
For valg av innfestning mellom dronemodulen og kabinmodulen falt valget på en automatisk hurtigkobling. Dette er en løsning som bidrar til høy brukervennlighet. Dronemodulen kan da tas enkelt av og på for vedlikehold og reparasjoner. Dette åpner også opp for at dronebilen enklere kan brukes som bil uten dronemodulen tilkoblet. Selve låsemekanismen vil ikke utvikles i denne oppgaven annet enn at dronemodulen har utstikkende tapper på undersiden. Det velges å ikke benytte et hull med låsepinne som figuren viser, men en løsning der tappen har et sirkulært spor. Dette hovedsakelig fordi låsemekanismen da blir symmetrisk og uavhengig av tappens posisjon relativt til låsepinnen.



Figur 7.1: Løsningsalternativ D<sub>III</sub>.

### Propellskjerming

For propellskjerming falt valget på en delvis sammenfoldbar løsning. Utvelgelsen av propellskjermingsalternativer viste seg å være veldig avhengig av en sammenfoldbar løsning. Dette fordi en fastmontert løsning ville hindret sammenfolding av opphengsarmene. Ettersom at propellbladene skal være fastmontert til enhver tid vil konstruksjonen uansett stikke ut i retningen av propellene. Det er derfor tilstrekkelig å sammenfolde propellskjermingen i bredderetning slik at opphengsarmene i sammenfoldet tilstand kan plasseres ved siden av hverandre.



Figur 7.2: Løsningsalternativ C<sub>III</sub>.

## Foldemekanisme

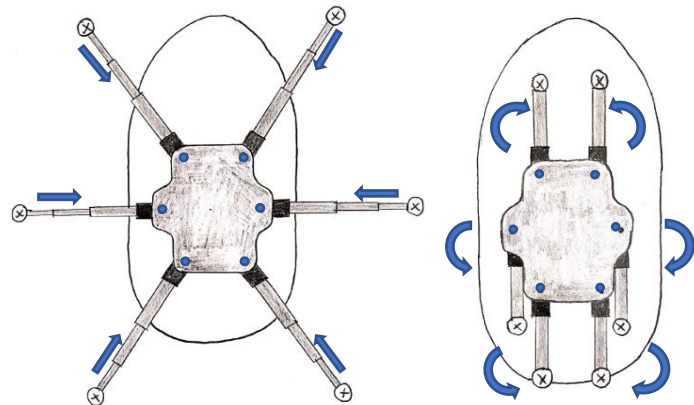
For foldemekanisme av opphengsarmene velges det å bruke en manuell sammenfolding. Det vil si at brukeren selv må sammenfolde opphengene. Dette vil være noe mer tidskrevende, men kan gi brukeren en bedre trykghetsfølelse. Brukeren vil selv se og kjenne at opphengene er riktig utfoldet/foldet og låst. Det vil muligens fortsatt være ønskelig å ha en automatisk sammenfolding senere i utviklingen. Dette anses som uproblematisk da løsningen kan tilpasses.



Figur 7.3: Løsningsalternativ A<sub>I</sub>.

## Sammenfolding av opphengene

For sammenfolding av opphengene velges det en løsning med teleskopering og rotering av armene. Denne løsningen utnytter teleskoperingens fordeler med at tverrsnittsarealet i et gitt snitt er mer optimalisert for aktuelle påkjenninger. Teleskopering er også en veldig effektiv sammenfoldingsmekanisme som utnytter plassen bra og gir et kompakt design. Roteringspunktene for armene er plassert i samme radius fra senter av dronemodulen.

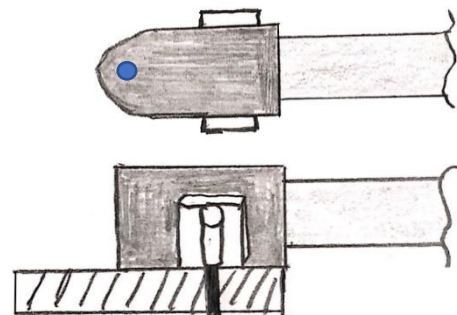


Figur 7.4: Løsningsalternativ D<sub>III</sub>.

Dette gjør at de to midtre opphengsarmene kan plasseres parallelt med de to bakre armene i sammenfoldet tilstand. Da vil konstruksjonen bygge minimalt i bredderetning. Den opptatte plassen i kjøremodus vil hovedsakelig være i lengderetning, noe som er ansett som mer optimalt enn å bygge i bredderetningen.

## Låse opphengene i flymodus/kjøremodus

Disse funksjonene har det ikke blitt gjort en tidlig konseptgenerering på da alternativene ansås som avhengig av øvrige løsningsvalg. Her velges det å benytte en fjærlås som plasseres ved siden av opphengsarmen. Det er hull i platen på undersiden av opphengene som danner ulike låsingsposisjoner for armene. Denne løsningen vil gi brukeren en god oversikt og enkel verifisering av at armene er låst ettersom at låsingen skjer manuelt.



Figur 7.5: Øverste skisse viser armen sett ovenfra, med rotasjon om det blå punktet. Nederst ses det inn fra siden.

## 8 EKSPERTTESTING

*Hensikten med eksperttesting er å kvalitetssikre ulike elementer i oppgaven ved å rådføre seg med personer som innehar ekspertise på utvalgte områder.*

### 8.1 Testmålsetninger

Det defineres både hoved- og delmål for testing. Dette for å sikre at det innhentes mest mulig relevant og nyttig informasjon.

#### 8.1.1 Hovedmål

Hovedmålet med eksperttestingen er å undersøke om konseptvalgene er fornuftige. Det skal kartlegges fordeler og ulemper med valgene som vil vekke om løsningen er tilfredsstillende eller om det bør gjøres endringer i designet. Ekspertisen skal også brukes til å videreutvikle valgt konseptløsning ved å undersøke viktige dimensjonerings, analyser, produksjonsmetoder og kostandsestimeringer.

#### 8.1.2 Delmål

Delmålene for testingen vil omhandle konkrete målsetninger som sikrer utfyllelse av hovedmålet. Delmålene er:

- Kartlegge fordeler og ulemper med valgte løsninger og gjøre en vurdering på om valgene er fornuftige eller om det bør gjøres endringer.
- Undersøke hvilke beregninger som bør prioriteres og verifisere om aktuelle beregningsmodeller er korrekte.
- Undersøke aktuelle produksjonsmetoder av delkomponenter og innhente informasjon om tilvirkningstid og kostander.

### 8.2 Ekspertgruppe

Ekspertgruppen som benyttes er utvalgte ansatte ved NMBU.

**Tabell 8.1: Oversikt over ekspertene som har blitt benyttet med tittel og fagfelt.**

Navn	Tittel	Fagfelt
Henrik Folke Holmberg	Overingeniør	Konstruksjon
Øyvind Hansen	Overingeniør	Produksjon

### 8.3 Kommunikasjonsform

Kommunikasjonen for eksperttestingen foregikk i form av åpen diskusjon på møter. Det ble medbragt relevante figurer og bilder av konseptløsningen, som ble brukt til å forklare funksjoner og vise utforming og design på komponenter. Rapportkladden på daværende tidspunkt ble også



benyttet for å oppdatere testpersonene på ulike utviklingstrinn i oppgaven. Dette for å gi testpersonene et overordnet bilde av hva som har blitt vurdert og tatt i betraktning. Da testpersonene var tilstrekkelig informert om utført arbeid, samt oppgavens hovedmål og problemstillinger, kunne testpersonene gi tilbakemeldinger og rådgivning. Tilbakemeldingene ble diskutert og hovedbidragene ble notert.

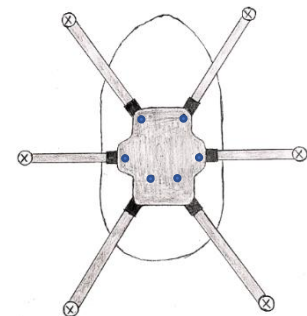
## 8.4 Resultater og resultattolkning

Ettersom at det ble utført to individuelle møter uten et formelt spørreskjema, vil resultatene fra hvert møte fremstilles separat med de viktigste temaene som ble diskutert. Det legges hovedfokus på de aspektene som har forbedringspotensial. Til slutt fremkommer det en resultattolkning, som er en oppsummering av hva som brukes videre i oppgaven.

### 8.4.1 Resultater

#### Møte med Henrik [35]

For konseptvalget vedrørende sammenfolding av opphengsarmene ble det stilt spørsmål til teleskoperingen. Henriks umiddelbare tanker var at teleskopering muligens bidrar til unødvendig kompleksitet, og at løsningsalternativ  $A_1$  hadde fordeler knyttet til kostnader og vedlikehold. Dette hovedsakelig på grunn av at opphengsarmene er hele profiler, som reduserer antall deler og ved skader er det færre deler som må byttes ut. Til tross for dette så han effektiviteten av plassbesparelse ved teleskopering, men at det var flere områder som må tas hensyn til.



Figur 8.1:  
Løsningsalternativ  $A_1$ .

Han poengterte at det er et optimaliseringspotensial ved valg av lengdene på stegprofilene. Og at det er spesielt viktig å se nærmere på områdene stegprofilene overlapper med tanke på lengde og kontaktflater. For beregningsmodellen vedrørende nedbøyning av opphengsarmen ble det poengtert at en forutsetning for beregningen er at forbindelsene mellom stegprofilene er faste (ses på som sveiset).

For valg av propellskjermingen hadde han en påpekning på at skjermen ikke vil beskytte mot kabinen. Som betyr at hvis personen inne i kabinen må evakuere dronebilen, mens propellene roterer, oppstår det en risiko for skade. Han påpekte også en risikofare ved å manuelt sammenfolde propellskjermingen hvis propellene uønsket skulle begynne å rotere.

Til slutt påpekte han at sikkerhetsfaktoren muligens var noe lav. Da man i luften er veldig avhengig av at utstyret har en tilstrekkelig sikkerhet er det ønskelig at denne er på den trygge siden.

#### Møte med Øyvind [52]

For valg av konseptløsning var Øyvind spesielt positiv til at symmetrien av konstruksjonen er høy. Ved at alle opphengsarmene med thruster er identiske blir produksjonen enklere og billigere. Det var også en stor fordel at alle opphengsarmene kan demonteres enkeltvis for vedlikehold.

Øyvind var også positiv til at flere komponenter kan produseres ut ifra samme innkjøpte materialer. Dette vil redusere materialsvinn og deretter kostnader.

Produksjon av stegprofilene i opphengsarmen på NMBU verkstedet vil være utfordrende. Ettersom at alle stegprofilene har et spor på innsiden av profilen, vil fresing av sporene var vanskelig. Stegprofilene må derfor produseres eksternt med ekstrudering. Han påpekte at ekstrudering kan gjøres med fine toleranser og at stegprofilene kan få bra glideflater i hverandre. Men ved produksjon av en prototype og testing for godkjenning bør det helst være glidelagre og klare opplagringspunkter inne i profilene. Dette for å kunne vite nøyaktig hvor kreftene opptrer.

For produksjon av resterende komponenter ble metodene fra tabell 12.1 gjennomgått. De fleste komponentene lar seg produsere på verkstedet, men det finnes optimaliseringspotensialet for videre produksjonstilpasning:

- Frontlokkene (del 16-18) vil være problematiske å produsere billig. Disse har en ugunstig geometri.
- Stagene (del 25 og 26) som holder propellskjermene kan med fordel produseres med rør. Disse er ikke spesielt utsatt for store krefter og ved bruk av rør vil man spare vekt.
- Innfestningen til stegprofilen (del 27) ble også påpekt som en ugunstig geometri å produsere billig.

Felles for disse komponentene er at de drar fordel av å splittes til flere deler. Da vil produksjonsprosessen bli enklere og billigere.

For overflatebehandling påpekte han at eloksering var en god metode for aluminiums komponenter og for stålkomponentene var det ikke nødvendig med videre behandling.

#### 8.4.2 Resultattolkning

En oppsummering og oversikt over videre forutsetninger for utviklingen:

- Det velges å gå videre med valgte løsningsalternativer.
- Det velges å ta hensyn til redusert beskyttelse fra propellskjerming gjennom sikkerhetsrutinen før og etter flyvning.
- Det velges å øke sikkerhetsfaktoren og oppdimensjonere opphengsarmene.
- Det velges å beholde designet av komponentene som innehar optimaliseringspotensial. Dette hovedsakelig fordi påpekte komponenter ikke anses som en del av hovedproblemstillingen i oppgaven, men vil danne grunnlag for videre arbeid.
- Det velges å elokser aluminiums deler og ikke videre behandle stål komponentene.

## 9 GRUNNLAGSBEREGNINGER

I dette kapittelet vil det legges frem grunnlagsberegninger for de mest kritiske områdene på dronemodulen. Dette vil kunne gi en indikasjon på om valgte løsningsalternativer er realiserbare. Beregningene brukes videre for å dimensjonere ulike komponenter etter satte forutsetninger og danner grunnlaget for materialvalg.

### 9.1 Målsettinger for grunnlagsberegninger

Det er valgt å gjennomføre beregninger på noen utvalgte komponenter som anses å være kritisk for at gjeldene konsept skal fungere og kunne realiseres. Målsetningene for grunnlagsberegningene er:

1. Bestemme lengder på stegprofilene i opphengsarmen (seksjon 9.2.1).
2. Kartlegge de største bøyemomentene og skjærkreftene for de ulike stegprofilene (seksjon 9.2.2).
3. Velge tverrsnittsutforming for stegprofilene og finne maks opptredende spenninger (seksjon 9.2.3).
4. Beregne maks nedbøyning for opphengsarmen og vinkelendringen på propellbladene (seksjon 9.2.4).
5. Beregne hullkanttrykk i monteringsplater (seksjon 9.3.1).
6. Beregne avskjæring av aksling i knutepunktet (seksjon 9.3.2).

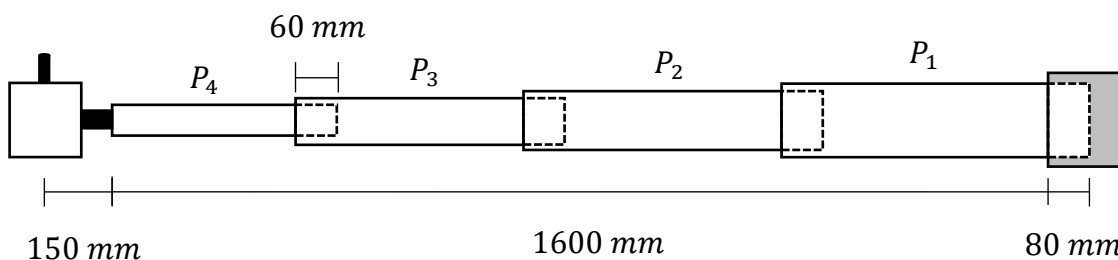
Forutsetningene for de ulike beregningene fremkommer i de aktuelle seksjonene.

### 9.2 Dimensjoner og krefter på teleskoperingsprofilene

For tverrsnittsutforming må det tas hensyn til tilstrekkelig motstandsmoment på samtlige stegprofiler i teleskoperingen og at det er plass for de indre profilene å plasseres på innsiden av hverandre. Først er det bestemt lengden på de ulike stegene i opphengsarmen.

#### 9.2.1 Valg av profillengder

Den totale armlengden er satt til 1750 mm (jvnfør seksjon 5.3) som defineres fra akslingen på motoren til opplagringen på innfestningsbraketten. Det velges å bruke fire stegprofiler og motoren som er valgt er en Lynch-motor LEM 200 (se vedlegg 3) som har en ytre diameter på 200 mm.



Figur 9.1: Figuren viser én opphengsarm med fire stegprofiler  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  og  $P_4$ . Innfestningsbraketten er markert i grå farge.

Det settes av 150 mm til motor og motorbrakett til den ytterste stegprofilen (se figur 9.1). Når et stegprofil teleskoperes inn i et større profil holdes det av en klaring på 20 mm i bakkant. Det vil si at lengden på stegprofilene reduseres med 20 mm jo mindre profilet er. For de to innerste profilene ( $P_1$  og  $P_2$ ) er det ønskelig å noe mer klaring. Dette for å ha mulighet til å lage en solid innfestning mellom innerste stegprofil ( $P_1$ ) og innfestningsbraketten. Denne avstanden settes til 60 mm. I utstrakt teleskoptilstand er det satt et overlapp på 60 mm (se figur 9.1). Dette for at stegene skal ha en kontaktflate ved bøyepåkjenning og at forbindelsen blir stiv.

Den totale lengden på alle stegprofilene tilsammen blir da:

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1680 + 60 \cdot 3 = 1860 \text{ mm}$$

Der lengdene på stegprofilene med hensyn til  $P_1$  er:

$$P_2 = P_1 - 60$$

$$P_3 = P_1 - 60 - 20$$

$$P_4 = P_1 - 60 - 20 \cdot 2$$

Dette gir:

$$P_1 + (P_1 - 60) + (P_1 - 80) + (P_1 - 100) = 1860 \text{ mm}$$

Lengden på den største profilen blir da:

$$P_1 \cdot 4 - 240 = 1860 \quad \rightarrow \quad P_1 = \frac{1860 + 240}{4} = \mathbf{525 \text{ mm}}$$

Videre blir lengdene på de andre stegprofilene:

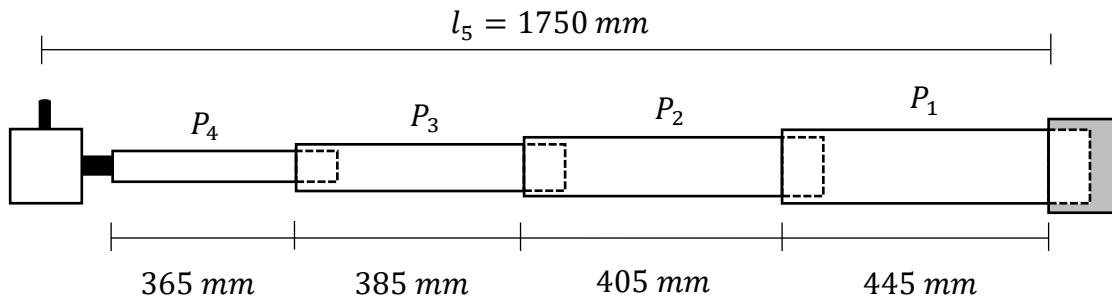
$$P_2 = 465 - 20 = \mathbf{465 \text{ mm}}$$

$$P_3 = 465 - 20 \cdot 2 = \mathbf{445 \text{ mm}}$$

$$P_4 = 465 - 20 \cdot 3 = \mathbf{425 \text{ mm}}$$

### 9.2.2 Bøyemomenter og skjærkrefter

For å finne maks bøyemoment for de ulike stegprofilene er det kartlagt lengdene fra enden på profilene og til profilens opplagring. Disse målene fremkommer i figuren på neste side.



Figur 9.2: Figuren viser den interne lengden fra de ulike profilenes opplagringer. Helt til høyre er den største stegprofilen festet til innfestningsbraketten på dronemodulen og denne stikker 80 mm inn.

Maks bøyemoment i vertikal- og horisontalretning for de ulike stegprofilene blir beregnet ut ifra modellene satt opp i seksjon 6.4.

For  $P_1$  er maks moment utregnet og satt til **1288 Nm** (vertikallast) og **93,24 Nm** (horisontallast)

For  $P_2$  blir bøyemomentet med vertikal og horisontallast:

$$M_{b,z p2} = F_{z,arm} \cdot (l_5 - 445) = 736 \cdot (1750 - 445) = \mathbf{960,50 Nm} \quad (3)$$

$$M_{b,y p2} = F_{y,arm} \cdot (l_5 - 445) - F_{D,arm} \cdot \left(\frac{l_5}{2} - 445\right) =$$

$$76,56 \cdot (1305) - 46,56 \cdot (430) = \mathbf{79,90 Nm} \quad (3)$$

For  $P_3$  blir bøyemomentet med vertikal og horisontallast:

$$M_{b,z p3} = F_{z,arm} \cdot (l_5 - 445 - 405) = 736 \cdot (1750 - 445 - 405) = \mathbf{662,40 Nm} \quad (3)$$

$$M_{b,y p3} = F_{y,arm} \cdot (l_5 - 445 - 405) - F_{D,arm} \cdot \left(\frac{l_5}{2} - 445 - 405\right) =$$

$$76,56 \cdot (900) - 46,56 \cdot (25) = \mathbf{67,75 Nm} \quad (3)$$

For  $P_4$  blir bøyemomentet med vertikal og horisontallast:

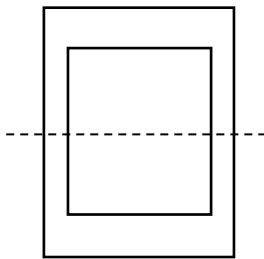
$$M_{b,z p4} = F_{z,arm} \cdot (l_5 - 445 - 405 - 385) = 736 \cdot (515) = \mathbf{379,00 Nm} \quad (3)$$

$$M_{b,y p4} = F_{y,arm} \cdot (l_5 - 445 - 405 - 385) = 76,56 \cdot (515) = \mathbf{39,50 Nm} \quad (3)$$

De vertikale skjærkreftene ved vertikal belastning vil være konstant over hele armen på **736 N** ( $F_{z,arm}$ ). Ved horisontal belastning varierer de horisontale skjærkreftene noe, men som en konservativ forenkling settes de horisontale skjærkreftene til **76,56 N** ( $F_{y,arm}$ ) over hele armen. Se seksjon 6.4 for beregning av disse kreftene.

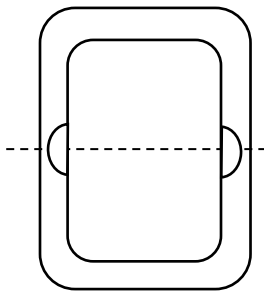
### 9.2.3 Tverrsnitts utforming

Tverrsnittet er bøyepåkjent med trykkspenninger i overkant og strekkspenninger i underkant på grunn av de vertikale lastene og trykk- og strekk spenninger på sidene som et resultat av de horisontale kreftene. Ettersom at de vertikale kreftene resulterer i et mye større bøyemoment enn ved horisontale krefter er det hensiktsmessig at tverrsnittet er høyere i vertikal retning. Maks trykk- og strekkspenning opptrer helt i ytterkant av tverrsnittet. Det vil si at det er ønskelig å ha mest mulig areal ved disse områdene for å oppnå et større motstandsmoment.



**Figur 9.3: Rektangulært tverrsnitt med ulik godstykkelse.**

Et rektangulært profil med større godstykkelse i over og underkant kontra på sideveggene vil gi et optimalisert tverrsnitt for de påkjenningene som opptrer. Men en slik tykkelsesforskjell vil gjøre at det indre hulrommet blir mer kvadratisk utformet jo flere profiler man plasserer på innsiden. Det vil si at de ytre dimensjonene på det minste stegprofilen vil være nærmere en kvadratisk geometri enn det største profilet. Det velges derfor å ha lik tykkelse på veggene.

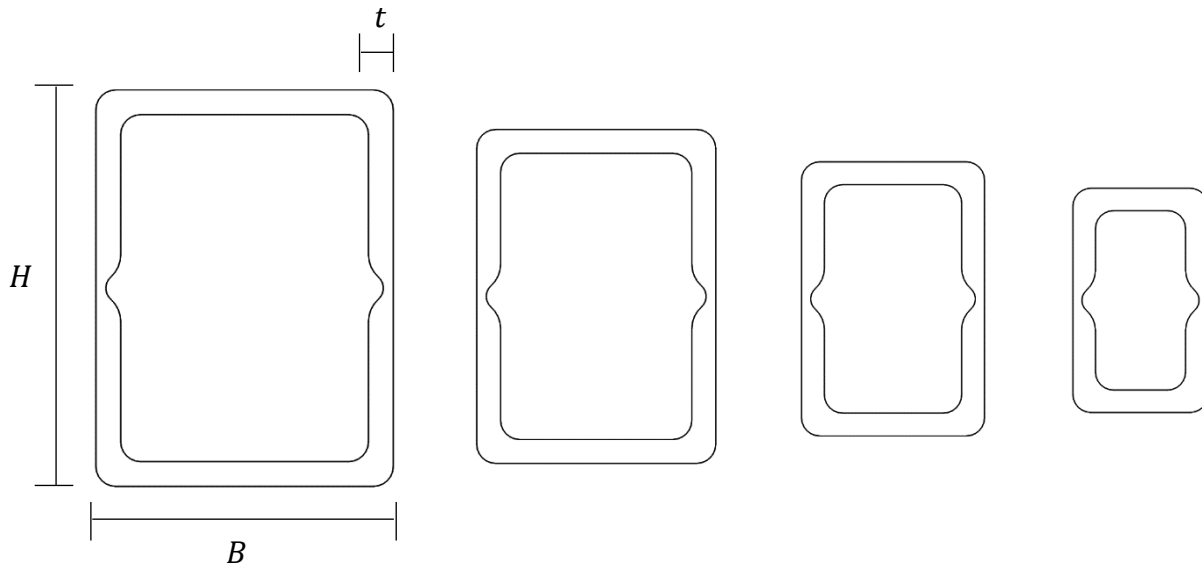


**Figur 9.4: Rektangulært tverrsnitt med avrundete kanter og lik godstykkelse.**

Det kan også være ønskelig med avrundete kanter slik at man unngår store spenningskonsentrasjoner. Man vil også få bedre kontaktflater mellom profilene. Av funksjonsrelaterte årsaker vil det være ønskelig å ha et spor på innsiden langs profilene. Dette for å kunne designe endestoppere slik at profilene stopper teleskoperingen ved ønskelige posisjoner. Et slikt spor vil være hensiktsmessig å plassere på sideveggene da det er ugunstig å fjerne areal ved over og undersiden. Dette ville ha redusert motstandsmomentet mye mer om den mest påkjente bøyemoment aksen.

### Valg av tverrsnittsutforming og spenningsberegninger

Utformingen på stegprofilene fremkommer i figuren på neste side. Videre er det utført beregninger for bøyespennning, skjærspenning og jevnførende spenning for de ulike stegprofilene. En oppsummering av dimensjoner på tverrsnittet og spenningene fremkommer på slutten av seksjonen i tabell 9.1.



Figur 9.5: Figuren viser tverrsnittet til stegprofilene fra venstre:  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  og  $P_4$ .

Bøyspenningen i vertikal og horisontal retning blir:

For  $P_1$ :

$$\sigma_{b,z p1} = \frac{M_{b,z p1}}{W_{b,z p1}} = \frac{1288000}{63183} = \mathbf{20,40 MPa} \quad (4)$$

$$\sigma_{b,y p1} = \frac{M_{b,y p1}}{W_{b,y p1}} = \frac{93240}{53288} = \mathbf{1,75 MPa} \quad (4)$$

For  $P_2$ :

$$\sigma_{b,z p2} = \frac{M_{b,z p2}}{W_{b,z p2}} = \frac{960500}{43559} = \mathbf{22,05 MPa} \quad (4)$$

$$\sigma_{b,y p2} = \frac{M_{b,y p2}}{W_{b,y p2}} = \frac{79900}{35349} = \mathbf{2,26 MPa} \quad (4)$$

For  $P_3$ :

$$\sigma_{b,z p3} = \frac{M_{b,z p3}}{W_{b,z p3}} = \frac{662000}{27591} = \mathbf{24 MPa} \quad (4)$$

$$\sigma_{b,y p3} = \frac{M_{b,y p3}}{W_{b,y p3}} = \frac{67750}{21540} = \mathbf{3,14 MPa} \quad (4)$$

For  $P_4$ :

$$\sigma_{b,z p4} = \frac{M_{b,z p4}}{W_{b,z p4}} = \frac{379000}{15261} = \mathbf{24,84 MPa} \quad (4)$$

$$\sigma_{b,y p4} = \frac{M_{b,y p4}}{W_{b,y p4}} = \frac{39500}{10824} = \mathbf{3,65 MPa} \quad (4)$$

Skjærspenning i horisontal retning anses som neglisjerbar fordi lasten er såpass liten. Skjærspenning i vertikal retning blir:

For  $P_1$ :

$$\tau_{z p1} = \frac{F_{z,arm}}{A_{p1}} = \frac{736}{2265} = \mathbf{0,33 MPa} \quad (6)$$

For  $P_2$ :

$$\tau_{z p2} = \frac{F_{z,arm}}{A_{p2}} = \frac{736}{1873} = \mathbf{0,40 MPa} \quad (6)$$

For  $P_3$ :

$$\tau_{z p3} = \frac{F_{z,arm}}{A_{p3}} = \frac{736}{1504} = \mathbf{0,49 MPa} \quad (6)$$

For  $P_4$ :

$$\tau_{z p4} = \frac{F_{z,arm}}{A_{p4}} = \frac{736}{1112} = \mathbf{0,67 MPa} \quad (6)$$

Den jevnførende spenningen vil bli bestemt ved bøyepåkjenning i begge retninger og skjærspenning fra vertikalbelastning, da horisontal skjærspenning er neglisjerbar:

For  $P_1$ :

$$\begin{aligned} \sigma_{jf,p1} &= \sqrt{\sigma_{b,z p1}^2 + \sigma_{b,y p1}^2 + \sigma_{b,z p1} \cdot \sigma_{b,y p1} + 3 \cdot \tau_{z,p1}^2} = \\ &= \sqrt{20,4^2 + 1,75^2 + 20,4 \cdot 1,75 + 3 \cdot 0,33^2} = \mathbf{21,33 MPa} \end{aligned} \quad (7)$$



For  $P_2$ :

$$\sigma_{jf,p2} = \sqrt{\sigma_{b,z,p2}^2 + \sigma_{b,y,p2}^2 + \sigma_{b,z,p2} \cdot \sigma_{b,y,p2} + 3 \cdot \tau_{z,p2}^2} =$$

$$\sqrt{22,05^2 + 2,26^2 + 22,05 \cdot 2,26 + 3 \cdot 0,4^2} = \mathbf{23,27 MPa}$$
(7)

For  $P_3$ :

$$\sigma_{jf,p3} = \sqrt{\sigma_{b,z,p3}^2 + \sigma_{b,y,p3}^2 + \sigma_{b,z,p3} \cdot \sigma_{b,y,p3} + 3 \cdot \tau_{z,p3}^2} =$$

$$\sqrt{24^2 + 3,14^2 + 24 \cdot 3,14 + 3 \cdot 0,49^2} = \mathbf{25,73 MPa}$$
(7)

For  $P_4$ :

$$\sigma_{jf,p4} = \sqrt{\sigma_{b,z,p4}^2 + \sigma_{b,y,p4}^2 + \sigma_{b,z,p4} \cdot \sigma_{b,y,p4} + 3 \cdot \tau_{z,p4}^2} =$$

$$\sqrt{24,84^2 + 3,65^2 + 24,84 \cdot 3,65 + 3 \cdot 0,67^2} = \mathbf{26,88 MPa}$$
(7)

**Tabell 9.1: Oversikt over ulike dimensjoner, spenninger og andre verdier for stegprofilene.**

Symbol	Enhet	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$
$H^*$	mm	100	86	72	58
$B^*$	mm	80	66	52	38
$t^*$	mm	7	7	7	7
$A^{**}$	mm <sup>2</sup>	2265	1873	1504	1112
$W_{b,z}^{**}$	mm <sup>3</sup>	63183	43559	27591	15261
$W_{b,y}^{**}$	mm <sup>3</sup>	53288	35349	21540	10824
$I_{b,z}^{**}$	mm <sup>4</sup>	3159179	1873066	993310	442590
$I_{b,y}^{**}$	mm <sup>4</sup>	2129130	1166528	560060	205660
$\sigma_{b,z}$	MPa	20,40	22,05	24,00	<b>24,84</b>
$\sigma_{b,y}$	MPa	1,75	2,26	3,14	<b>3,65</b>
$\tau_z$	MPa	0,33	0,40	0,49	<b>0,67</b>
$\sigma_{jf}$	MPa	21,33	23,27	25,73	<b>26,88</b>

\* Se figur 9.5.

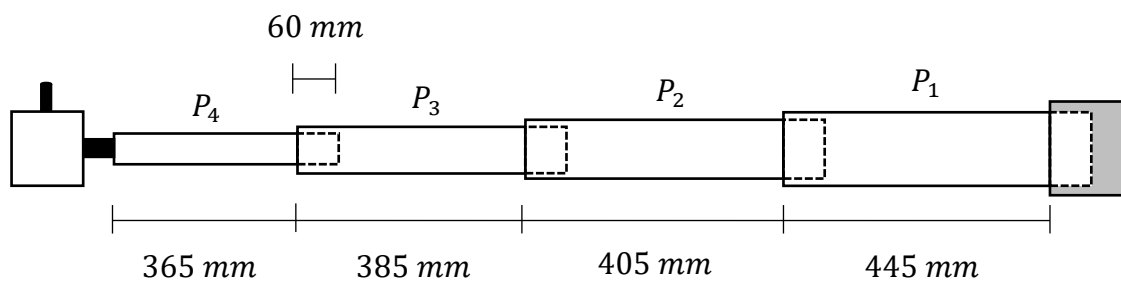
\*\*Verdiene for stegprofilene er funnet ved hjelp av funksjonen section properties i SolidWorks.

De dimensjonerende spenningene oppstår i stegprofil  $P_4$ . Her er maks bøyespenning med vertikal last:  $\sigma_{b,z,p4} = \mathbf{24,84 MPa}$ , maks skjærspenning ved vertikal last:  $\tau_{z,p4} = \mathbf{0,67 MPa}$  og maks jevnførende spenning:  $\sigma_{jf,p4} = \mathbf{26,88 MPa}$ . Disse spenningene vil danne grunnlaget for materialvalget i seksjon 11.1.3.

## 9.2.4 Nedbøyning av opphengsarm

Det er ugunstig for flyegenskapene til dronebilen hvis opphengsarmene har for stor nedbøyning. Dette vil medføre en vinkelendring ved propellene som kan føre til uønskede påkjenninger og redusere manøvreringsegenskapene.

Det vil kun beregnes nedbøyning på tuppen av den ytterste stegprofilen ( $P_4$ ). Dette fordi det er usikkerheter knyttet til utformingen på motoren og motorbraketten. Alle stegprofilene overlapper med 60 mm og det største stegprofilet ( $P_1$ ) er fastopplagret til innfestningsbraketten på dronemodulen.



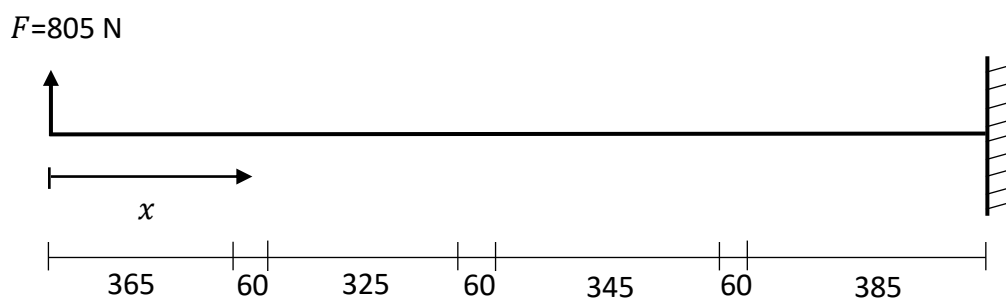
Figur 9.6: Oppplagsavstander for de ulike stegprofilene med en total lengde på 1600 mm.

Ettersom at nedbøyningen beregnes på tuppen av det minste stegprofilet vil kraften økes fra den opprinnelige beregningsmodellen for å opprettholde samme bøyemoment.

På bakgrunn av at  $M_{b,z arm} = 1288 Nm$  med en kraft på  $F_{z,arm} = 736 N$ , blir den nye kraften:

$$M_{b,z arm} = F \cdot (365 + 385 + 405 + 445) = F \cdot 1600 = 1288 Nm \quad (3)$$

$$F = \frac{1288000 Nmm}{1600 mm} = 805 N$$



Figur 9.7: Dimensjonene (i mm) på figuren representerer ulike lengder med et gitt tverrsnitt. Alle disse intervallene har ulikt tverrsnittsareal. Total lengden er på 1600 mm.

For å beregne nedbøyningen brukes Castigliano's metode (seksjon 4.4.2) ved bøyepåkjønning. Dette fordi opphengsarmen har varierende tverrsnitt som må tas hensyn til. Nedbøyningen beregnes der  $x = 0$  (se figur 9.7).

En forutsetning for beregningen er at forbindelsen mellom stegprofilene anses som faste, da de i realiteten vil oppføre seg annerledes. Andre forutsetninger fremkommer i tabellen under.

**Tabell 9.2: Forutsetningsverdier for beregningene.**

Symbol	Dimensjon	Begrunnelse
$F$	805 N	Se beregninger på forrige side.
$E$	69000 MPa	E-modul for aluminium (tabell 11.1)
$I_1$	3159179 mm <sup>4</sup>	Annet arealmoment for stegprofil $P_1$ (Fra tabell 9.1)
$I_2$	1873066 mm <sup>4</sup>	Annet arealmoment for stegprofil $P_2$ (Fra tabell 9.1)
$I_3$	993310 mm <sup>4</sup>	Annet arealmoment for stegprofil $P_3$ (Fra tabell 9.1)
$I_4$	442590 mm <sup>4</sup>	Annet arealmoment for stegprofil $P_4$ (Fra tabell 9.1)

Det vil kun ses på nedbøyning med vertikallast. For å finne den totale deformasjonen av opphengsarmen beregnes de relative nedbøyningene for de ulike tverrsnittene langs armen.

**For  $0 \leq x \leq 365$ :**

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_4 = 442590 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_1 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_1}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_1 = \frac{1}{E \cdot I_4} \int_0^{365} M_1 \cdot \frac{\partial M_1}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot I_4} \int_0^{365} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_1 = \frac{F}{E \cdot I_4} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_0^{365} = \frac{805}{69000 \cdot 442590} \cdot \left( \frac{365^3}{3} \right) = \mathbf{0,427 \text{ mm}} \quad (9)$$

**For  $365 \leq x \leq 425$ :**

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_4 + I_3 = 442590 + 993310 = 1435900 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_2 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_2}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_2 = \frac{1}{E \cdot (I_4 + I_3)} \int_{365}^{425} M_2 \cdot \frac{\partial M_2}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot (I_4 + I_3)} \int_{365}^{425} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_2 = \frac{F}{E \cdot (I_4 + I_3)} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{365}^{425} = \frac{805}{69000 \cdot 1435900} \cdot \left( \frac{425^3}{3} - \frac{365^3}{3} \right) = \mathbf{0,0762 \text{ mm}} \quad (9)$$

**For  $425 \leq x \leq 750$ :**

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_3 = 993310 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_3 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_3}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_3 = \frac{1}{E \cdot I_3} \int_{425}^{750} M_3 \cdot \frac{\partial M_3}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot I_3} \int_{425}^{750} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_3 = \frac{F}{E \cdot I_3} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{425}^{750} = \frac{805}{69000 \cdot 993310} \cdot \left( \frac{750^3}{3} - \frac{425^3}{3} \right) = \mathbf{1,351 \text{ mm}} \quad (9)$$

For  $750 \leq x \leq 810$ :

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_3 + I_2 = 993310 + 1873066 = 2866376 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_4 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_4}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_4 = \frac{1}{E \cdot (I_3 + I_2)} \int_{750}^{810} M_4 \cdot \frac{\partial M_4}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot (I_3 + I_2)} \int_{750}^{810} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_4 = \frac{F}{E \cdot (I_3 + I_2)} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{750}^{810} = \frac{805}{69000 \cdot 2866376} \cdot \left( \frac{810^3}{3} - \frac{750^3}{3} \right) = \mathbf{0,149 \text{ mm}} \quad (9)$$

For  $810 \leq x \leq 1155$ :

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_2 = 1873066 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_5 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_5}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_5 = \frac{1}{E \cdot I_2} \int_{810}^{1155} M_5 \cdot \frac{\partial M_5}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot I_2} \int_{810}^{1155} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_5 = \frac{F}{E \cdot I_2} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{810}^{1155} = \frac{805}{69000 \cdot 1873066} \cdot \left( \frac{1155^3}{3} - \frac{810^3}{3} \right) = \mathbf{2,095 \text{ mm}} \quad (9)$$

**For  $1155 \leq x \leq 1215$ :**

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_2 + I_1 = 1873066 + 3159179 = 5032245 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_6 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_6}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_6 = \frac{1}{E \cdot (I_2 + I_1)} \int_{1155}^{1215} M_6 \cdot \frac{\partial M_6}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot (I_2 + I_1)} \int_{1155}^{1215} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_6 = \frac{F}{E \cdot (I_2 + I_1)} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{1155}^{1215} = \frac{805}{69000 \cdot 5032245} \cdot \left( \frac{1215^3}{3} - \frac{1155^3}{3} \right) = \mathbf{0,195 \text{ mm}} \quad (9)$$

**For  $1255 \leq x \leq 1600$ :**

Her er gjeldene annet arealmoment:  $I_1 = 3159179 \text{ mm}^4$

Det løpende momentet blir:

$$M_7 = -F \cdot x$$

Den partielt deriverte av momentet med hensyn på kraften blir:

$$\frac{\partial M_7}{\partial F} = -x$$

Den relative nedbøyningen blir:

$$y_7 = \frac{1}{E \cdot I_1} \int_{1215}^{1600} M_7 \cdot \frac{\partial M_7}{\partial F} dx = \frac{1}{E \cdot I_1} \int_{1215}^{1600} (-F \cdot x) \cdot (-x) dx \quad (9)$$

$$y_7 = \frac{F}{E \cdot I_1} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_{1215}^{1600} = \frac{805}{69000 \cdot 3159179} \cdot \left( \frac{1600^3}{3} - \frac{1215^3}{3} \right) = \mathbf{2,835 \text{ mm}} \quad (9)$$

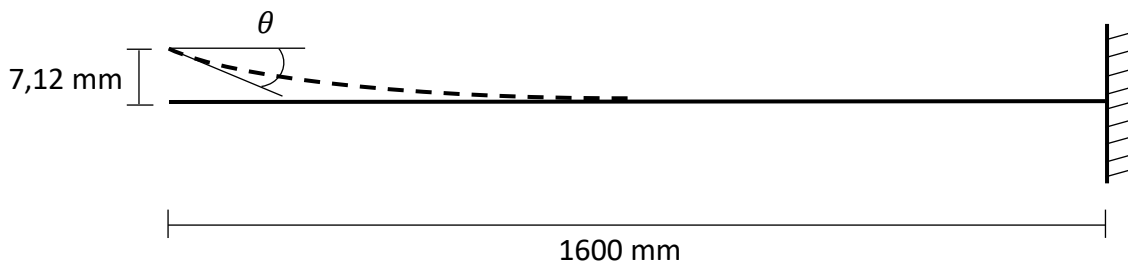
**Totale nedbøyningen**

Den totale nedbøyningen finnes ved summasjon av alle øvrige deformasjonene:

$$y_{tot} = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7$$

$$y_{tot} = 0,427 + 0,0762 + 1,351 + 0,149 + 2,095 + 0,195 + 2,835 = \mathbf{7,12 \text{ mm}}$$

Hvis man videre antar at motoren/motorbrakketten er helt stiv kan man beregne vinkelforandringen på propellbladene.



**Figur 9.8: Nedbøyningen av opphengsarmen med en vinkelforandring på enden.**

Med utgangspunkt i formler hentet fra tekniske tabeller [41] kan man beregne vinkelen på propellbladene. Formelverket gir:

Nedbøyning for fastopplagret utkragerbjelke (med samme arealmoment over hele bjelken):

$$y_{tot} = \frac{F_i \cdot l^3}{E \cdot I \cdot 3} \rightarrow \left( \frac{F_i \cdot l^2}{E \cdot I} \right) = y_{tot} \cdot \frac{3}{l} \quad (11)$$

Formelen for vinkelen som er tangentiell med punktet ved maks nedbøyning:

$$\theta = \frac{F_i \cdot l^2}{E \cdot I \cdot 2} = \left( \frac{F_i \cdot l^2}{E \cdot I} \right) \cdot \frac{1}{2} \quad (12)$$

Ved å sette de øvrige formlene inn i hverandre fjernes arealmomentet og man får da:

$$\theta = y_{tot} \cdot \frac{3}{l} \cdot \frac{1}{2} = 7,12 \cdot \frac{3}{1600} \cdot \frac{1}{2} = \mathbf{6,675 \cdot 10^3 \text{ radianer}} \quad (11)(12)$$

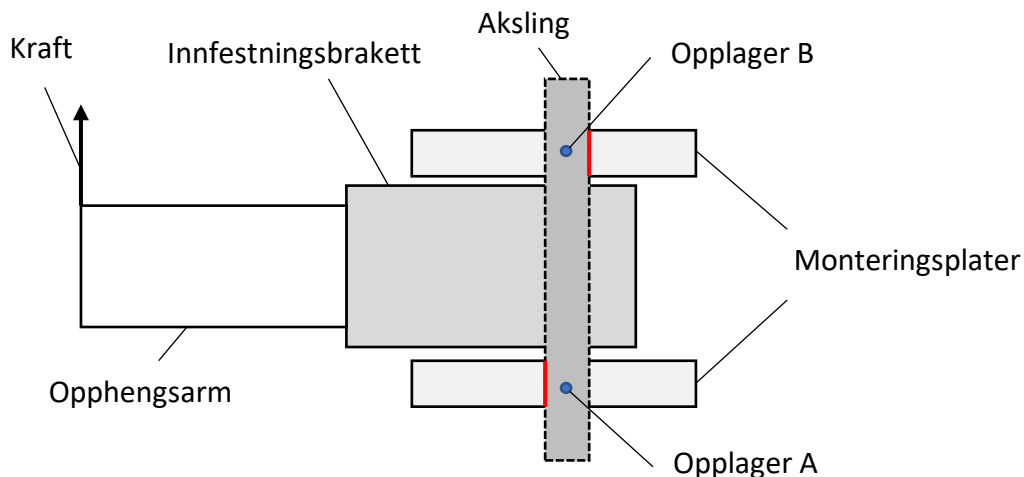
Vinkelen i grader blir:

$$\theta(\text{grader}) = \frac{6,675 \cdot 10^3}{2\pi} \cdot 360 = \mathbf{0,38^\circ}$$

En vinkelforandring på 0,38° er veldig lite og vil ikke drastisk påvirke egenskapene og manøvreringen til dronebilen. Men vinkelforandringen vil i realiteten være noe større da forutsetningene for nedbøyningsberegningene gir lavere deformasjon enn hva som antas å være reelt.

### 9.3 Knutepunkt beregninger

Den innerste stegprofilen på opphengsarmen er festet til en innfestningsbrakett. Denne braketten er videre festet til dronemodulen med komponenter som kan ses på som en gjennomgående aksling. Akslingen danner et knutepunkt mellom monteringsplater og innfestningsbrakett. Ved bøyepåkjenning av opphengsarmen vil det oppstå et moment på akslingen som medfører hullkantrykk i monteringsplatene, utrivning av materialet på monteringsplatene og avskjæring av akslingen.



**Figur 9.9: Knutepunktet for innfestning av opphengsarmene til dronemodulen. De røde områdene markerer trykkutsatte flater mellom akslingen og monteringsplatene.**

Forutsetningene for beregningene er basert på dimensjoner som er satt i konseptdesignet. Disse oppsummeres i tabellen under.

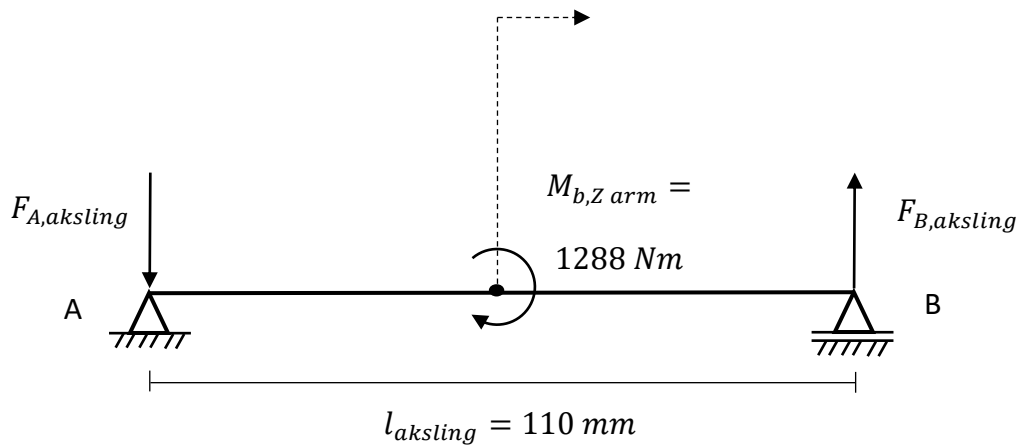
**Tabell 9.3: Forutsetninger for beregning av knutepunkt.**

Symbol	Dimensjon	Begrunnelse
$l_{plate}$	118 mm	Avstanden mellom monteringsplatene
$t_{plate}$	10 mm	Tykkelsen på én plate.
$l_{aksling}$	110 mm	Avstanden mellom opplager A og B (se figuren 9.9)
$M_{b,z arm}$	1288 Nm	Momentet som virker på akslingen (seksjon 6.4.1)
$d_{plate}$	44 mm	Diameteren på hullet i monteringsplatene.
$d_{ytre,aksling}$	38 mm	Ytre diameteren på akslingen ved skjærutsatt området.
$d_{indre,aksling}$	30 mm	Indre diameteren på akslingen ved skjærutsatt området.

#### 9.3.1 Hullkantrykk i monteringsplatene

Får å beregne hullkantrykket settes det opp en beregningsmodell for akslingen. Opplagrene for akslingen ses på som fritttopplagret og plasseres i senter av hullene i monteringsplatene som vist på figur 9.9. Den største bøyepåkjenningen oppstår ved vertikalbelastning.





Figur 9.10: Stripplet linje og pil viser kraften som virker på én opphengsarm som resulterer i et moment, som plasseres i senter av akslingen.

Det ses kun på de vertikale opplagerkreftene. Ved å sette momentet om opplager A lik null får vi:

$$\sum \overset{\rightarrow}{M}_A = 0 \quad \rightarrow \quad M_{b,Z arm} - F_{B,aksling} \cdot l_{aksling} = 0$$

$$F_{B,aksling} = \frac{M_{b,Z arm}}{l_{aksling}} = \frac{1288 \text{ Nm}}{0,110 \text{ m}} = \mathbf{11709,1 \text{ N}} \quad (3)$$

Kreftene i opplagene A og B vil være like store, men motsatt rettet.

Basert på diameteren på akslingen og tykkelsen på platen blir det trykkutsatte arealet:

$$A_{hull} = d_{plate} \cdot t_{plate} = 44 \cdot 10 = 440 \text{ mm}^2$$

Dette gir et hullkanttrykk på:

$$p_{hull} = \frac{F_{B,aksling}}{A_{hull}} = \frac{11709,1}{440} = \mathbf{26,61 \text{ MPa}} \quad (10)$$

Det vil ikke beregnes utrivning av materialet, da spenningene antas å være neglisjerbare på grunn av dimensjonene på monteringsplatene. Hullkanttrykket vil dannegrunlaget for materialvalget i seksjon 11.1.3.

### 9.3.2 Avskjæring av aksling

De samme opplagerkreftene funnet i forrige seksjon vil bidra til avskjæring av akslingen. Skjærkreftene vil fordeles på akslingens areal som ses på som et rør med en indre og ytre diameter. Dette gjelder komponentene: hurtigkobling til chassis (del 4) og feste for fallskjerm (del 5).

Arealet blir:

$$A_{aksling} = \frac{\pi \cdot d_{yt\ddot{r}e,aksling}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{indre,aksling}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 38^2}{4} - \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = \mathbf{427 \text{ mm}^2}$$

Skjærspenningen blir da:

$$\tau_{aksling} = \frac{F_{B,aksling}}{A_{aksling}} = \frac{11709,1}{813} = \mathbf{27,4 \text{ MPa}} \quad (6)$$

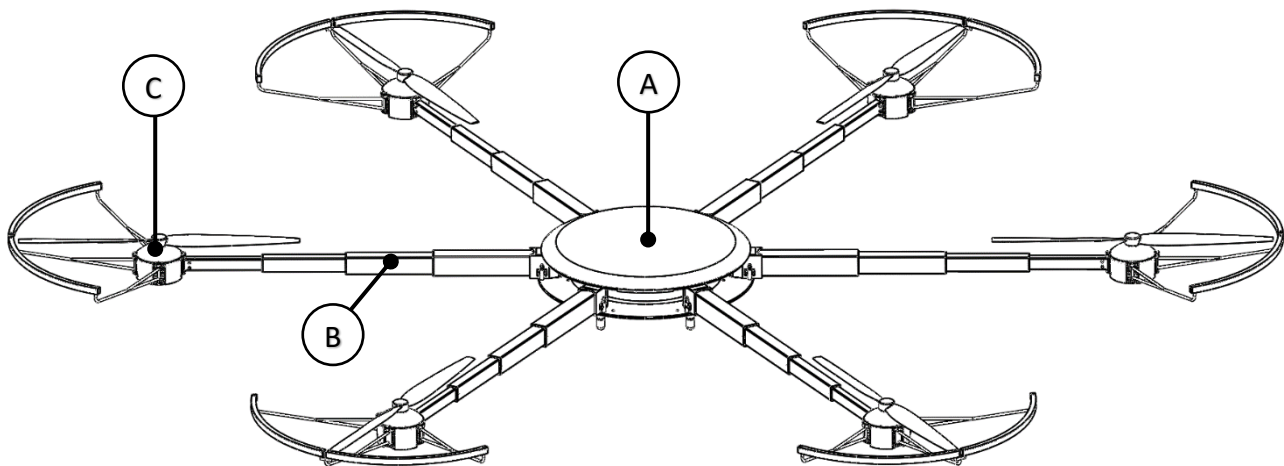
Skjærspenningen vil danne grunnlaget for materialvalget i seksjon 11.1.3.

## 10 PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

I dette kapittelet fremstilles konseptdesignet, som er 3D CAD modellert i SolidWorks, basert på utvelgelsen av de foretrukne løsningsalternativene. Hensikten med dette er å vise helhetsdesignet av dronemodulen, og design av enkelt komponenter og hvor de er plassert i forhold til hverandre.

### 10.1 Sammenstilling

Figuren under viser sammenstillingen av alle komponentene på dronemodulen i flymodus. Det velges å dele dronemodulen inn i tre hoveddeler: hovedkropp, opphengsarm og thruster/propellskjerming.

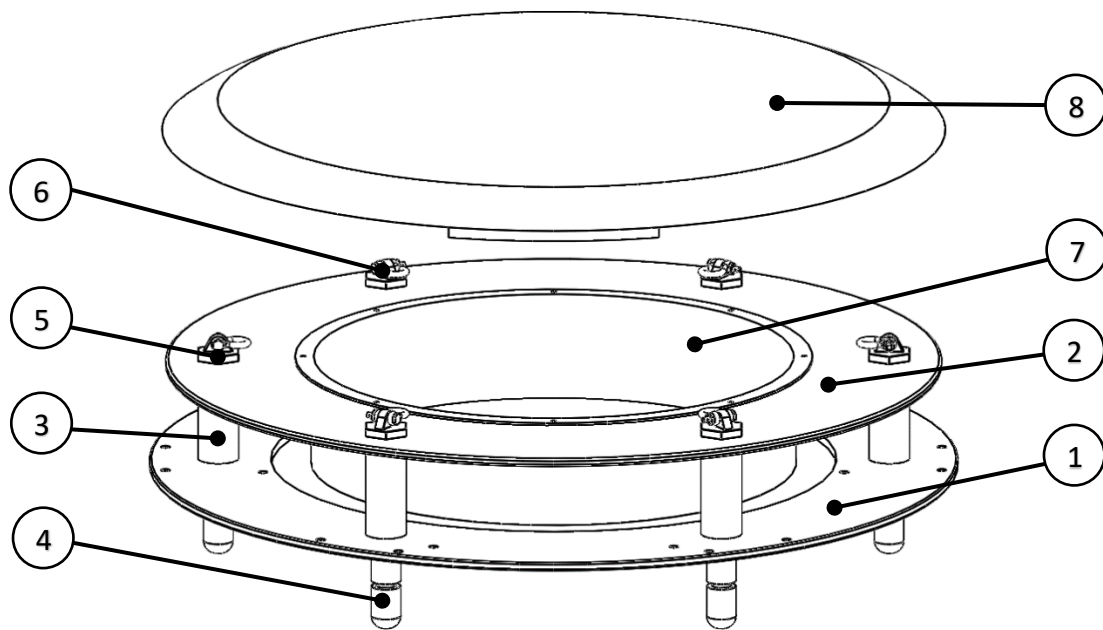


Figur 10.1: Sammenstillingstegning, A) hovedkropp, B) opphegsarm og C) thruster/propellskjerming.

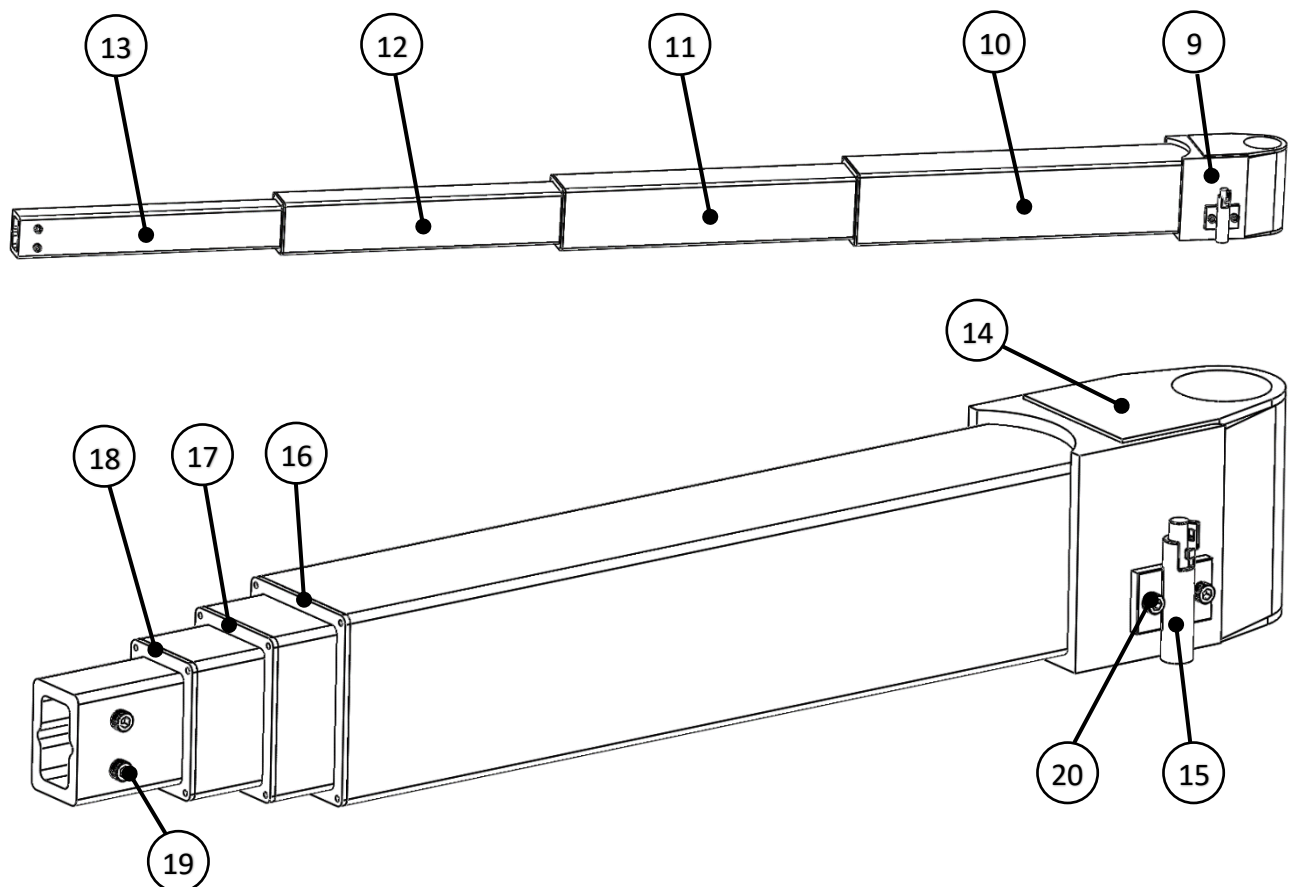
I tabellen under fremkommer del nr. for alle komponentene i dronemodulen. Videre følger en anvisning på plassering innenfor de respektive hoveddelene.

Tabell 10.1: Delliste for dronemodul.

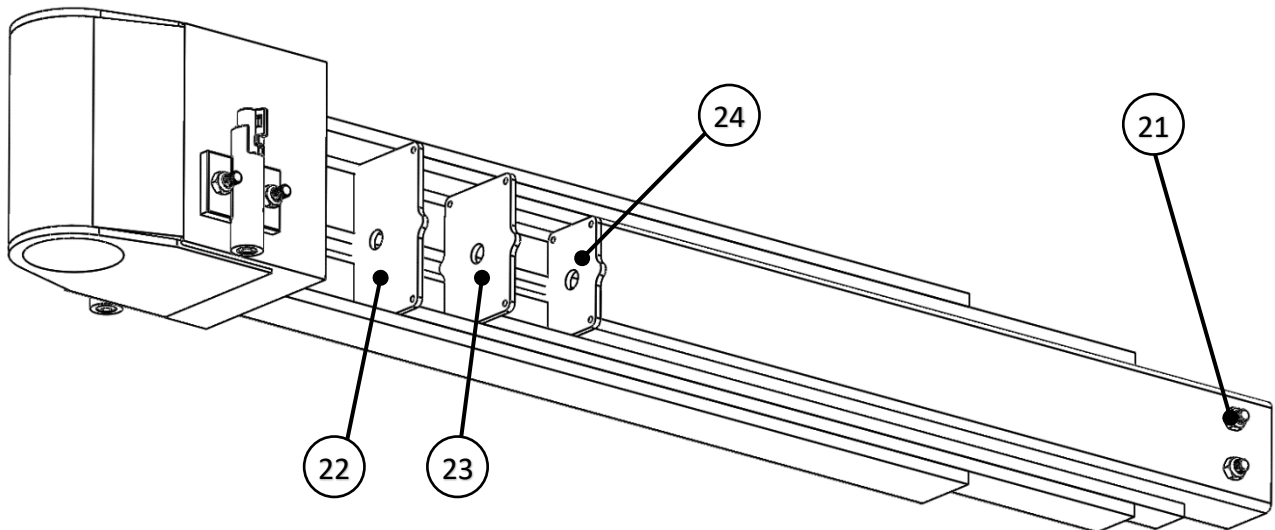
Del	Navn	Del	Navn	Del	Navn
1	Monteringsplate (under)	13	Stegprofil (P4)	25	Roterende sidestag
2	Monteringsplate (over)	14	Slitebelegg	26	Fastmontert stag
3	Gjenget rør	15	Fjærlås	27	Innfestning til stegprofil
4	Hurtigkobling til chassis	16	Frontlokk (P1)	28	Propellskjerm
5	Feste for fallskjerm	17	Frontlokk (P2)	29	Propp
6	Sjakkell	18	Frontlokk (P3)	30	Seegerring Ø 5
7	Fallskjermbeholder	19	Bolt M6 x 46	31	Motorskjerm
8	Deksel	20	Bolt M6 x 115	32	Propell
9	Innfestningsbrakett	21	Nylock mutter M6	33	Motorbrakett ring
10	Stegprofil (P1)	22	Baklokk (P2)	34	Bolt M6 x 100
11	Stegprofil (P2)	23	Baklokk (P3)	35	Nylock mutter M6
12	Stegprofil (P3)	24	Baklokk (P4)	36	Lynch motor

**Hovedkropp (A)**

Figur 10.2: Figuren viser hovedkroppen med komponentene 1-8 der dekslet (8) er elevvert.

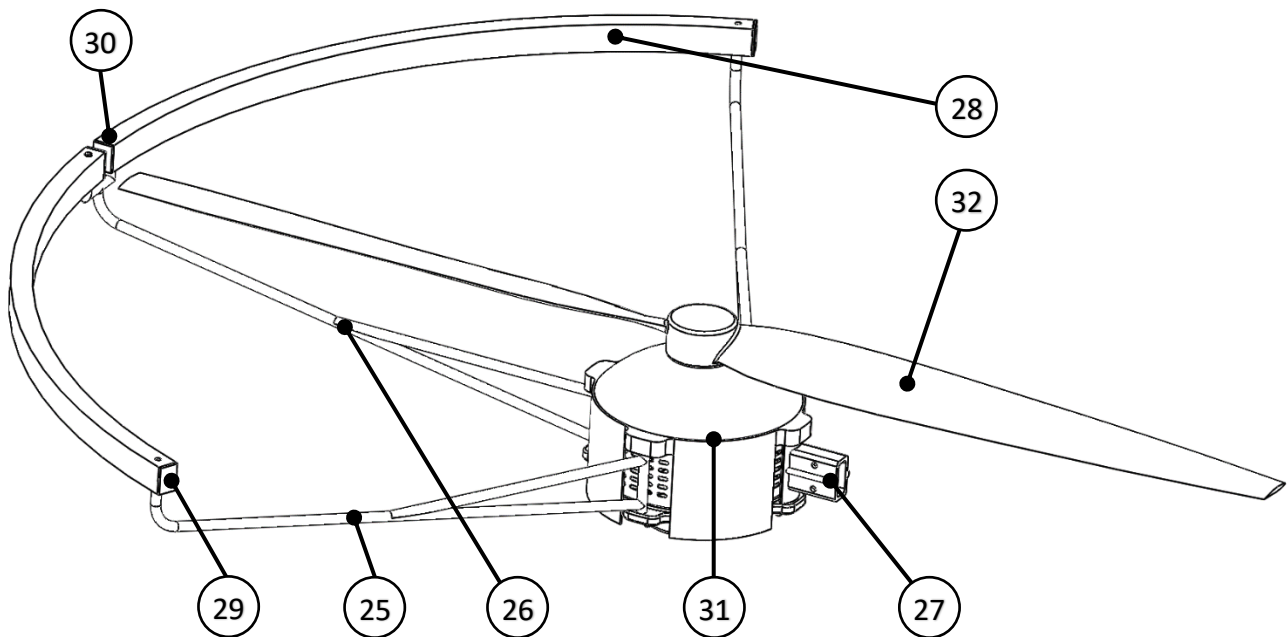
**Opphengsarm (B)**

Figur 10.3: Figuren viser opphengsarmen i utfoldet tilstand øverst og i en delvis teleskopert tilstand nederst. Øverste figur inneholder komponentene 9-13 og nedre figur inneholder komponentene 14-20.

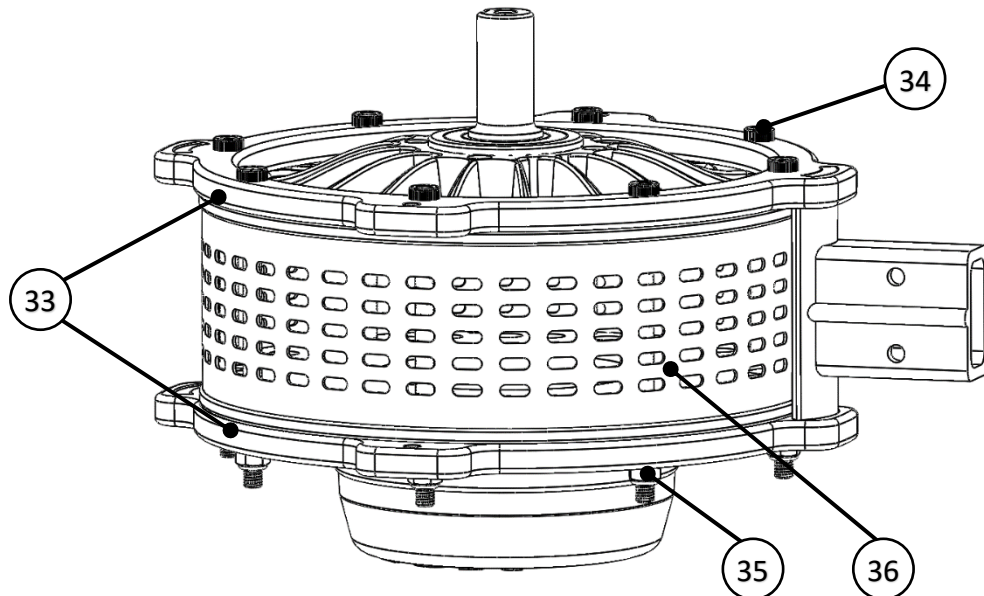


Figur 10.4: Figuren viser komponenter på innsiden av opphengsarmen som er delvis teleskopert. Her fremkommer komponentene 21-24.

**Thruster/propellskjerming (C)**



Figur 10.5: Figur viser thrusteren og propellskjermingen i utfoldet tilstand. Her fremkommer komponentene 25-32.

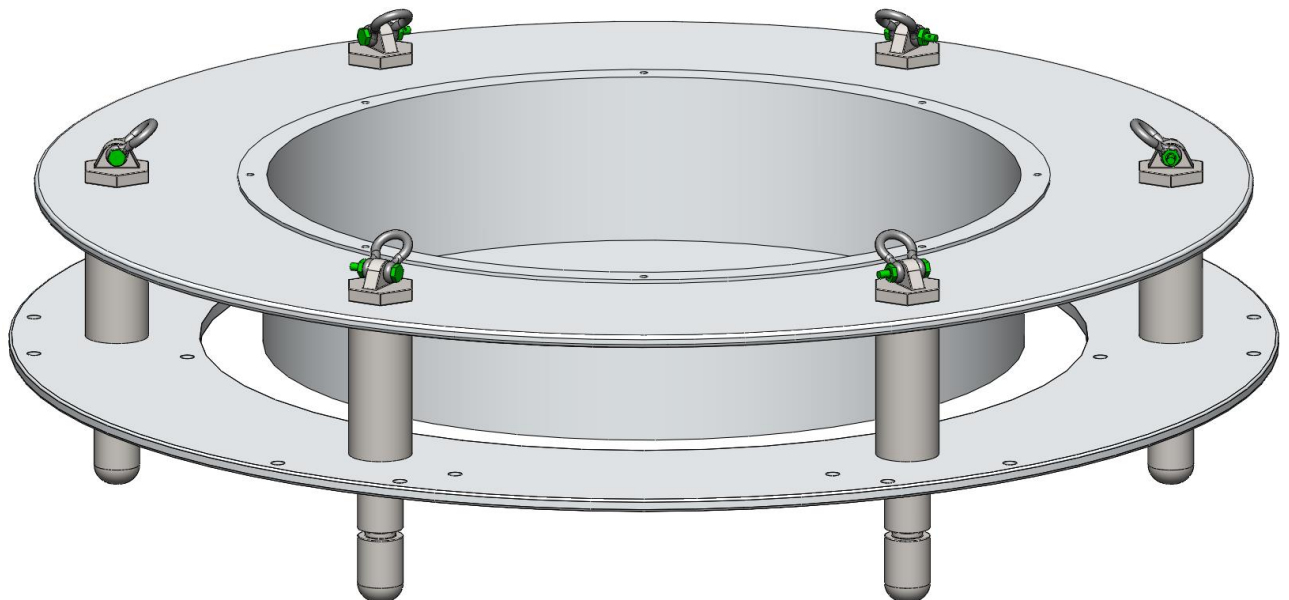


Figur 10.6: Figuren viser motoren og øvrige komponenter for motorbrakett. Her fremkommer komponentene 33-36.

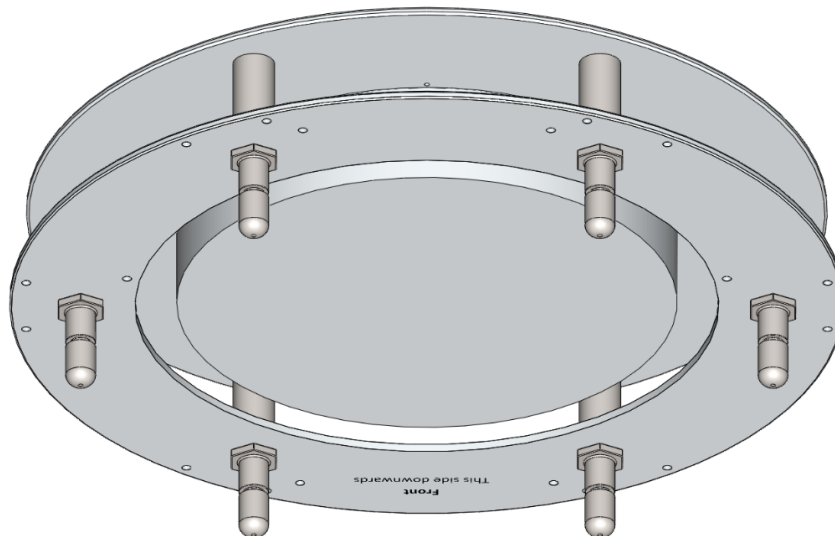
## 10.2 Design av hovedelementer

I denne seksjonen fremkommer designet av ulike hovedelementer i dronemodulen. Det vises hvordan ulike komponenter er sammenstilt og hensikten med spesifikke designvalg.

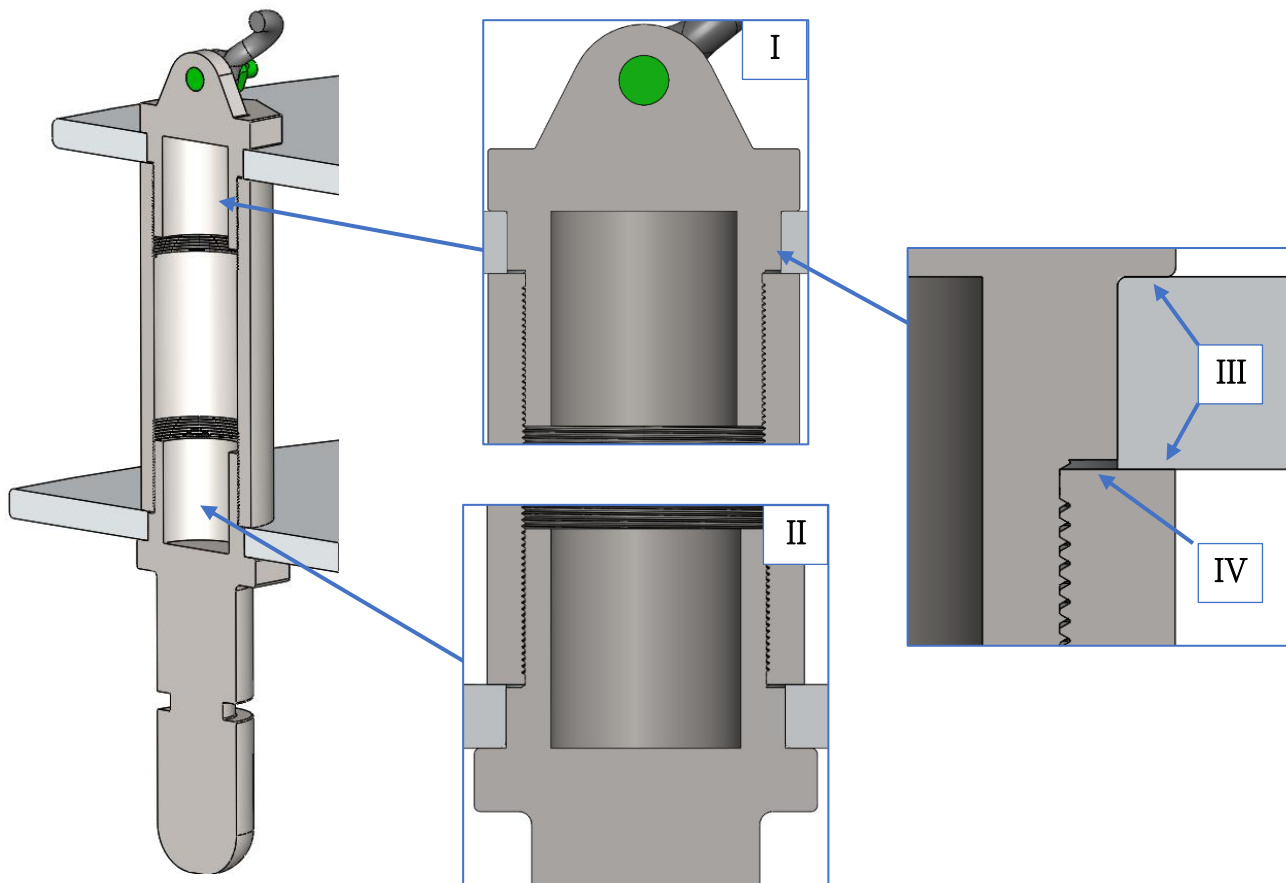
### Design av elementer i hovedkroppen (A)



Figur 10.7: Figuren viser oversiden av hovedkroppen uten deksel. Beholderen til fallskjerm og resten av redningssystemet, festes i senter av den øvre monteringsplaten. Fallskjermtauene festes til sjaklene.



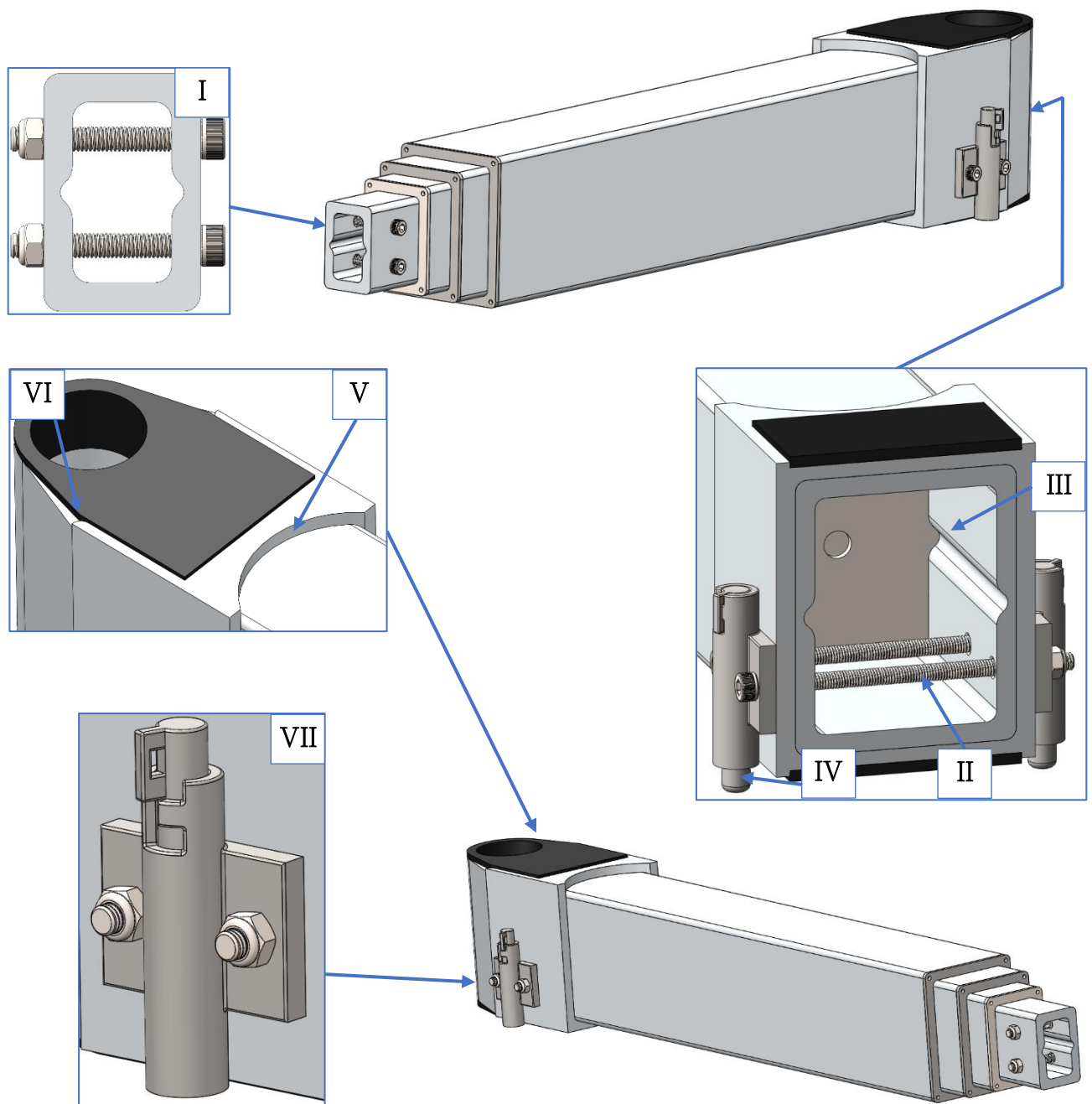
Figur 10.8: Figuren viser undersiden av hovedkroppen. Hurtigkoblingene til chassis stikker ut i underkant. Disse er plassert langs en sirkel med diameter 830 mm, det vil si at de festes direkte til rammeverket på konstruksjonsforslaget til Thomas [10].



Figur 10.9: Figuren til venstre viser knutepunktet som binder platene sammen og fungerer som rotasjonsopplagring for opphengsarmene. Mellom platene er det plassert et delvis gjenget rør.

- I) Figuren viser at komponenten for innfestning av fallskjerm er plassert gjennom hullet på den øvre monteringsplaten og skrudd inn i røret. Her må man bruke skruelim for å sikre forbindelsen.
- II) Figuren viser hurtigkoblingen til chassis som på samme måte er skrudd fast i røret på undersiden.
- III) Viser anleggsflatene mellom øvre monteringsplate og knutepunktforbindelse (samme for nedre plate).
- IV) Viser et luftrom mellom røret og komponenten som skrues ned. Dette for at knutepunktforbindelsen skal bli fast (samme for nedre plate).

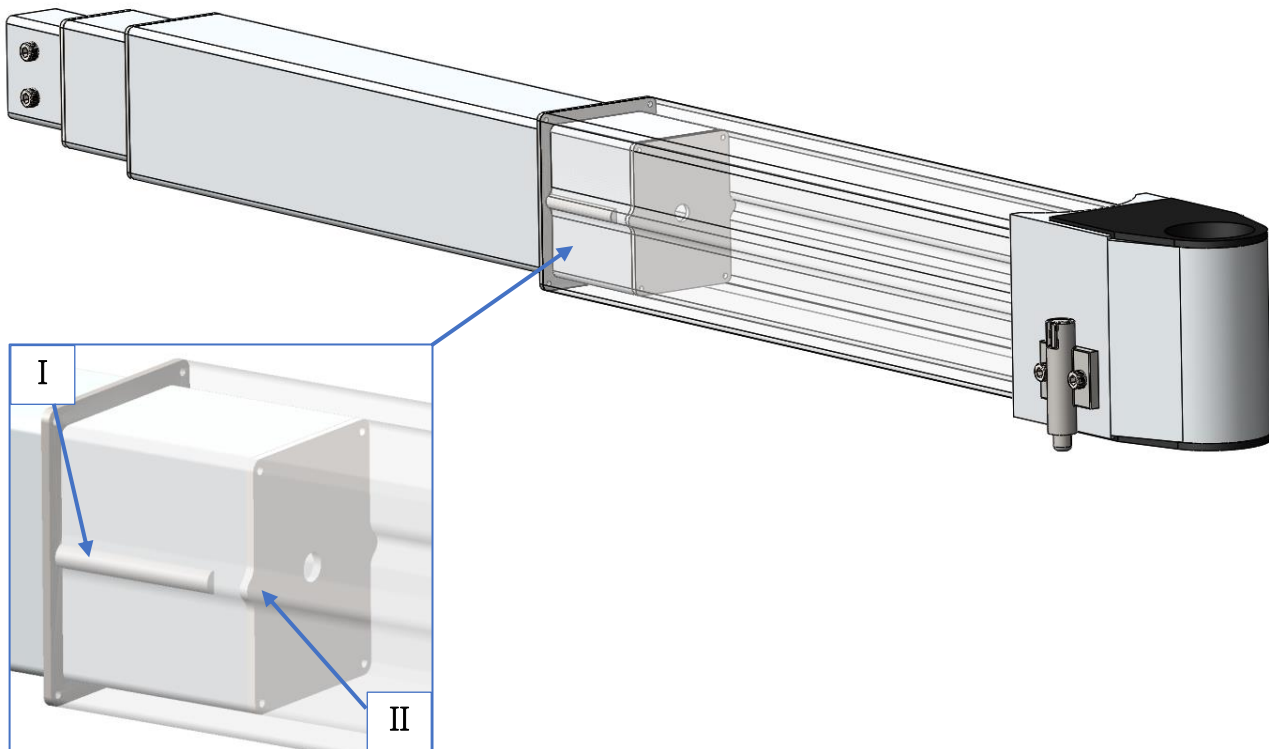
## Design av elementer i opphengsarmen (B)



Figur 10.10: Hovedfigurene viser opphengsarmen delvis teleskopert.

- I) Figuren viser gjennomgående bolter som brukes til å feste thrusteren til opphengsarmen.
- II) Viser gjennomgående bolter som brukes til å skape en solid forbindelse mellom innerste stegprofil og innfestningsbraketten. De brukes også til å feste fjærlåsene på hver sin side.
- III) Viser styringsspor i stegprofilen og styringsgeometri på bakløkket. (samme for alle stegprofiler)
- IV) Viser fjærlåsen i låsingsposisjon.
- V) Kontaktpunktet mellom innerste stegprofil og innfestningsbrakett. Kanten vil være brytningsområdet ved bøyepåkjenning og ved å ha en større lengde på denne kanten reduseres trykket på overflaten av stegprofilen.
- VI) Viser slitebelegget plassert på oversiden av innfestningsbraketten. Platebelegget ligger innenfor et frest område som låser den i riktig posisjon.
- VII) Viser fjærlåsen.

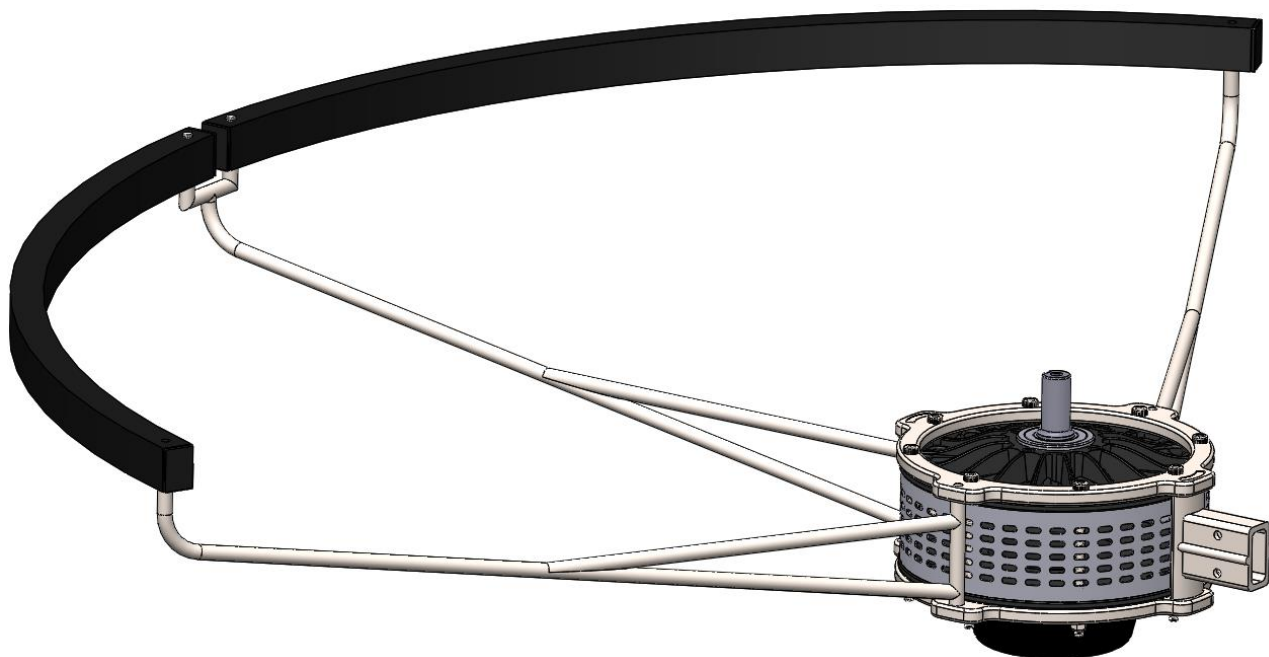




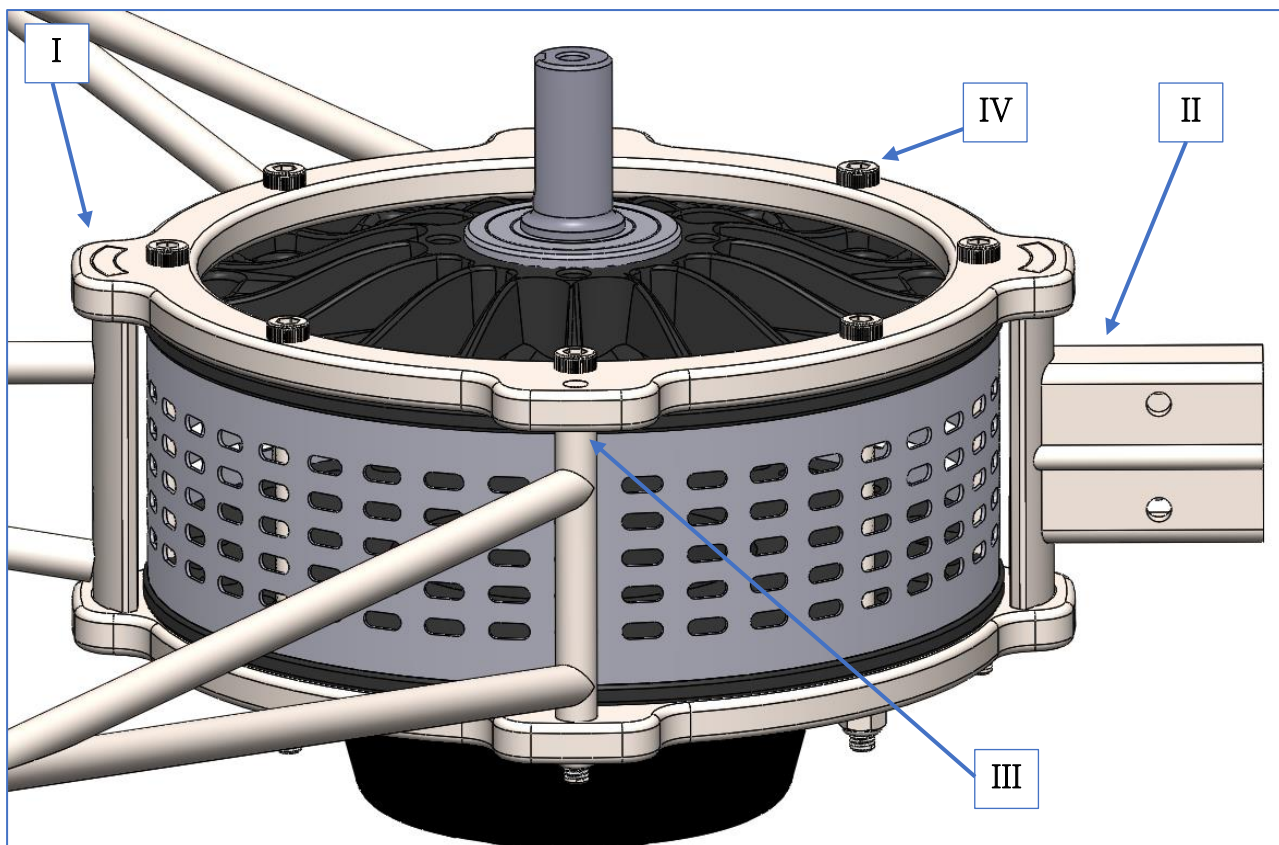
Figur 10.11: Figuren viser opphengsarmen der den innerste stegprofilen er transparent.

- I) Viser frontlokket til den innerste stegprofilen. Det stikker en pinne inn på hver side i styresporet på innsiden av profilen.
- II) Viser baklokket til den nest innerste stegprofilen. Disse lokkene danner endestopperen for teleskoperingen.

**Design av elementer i thruster/propellskjerming (C)**

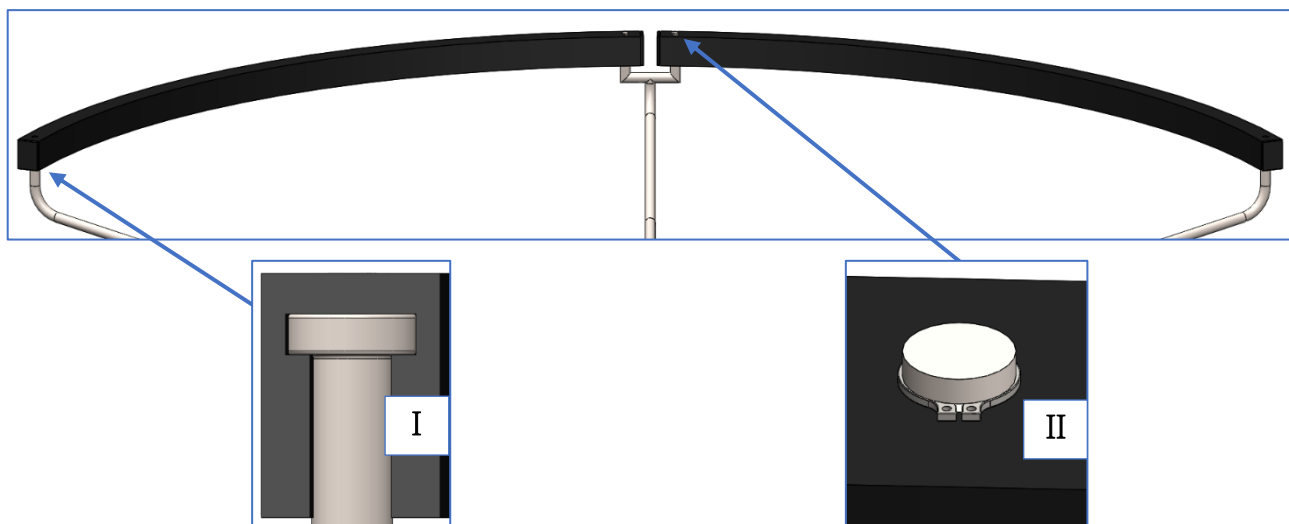


Figur 10.12: Figuren viser thruster/propellskjerming uten motorskjerm og propell.



Figur 10.13: Figuren viser motoren med komponenter som danner motorbraketten, stag til propellskjerming og innfestning til opphengsarm.

- I) Viser fastmontert stag klemt fast på over og undersiden mellom braketteringene.
- II) Viser innfestningen til opphengsarmen. Festet på samme måte som forrige stag.
- III) Viser roterende sidestag.
- IV) Viser gjennomgående bolter som fester braketteringene sammen.

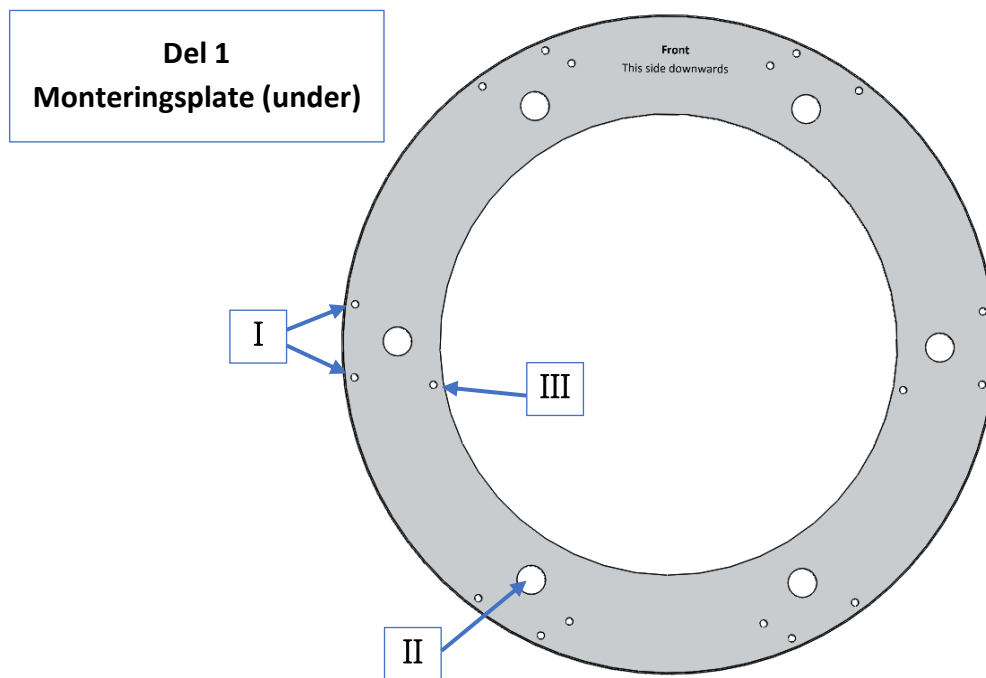


Figur 10.14: Figuren viser tuppen av stagen og propellskjermene.

- I) Viser utformingen på tuppen av sidestaget, og sporet på innsiden av propellskjermen.
- II) Viser tuppen på det fastmonterte staget, der propellskjermen er festet med en seegerring som gjør at propellskjermen kan rotere om dette punktet.

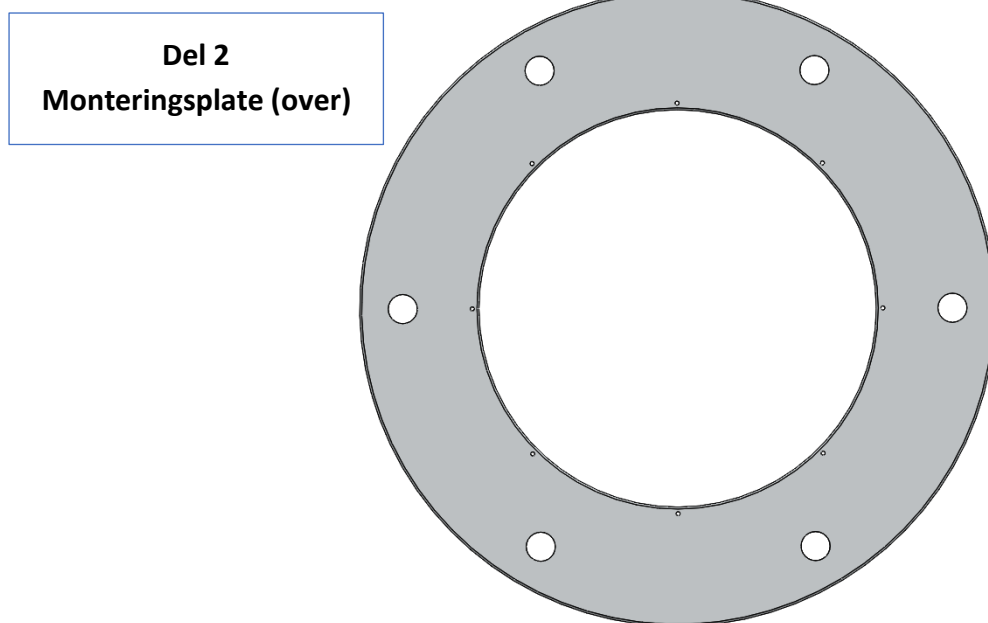
10.3 Design av komponenter

I denne seksjonen fremstilles designet av alle de respektive komponentene fra tabell 10.1.

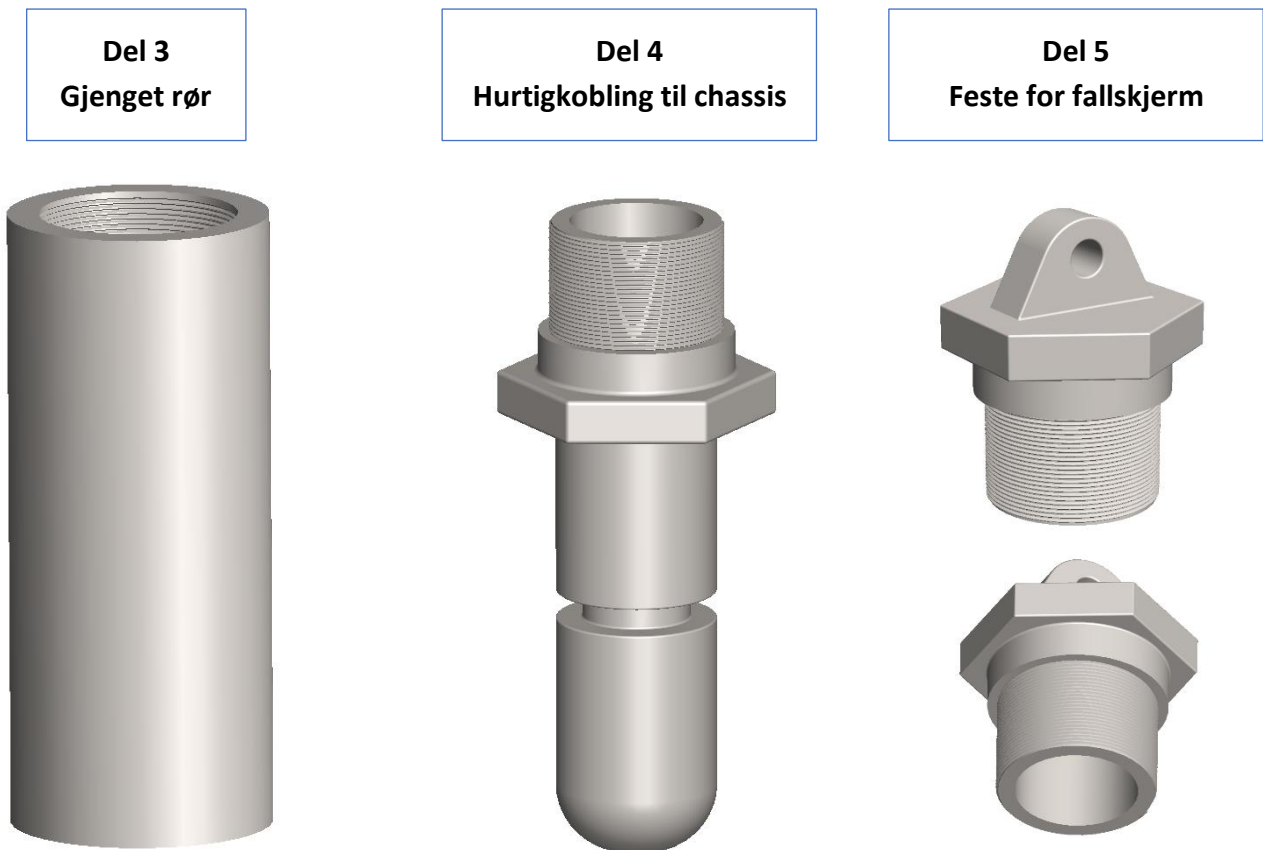


Figur 10.15: Platen merkes med «Front, this side downwards» for å sikre korrekt plassering av hullene.

- I) Disse hullparene er symmetrisk rotert rundt platen. Hullenes funksjon omhandler låsing av opphengsarmene i flymodus.
- II) Disse hullene er også symmetrisk rotert om platen. Hullenes funksjon omhandler sammenføring av knutepunkt mellom platene og opplagring til opphengsarmene.
- III) De resterende hullene er kun symmetrisk om den vertikale senteraksen. Hullenes funksjon omhandler låsing av opphengsarmene i kjøremodus.



Figur 10.16: Funksjonen til de store hullene omhandler sammenføring av knutepunkt mellom platene og opplagring til opphengsarmene. De små hullene er innfestningshull til fallskjermbeholder.

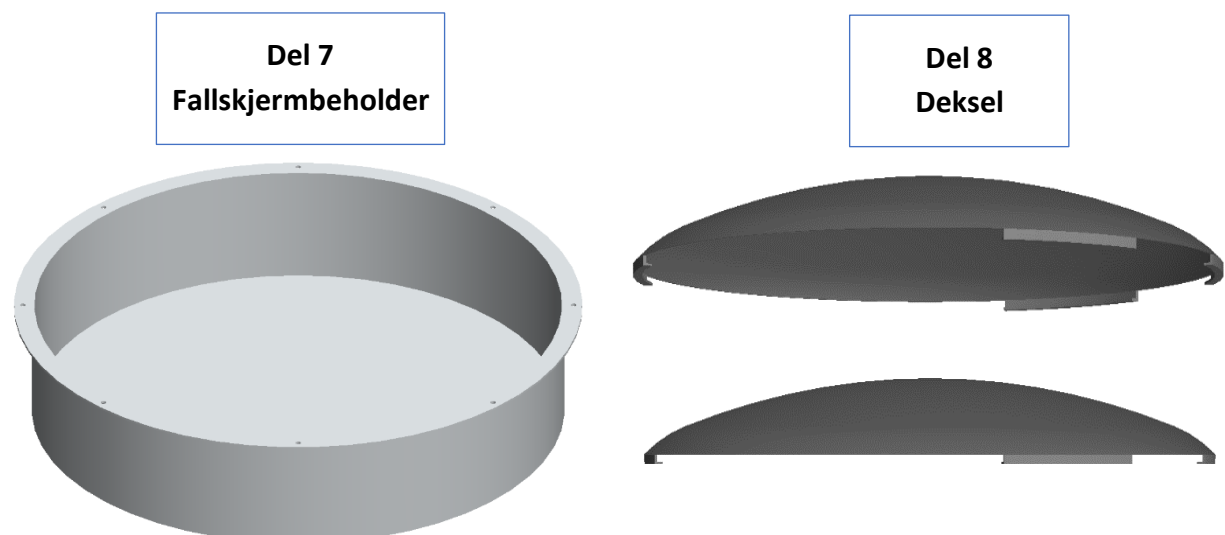


Figur 10.17: Figuren viser komponentene 3-5 som danner knutepunktet.

**Del 3:** Røret er ikke gjenget hele veien, men et stykke inn fra hver side.

**Del 4:** Viser et sirkulært spor på akslingen som fungerer som låsemekanisme til kabinmodulen. Det er også en sekskant med nøkkelvidde 50 mm for å stramme componenten til røret.

**Del 5:** Øvre del med hull fungerer som innfestning til sjakkel/fallskjerm. Det er en identisk utforming i gjenget parti som del 4 og samme nøkkelvidde for tilstramning.

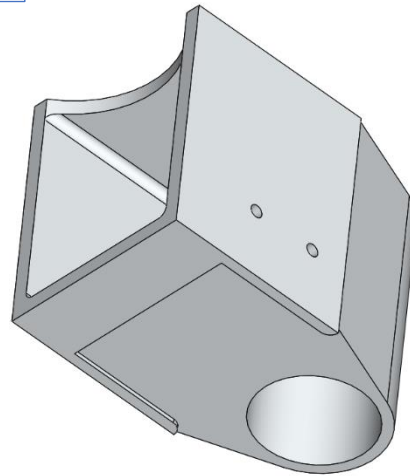
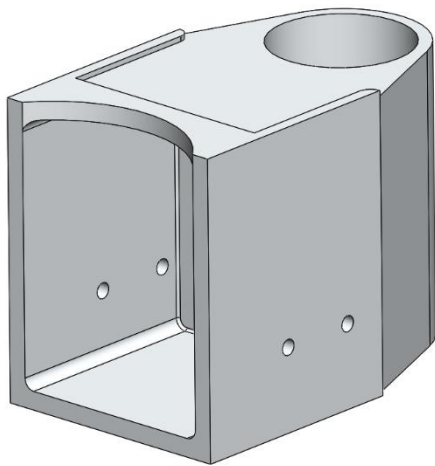


Figur 10.18: Figuren viser komponentene 7 og 8.

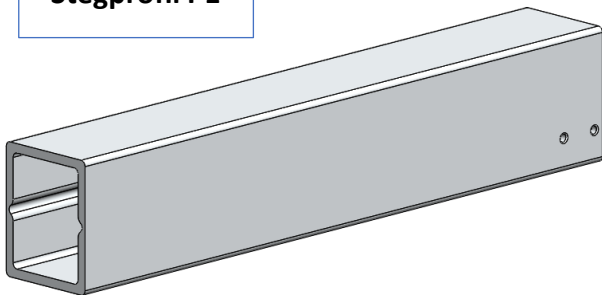
**Del 7:** Hullene langs flensen er tiltenkt montering av beholderen til den øvre monteringsplaten.

**Del 8:** Det er noen klips på undersiden som er tiltenkt montering til den øvre monteringsplaten. Disse presses rundt platen og holder dekselet på plass.

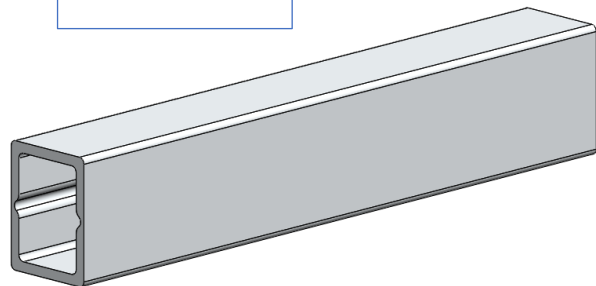
**Del 9  
Innfestningsbrakett**



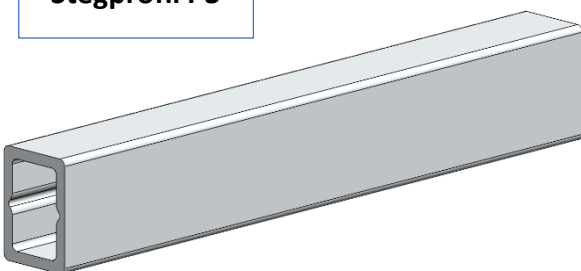
**Del 10  
Stegprofil P1**



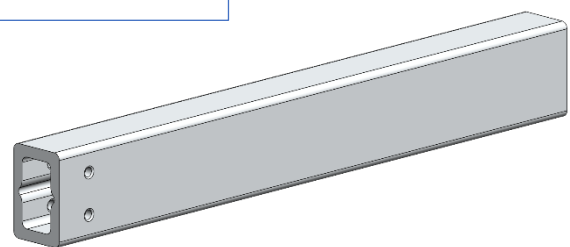
**Del 11  
Stegprofil P2**



**Del 12  
Stegprofil P3**



**Del 13  
Stegprofil P4**

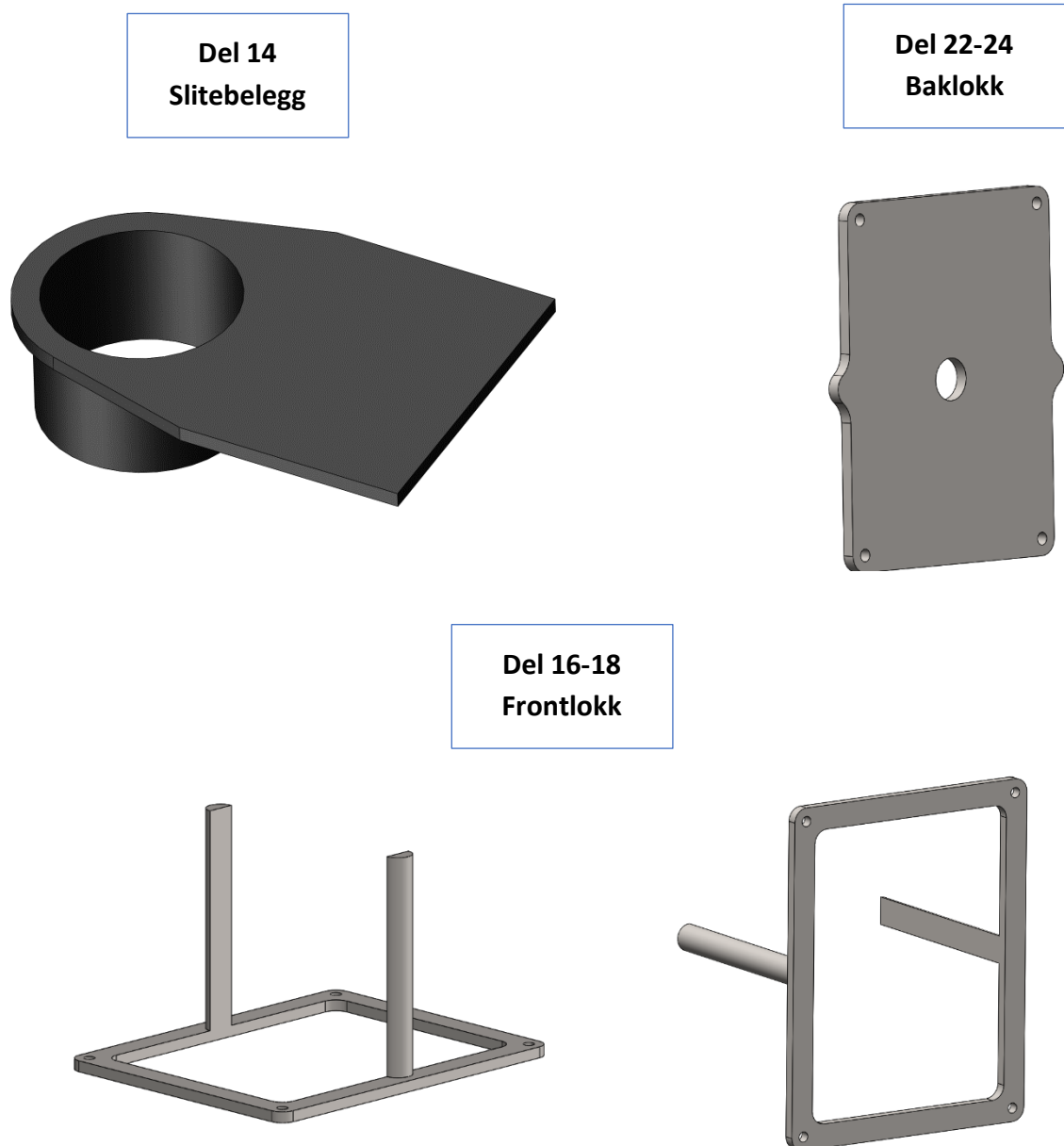


**Figur 10.19:** Figuren viser komponentene 9-13. Alle stegprofilene og innfestningsbrakett.

**Del 9:** Det store sylindriske hullet fungerer som opplagring rundt røret (del 3). De fire hullene på siden er tiltenkt montering av den innerste stegprofilen (del 10) og montering av fjærlåsene (del 15). Det er frest ut et spor på over og undersiden som er tiltenkt montering av slitebelegg (del 14).

**Del 10:** Hullene i bakkant er tiltenkt montering til innfestningsbraketten.

**Del 13:** Hullene i forkant er tiltenkt montering av motorbrakett.

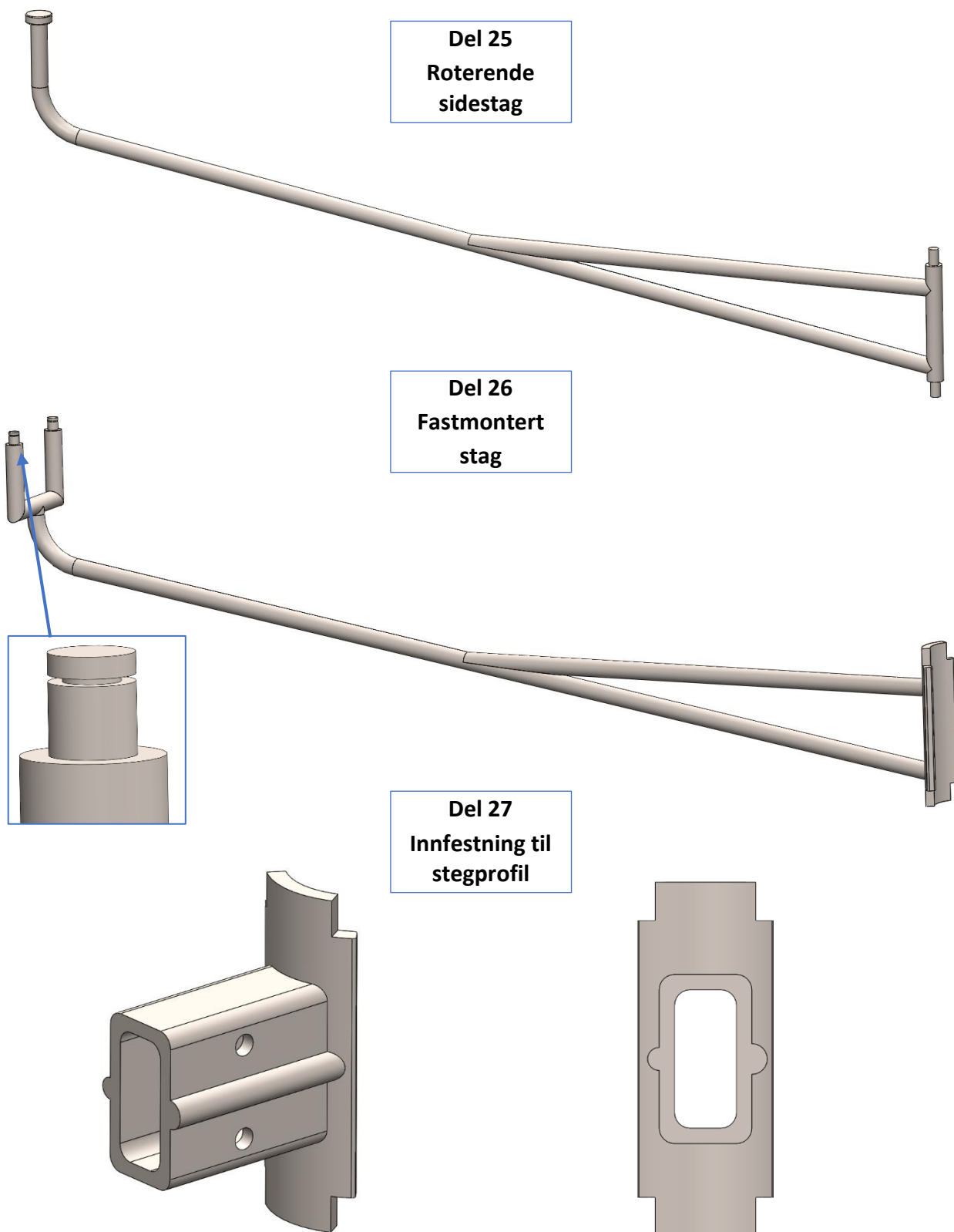


Figur 10.20: Figuren viser komponentene 14, 16-18 og 22-24.

**Del 14:** Plasseres på over og undersiden av innfestningsbraketten (del 9). En utbyttbar del som skal ta opp slitasjen fra roteringssyklar.

**Del 16-18:** To utstikkende pinner som vil plasseres på innsiden av stegprofilene. Det er hull i hjørnene som et forslag til innfestning.

**Del 22-24:** Styringsgeometri stikker ut på sidene. Hullene i hjørnene er et forslag til innfestning. Hullet i midten er tiltenk å sørge for at ledninger kan trekkes gjennom opphengsarmen.

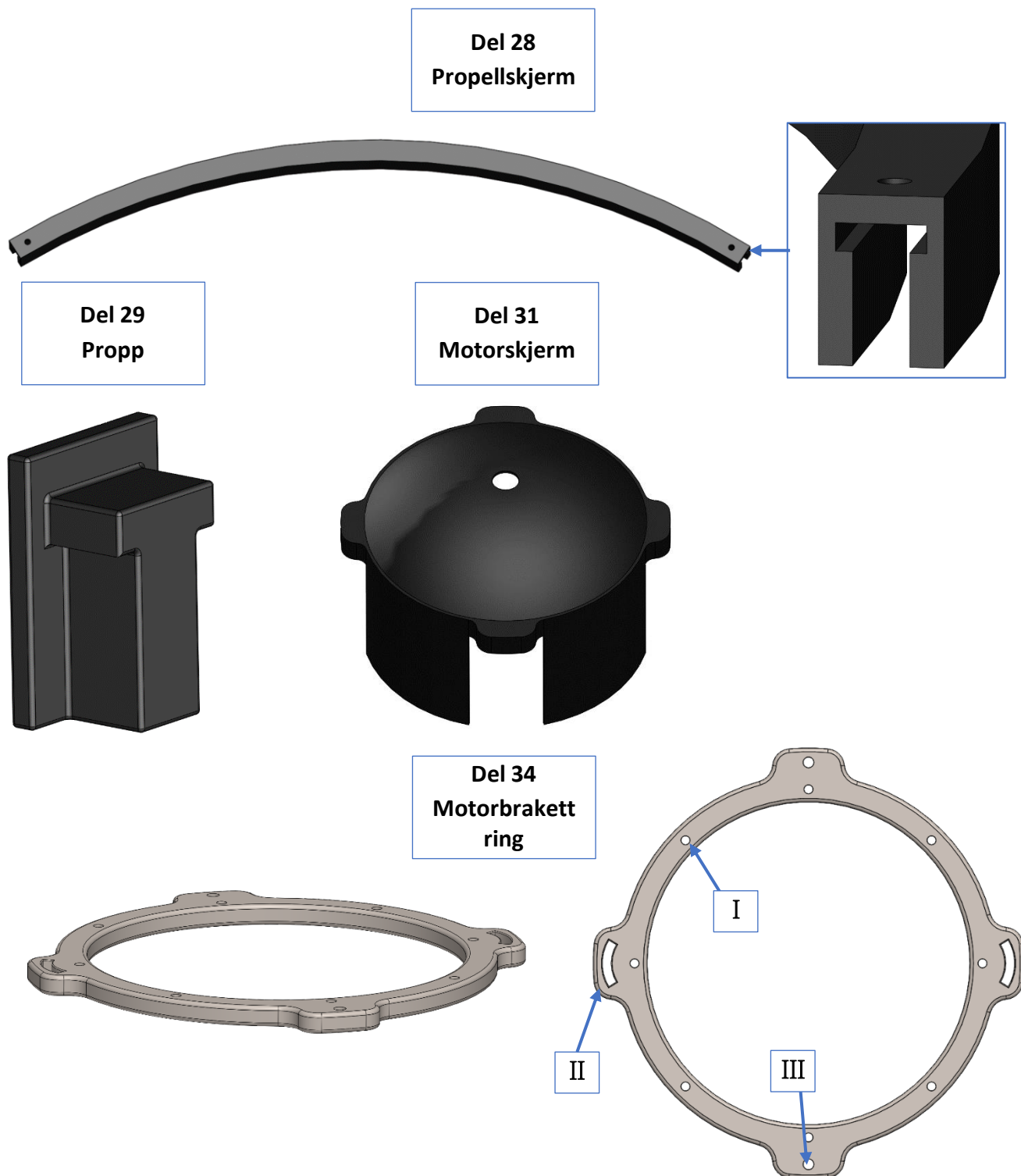


**Figur 10.21:** Figuren viser komponentene 25-27.

**Del 25:** Roterende opplager til høyre. Tuppen på staget (til venstre) plasseres på innsiden av propellskjermen (del 28).

**Del 26:** Fast opplagret til høyre. Tuppen på staget (til venstre) fungerer som roterende opplagring til propellskjermen (del 28). Spor er for plassering av Seegerring.

**Del 27:** Fastopplagret til motorbrakett ringene (del 32) og festes til stegprofil P4 (del 13).



Figur 10.22: Figuren viser komponentene 28,29,31 og 34.

**Del 28:** Spor på innsiden tilsvarende tuppen på det roterende sidestaget (del 25). Et hull på hver ende for innfestning til fastmontert stag (del 26).

**Del 29:** Presses inn på hver side av propellskjermen (del 28).

**Del 31:** Hullet i midten er for aksling på motoren. Utstikkende kanter presses over geometrien på motorbrakett ringen (del 34) for feste.

**Del 34:** I) Innfestningshull til motor.

II) Innfestning av fastmontert stag (del 26) og innfestning til stegprofil (del 27).

III) Innfestning til roterende sidestag (del 25).



10.4 Standardkomponenter

**Del 6**  
**Sjakkkel**



**Del 15**  
**Fjærlås**



**Del 19,20 og 34**  
**M6 bolt**



**Del 21**  
**Nylock mutter**



**Del 30**  
**Seegerring Ø5**



**Del 36**  
**Lynch motor**



Figur 10.23: Figuren viser standardkomponentene 6, 15, 19, 20, 21, 20, 34 og 36.

**Del 6:** H-sjakkkel 0,5 t [44].

**Del 15:** Fjærlås [45].

**Del 19,20 og 34:** Umbraco bolter [46].

**Del 21:** Nylock mutter [47].

**Del 30:** Seegerring [48].

**Del 36:** Lynch motor [50].

## 11 ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG SIKKERHET

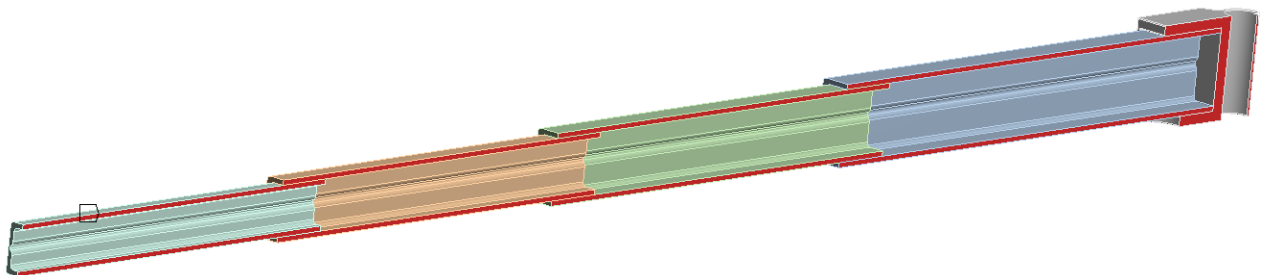
*Dolphin Sky skal gjennomføre flyvninger med en person om bord, det stilles derfor strenge krav til sikkerhet. Det er viktig å dimensjonere en robust konstruksjon og utrede for nødvendige sikkerhetsfunksjoner.*

### 11.1 Konstruksjonssikkerhet

For å bidra til en sikker konstruksjon er det utført en FEM analyse for deformasjon som brukes til å verifisere håndberegningene. Det er videre valgt materiallegeringer for ulike komponenter og fastsatt en sikkerhetsfaktor med tillatte spenningsnivåer som kontrolleres mot opptredende spenninger ved tidligere beregninger. Det velges også overflatebehandling og vedlikeholdshensyn.

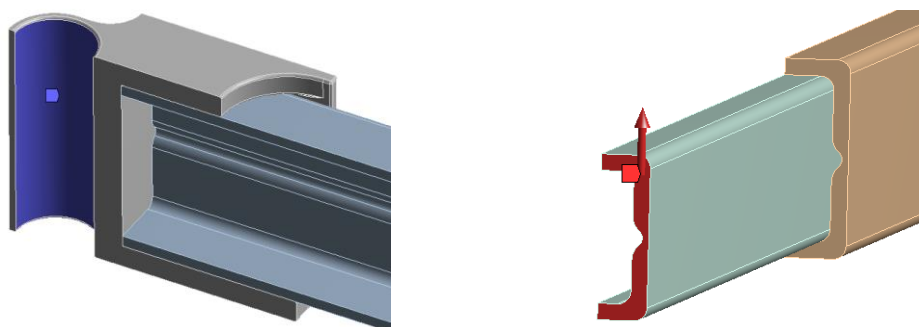
#### 11.1.1 Nedbøyning av opphengsarm

For å verifisere nedbøyningsberegningene fra seksjon 9.2.4, er det utført en FEM analyse for deformasjon. Opphengsarmen ble modellert i Solidworks og importert til Ansys Workbench. Etersom at opphengsarmen er symmetrisk ble det kun benyttet halve modellen. Dette reduserer tidsbruken for analysen og man kan benytte et finere mesh. Det ble angitt aluminium til alle komponentene med en E-modul på 69 GPa. Modellen som ble benyttet i analysen vises i figuren under.



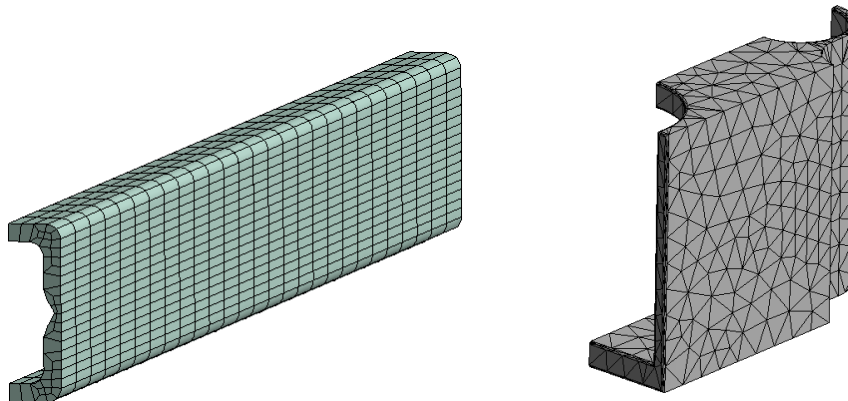
Figur 11.1: Det ble angitt symmetri om de røde snittflatene.

Opphengsarmen ble fast opplagret langs rotasjonshullet til innfestningsbraketten og det ble satt på en kraft på flaten på den ytterste stegprofilen. Kraften virker i vertikal retning og hentes fra beregningene i seksjon 9.2.4. Kraften som benyttes vil halveres til **402,5 N** ettersom at modellen er delt i to.



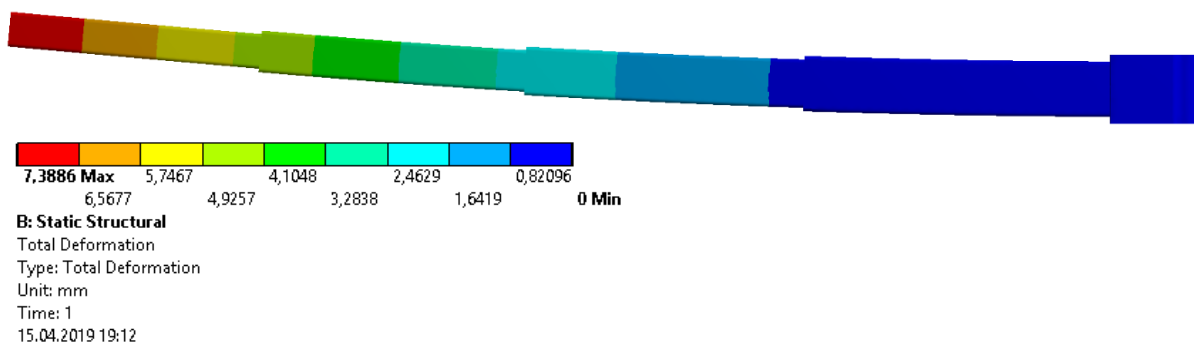
Figur 11.2: Opplagringen er fast på blå flate og lasten virker på den røde flaten.

Alle stegprofilene ble meshet på samme måte med metoden MultiZone meshing der swept element size ble satt til 18 mm. For innfestningsbrakketten ble det benyttet en Patch conforming metode med tetrahedrons og elementstørrelse 10 mm.



Figur 11.3: Meshet på den minste stegprofilen til venstre og innfestningsbrakketten til høyre.

Resultatene viser at maks deformasjon skjer på tuppen av den ytterste stegprofilen og er på **7,38 mm**.



Figur 11.4: Deformasjonsplot fra Ansys Workbench.

Sammenlignet med håndberegningene er deformasjonen noe større ved FEM analysen, men resultatene er veldig like. Håndberegningene gir en nedbøyning på 0,27 mm mindre. Dette vil i hovedsak skyldes at i FEM analysen er innfestningsbrakketten tatt med. Denne vil bidra med noe deformasjon.

### 11.1.2 Materialegenskaper og materialvalg

Det er valgt å benytte aluminium som material i opphengsarmene og andre hovedkomponenter. For valg av legering er det vurdert tre ulike typer:

- **EN AW 6082** er en mye brukt legering som har allsidige egenskaper. Hoved legerings-elementene er magnesium og silisium. Legeringen har en relativ bra styrke og høy korrosjonsbestandighet. Legeringen kan sveises.
- **EN AW 7075** er en legering bestående av hovedelementet sink. Legeringen er meget sterk og brukes blant annet i flyindustrien grunnet styrke/vekt forholdet som anses som høyt. Noe dårlig korrosjonsbestandighet, men gode egenskaper i forhold til utmattingsfasthet.
- **EN AW 2024** består av hovedlegeringselementet kobber. Høy styrke, men dårlig korrosjonsbestandighet. Gode egenskaper i forhold til utmattingsfasthet.

**Tabell 11.1: Materialegenskaper for de ulike aluminiumslegeringene [36].**

Egenskaper	Enhet	EN AW 6082		EN AW 7075		EN AW 2024	
		T6	T651	T6	T651	T6	T651
Tetthet	$g/cm^3$	2,7	2,7	3	3	3	3
E-modul	$GPa$	69	69	70	70	71	71
Skjærmodul	$GPa$	26	26	26	26	27	27
Poissons tall	-	0,33	0,33	0,32	0,32	0,33	0,33
Bruddgrense	$MPa$	330	320	560	550	480	480
Flytegrense	$MPa$	270	270	480	460	370	360
Utmattingsgrense (bøyebelastning)	$MPa$	95	94	160	160	130	120
Utmattingsgrense (torsjonsbelastning)*	$MPa$	47,5	47	80	80	65	60

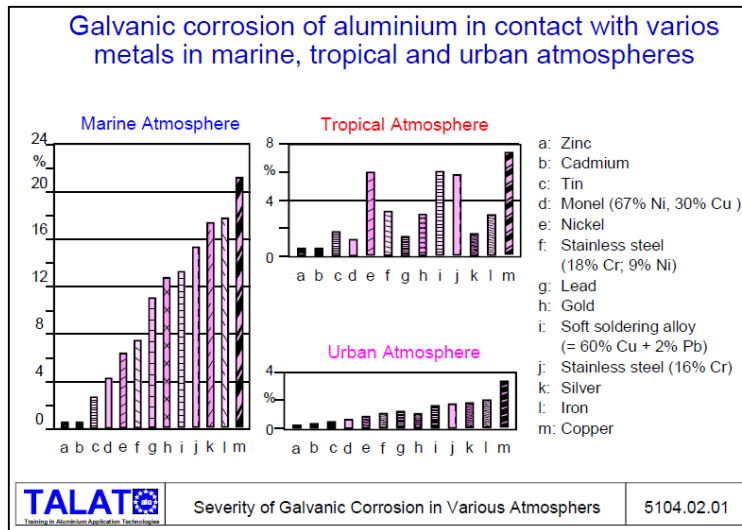
\*Vekslende torsjonsbelastning antas å være 50% redusert fra vekslende bøyebelastning.

Det velges å bruke **EN AW 6082 T6** da denne legeringen er veldig allsidig og egner seg bra til ekstrudering som er tiltenkt produksjonsmetode for stegprofilene. For komponenter som produseres utfra plater velges **EN AW 6082 T651** da tilgjengeligheten hos leverandører er begrenset.

Får å montere komponentene i dronemodulen er det valgt å benytte gjenget forbindelser. Dette for å unngå sveising, men også for å lettere kunne demontere og vedlikeholde komponentene. Det velges å benytte rustfritt stål fordi dronebilen skal benyttes ute og materialet må være korrosjonsbestandig.

Når stål og aluminium er i kontakt kan det oppstå galvanisk korrosjon, som ble forklart i seksjon 6.3. Til tross for dette, vil den galvaniske korrosjonen være begrenset og muligens ikke en kritisk faktor

i en prototype. Spesielt fordi forholdet mellom overflateareal stål/aluminium er såpass lite. Når anoden (aluminium) er betraktelig større enn katoden (stål) vil effekten reduseres.



Figur 11.5: Galvanisk korrosjon for aluminium i kontakt med ulike materialer i ulike miljøer [51].

Fra figuren over ser man at galvanisk korrosjon mellom aluminium og andre metaller har generelt større påvirkning i maritime og tropiske miljøer. Her er som regel luftfuktighetene større og i nærheten av saltvann vil korrosjonen også akselereres på grunn av salt. Dolphin Sky vil hovedsakelig ferdes i urbane miljøer, spesielt ved prototypetesting.

For de ulike metallene ser man også hvor stor påvirkning de har på korrosjon av aluminiumen. For rustfritt stål påvirker krominnholdet i legeringen korrosjonseffekten. Legeringen **AISI 304** har et krominnhold på 18-20% og anses som en av de mest egnede stållegeringene til gitt bruk. Materialeegenskapene til denne legeringen fremkommer i tabellen under.

Tabell 11.2: Materialeegenskaper for AISI 304 [36].

Egenskaper	Enhet	AISI 304
Tetthet	$g/cm^3$	8
E-modul	$GPa$	193
Skjærmodul	$GPa$	77
Poissons tall	-	0,29
Bruddgrense	$MPa$	505
Flytegrense	$MPa$	215
Utmattingsgrense (bøyebelastning)	$MPa$	210
Utmattingsgrense (torsjonsbelastning)	$MPa$	105

For komponenter som produseres i plastikk velges det å hovedsakelig bruke Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). ABS er kjent for en meget høy slagfasthet og overflatefinish, og er mye brukt ved 3D printing. ABS anses også å ha en tilstrekkelig god slitebestandighet for gitt bruk og vil fungere bra

for prototyping. Ved serieproduksjon vil det være fordelaktig å støpe komponentene og et annet plastmaterialet burde benyttes. ABS er også lite motstandsdyktig mot UV stråling med mindre det overflatebehandles.

Dekselet som plasseres på toppen av dronemodulen har store dimensjoner og antas å måtte støpes. Denne komponenten vil ikke være nødvendig å prototype ved et tidlig stadium ettersom at designet må tilpasses utvalgt nødlandingsystem. Når prototyping blir aktuelt kan denne delen støpes i polykarbonat på NMBU sitt verksted.

For nærmere tildeling av materialer for ulike komponenter fremkommer dette i tabell 12.1.

### 11.1.3 Sikkerhetsfaktorer og tillatte spenninger

Som beskrevet i seksjons 4.6 skal konstruksjonen dimensjoneres med en lastfaktor på 3,5 fra selvbyggerforskriften (BSL B 3-1). Denne faktoren antas å ta høyde for ulike dynamiske belastninger som kan oppstå ved bruk. For å ytterligere øke sikkerhet mot disse lastene velges det å benytte utmattingsgrensen til materialene.

For å bestemme sikkerhetsfaktoren benyttes forholdet mellom flytegrensen og utmattingsgrensen. Det vil si at dronebilen først vil tillegges en lastfaktor på 3,5 på egenvekten, og dermed en faktor som sørger for at maks opptredende spenninger i ulike komponenter, holdes på utmattingsgrensen. Utmattingsgrensen til materialet vil være under S-N kurven ved  $10^7$  sykler som anses som uendelig levetid.

#### Aluminiums komponenter

For vekslende bøyebelastning med **EN AW 6082 T6** er forholdet:

$$\frac{\sigma_f}{\sigma_{bw}} = \frac{270}{95} = 2,84$$

For vekslende torsjons/skjær belastning med **EN AW 6082 T6** er forholdet:

$$\frac{\sigma_f}{\tau_w} = \frac{270}{47,5} = 5,68$$

Tillatte spenninger for komponenter av **EN AW 6082 T6** bli da:

$$\sigma_{b,till (alu)} = \frac{\sigma_f}{3,5 \cdot 2,84} = \frac{270}{4,26} = \mathbf{27,17 MPa}$$

$$\tau_{till (alu)} = \frac{\sigma_f}{3,5 \cdot 5,68} = \frac{270}{8,52} = \mathbf{13,6 MPa}$$

Disse spenningsnivåene vil også gjelde for komponenter av **EN AW 6082 T651** da forskjellen på utmattingsfastheten er neglisjerbar.

Fra seksjon 9.2.3 ser man at de største spenningene i opphengsarmen er i **stegprofil P<sub>4</sub>**. Her er maks bøyespennning:  $\sigma_{b,z p4} = 24,84 \text{ MPa}$  og maks skjærspennning:  $\tau_{b,z p4} = 0,67 \text{ MPa}$ .

Ettersom at:

$$\sigma_{b,z p4} < \sigma_{b,till (alu)} \quad \text{og} \quad \tau_{b,z p4} < \tau_{till (alu)},$$

vil dimensjoneringen være tilfredsstillende.

Fra seksjon 9.3.1 er hulkanttrykket i monteringsplatene  $p_{hull} = 26,61 \text{ MPa}$ .

Ettersom at:

$$p_{hull} < \sigma_{b,till (alu)},$$

vil dimensjoneringen være tilfredsstillende.

### Stål komponenter

For vekslende bøyebelastning med **AISI 304** er forholdet:

$$\frac{\sigma_f}{\sigma_{bw}} = \frac{215}{210} = 1,024$$

For vekslende torsjons/skjær belastning med **AISI 304** er forholdet:

$$\frac{\sigma_f}{\tau_w} = \frac{215}{105} = 2,05$$

Tillatte spenninger for komponenter av **AISI 304** bli da:

$$\sigma_{b,till (stål)} = \frac{\sigma_f}{3,5 \cdot 1,024} = \frac{215}{3,58} = 59,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{till (stål)} = \frac{\sigma_f}{3,5 \cdot 2,05} = \frac{215}{7,17} = 29,96 \text{ MPa}$$

Fra seksjon 9.3.2 er maks skjærspennning i knutepunktet  $\tau_{aksting} = 27,4 \text{ MPa}$ .

Ettersom at:

$$\tau_{aksling} < \tau_{till} (\text{stål}),$$

vil dimensjoneringen være tilfredsstillende.

#### 11.1.4 Overflatebehandling og vedlikehold

##### **Overflatebehandling**

For stålkomponenter er det valgt å ikke videre overflatebehandle. Legeringen er av rustfritt stål og anses å ha nok korrosjonsbestandighet.

For aluminiums komponenter velges det å bruke eloksering. Elokseringsprosessen forsterker aluminiumens naturlige oksidsjikt ved å gjøre det tykkere og tettere. Eloksering vil gi en økning av materialets ulike egenskaper. Som vil si at komponentene får bedre korrosjonsbestandighet, bedre slitebestandighet, reduserer risikoen for riper og får et mer dekorativt utseende. Elokseringssjiktet kan også farges i alle mulige farger, som kan gi dronemodulen et bedre estisk design.

##### **Vedlikehold**

Ifølge selbyggerforskriften [27] skal vedlikehold av Dolphin Sky gjøre iht. vedlikeholdsforskriften – privat (BSL B 2-3) [53]. Dolphin sky plasseres i vedlikeholdsklasse III. Forskriften opplyser også om at det må utarbeides et vedlikeholdsprogram med daglige og periodiske vedlikeholdsinstruksjoner som må godkjennes av luftfartstilsynet. For gjeldene konseptdesign er det viktig å kontrollere følgende punkter:

- Kontrollere at alle innfestningsbolter er strammet riktig og uten slark.
- Kontrollere at alle knutepunkter er strammet riktig og uten slark. Her skal det benyttes skrueim. Komponenten for innfestning til fallskjermtau og sjakkel må vinkles riktig vei.
- Kontrollere at det er tilstrekkelig med godstykkelse på slitebeleggene.
- Visuelt kontrollere alle komponenter for tydelige deformasjoner og defekter.
- Inspisere for sprekke-dannelser. Her må man spesielt kontrollere gjengepartiene på komponentene for innfestning til fallskjerm (del 4) og hurtigkobling til chassis (del 5).
- Gjennomføre funksjonstester av de ulike mekanismene.
- Alle reparasjoner skal loggføres.

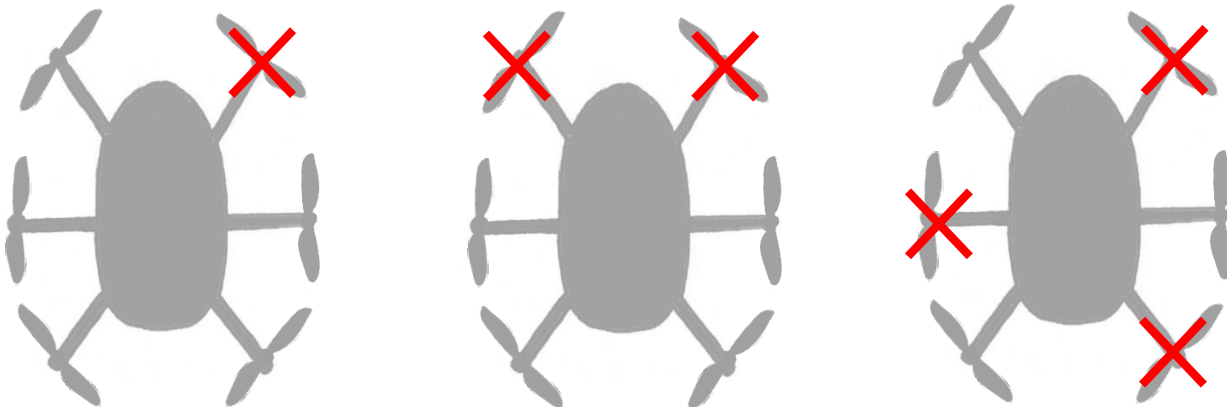
#### 11.2 Brukssikkerhet

For brukssikkerheten av dronemodulen er det utredet for aktuelle nødlandingsystemer. Det er også generert et forslag til signalelementer som kan implementeres til instrumentpanelet i kabinen. Disse signalene vil veilede fører/passasjer gjennom en sikkerhetsrutine ved bruk av dronebilen.



### 11.2.1 Nødlanding

Dronemodulen designes med seks opphengsarmer, propeller og motrorer. Dette gjøres hovedsakelig på grunn av sikkerhetsmessige årsaker. Hvis én av motorene slutter å fungere vil de resterende thrusterene fortsatt ha nok kraft og stabilitet til å gjennomføre en kontrollert landing med akseptabel hastighet. Hvis to eller tre motorer slutter å fungere er det avgjørende hvilke motorer som stopper for at de resterende thrusterene skal kunne senke farten på landingen. Det må da være en fungerende motor mellom de som har sluttet å rotere. Figur 11.6 illustrerer dette.



**Figur 11.6:** Til venstre har en vilkårlig motor sluttet å fungere, dronebilen har fortsatt stabilitet. I midten har to motorer ved siden av hverandre sluttet å fungere. Dronebilen har derfor ikke stabilitet. Til høyre har tre motorer sluttet å fungere, men de tre resterende har stabilitet.

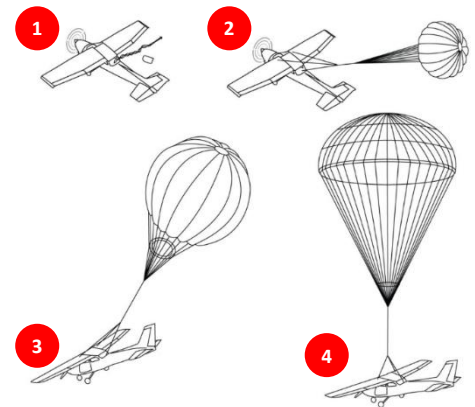
Selv om det er fungerende thrustere som kan holde dronebilen stabil og bidra med noe oppdriftskraft vil landingen fortsatt ha store krefter ved kollisjonstidspunktet. Det er derfor ønskelig at det er sikkerhetsfunksjoner som kan bidra til en mest mulig trygg kollisjon som hindrer personskade i størst grad. Dette kan være i form av at deler i konstruksjonen kolliderer og absorberer mye av energien. Eller luftputer på undersiden som fylles opp for å gi en mykere landing. Det burde også designes flytelementer om dronebilen skulle landet i vann. Hvis det skulle oppstå problemer høyere opp i luften vil ikke disse funksjonene være tilfredsstillende. Det må da benyttes en ballistisk fallskjerm.

Jetpack Aviation har jobbet med utvikling av et VTOL fartøy (seksjon 4.7) og utredet for noen av sikkerhetshensynene rundt et slikt system. Deres CEO David Mayman [28] kan opplyse om at den raskeste utskytingen av en ballistisk fallskjerm, som de er kjent med, kun er effektiv over en høyde på 15-18 m. Systemet er også mest effektivt når dronebilen er i en stabil stillestående sveving. Hvis fallskjermen skytes ut når dronebilen har en horisontal hastighet og/eller en ugunstig orientering vil det kunne oppstå problemer med fallskjermen. Hvis f. eks alle propellene på venstre side slutter å fungere momentant, vil dronebilen kunne orienteres med taket pekende horisontalt eller snus opp ned. Hvis fallskjermen skytes ut i en slik posisjon kan systemet virke mot sin hensikt.

Det finnes ikke et optimalt ferdigutviklet fallskjermssystem for VTOL fartøy på gjeldene tidspunkt. Men det finnes fungerende systemer for andre flytyper. En av de mest ledende produsentene av ballistiske fallskjerm for flyfartøy er BRS Aerospace. De utvikler Ballistic Recovery Systems (BRS)

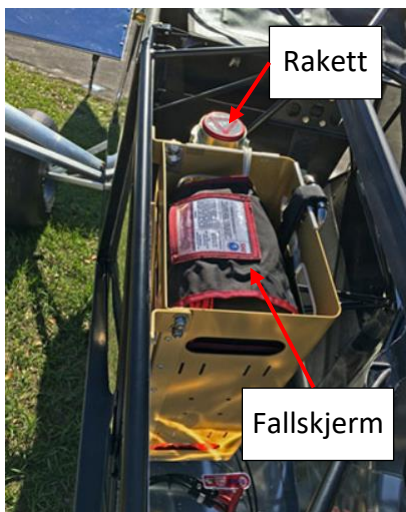
hovedsakelig til utvalgte flytyper, slik at systemene er spesialtilpasset for gjeldene fly. Deres systemer har per i dag reddet 401 liv [29].

I figuren til høyre fremkommer de ulike trinnene ved bruk av en slik fallskjerm. Først (1) skytes det ut en rakett som raskt distanserer fallskjermen fra flyet. Deretter (2) er det en innebygd hastighetssensor som kontrollerer hvor raskt fallskjermen åpnes. Så (3) utfoldes fallskjermen til full størrelse. Til slutt (4) senkes flyet mot bakken med en redusert hastighet som i kollisjonstidspunktet kan ligge på rundt 4 G.



Figur 11.7: Figuren viser hendelsesforløpet ved utskytning av en fallskjerm på et fly [29].

BRS Aerospace har også et system som kan brukes på selvbygde luftfartøy, såkalte «kit planes». I figuren under til venstre ser man installasjonen montert til rammeverket på flyet. Denne spesifikke løsningen er dimensjonert for fly med egenvekt opp til 907 kg. Til høyre fremkommer et bilde fra et system levert av Galaxy GRS.

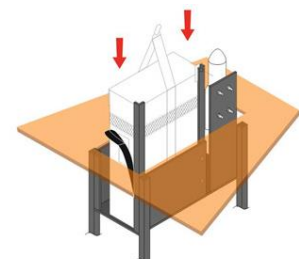


Figur 11.8: Systemet har en egenvekt på ca. 18,6 kg [37].



Figur 11.9: En fallskjermopløsning fra Galaxy GRS innebygd i et fly [38].

Felles for de fleste systemene er at rakett og fallskjerm er montert separat. Fallskjermposen er ofte formet som en rektangulær boks og plasseres vertikalt mot utskytningsretningen som vist på figur 11.10. For Dolphin Sky er plasseringen av dette systemet tiltenkt i senter av dronemodulen. Her er det ønskelig å ha en sirkulær pakket fallskjerm som ikke bygger for mye i høyden. Det antas at det er mulig å få tilpasset løsningen til ønskelig geometri og dimensjoner.



Figur 11.10: Montasje av fallskjermpose og rakett [39].

Det er i hovedsak utredet for løsninger gjennom leverandørene BRS Aerospace, Galaxy GRS og APCO Aviation Ltd. Det er ikke funnet en konkret løsning som er optimal for dronebilen, men det er funnet en løsning som tilfredsstillende noen krav. Galaxy GRS har et sett med fallskjerm og rakett kalt «GRS 5 560 115 m<sup>2</sup>». Denne har makslast på 560 kg og bruker 3,5-4,3 sekunder på å utfolde fallskjermen fult. Men løsningen fungerer kun over en høyde på 80 m og det er med forutsetningen at flyet har en horisontal hastighet. Ved et vertikalt dropp finnes det ikke data for denne løsningen.



Figur 11.11: Bildet viser GRS 5 systemet med tilhørende fallskjerm og rakett [40].

Løsningen gir likevel en indikasjon på hvor stor plass et slikt system opptar. Hovedkomponentene som opptar mest plass er fallskjerm, tau og rakett. Fallskjermen kan pakkes på ulike måter, men med den utvalgte løsningen opptar fallskjermen et volum på 190 x 250 x 540 (mm). Bare dette er nok til å overgå den metriske grovspesifikasjonen som ble satt i seksjon 5.3. Det er usikkert hvor mye plass tau og rakett opptar da dette ikke var oppgitt spesifikt. Det velges derfor å sette av et større volum til redningssystemet i gjeldene konseptdesign av dronemodulen.

For videre utredning av aktuelle løsninger kan det ved videre arbeid være aktuelt å ta kontakt med Parazero Drone Safety Systems [54]. Parazero leverer hovedsakelig fallskjermssystemer til mindre droner, men de har også løsninger for «urban air mobility». Dette er en kategori for tyngre droner med og uten passasjer.

### 11.2.2 Instrumentpanel og sikkerhetsrutiner

I denne seksjonen er det generert et forslag til signalsymboler som oppdaterer passasjerer om statusen på dronemodulen. Instrumentpanelet har som hensikt å sørge for sikker bruk av dronebilen og forhindre at passasjerer utsettes for risikofylte situasjoner. Det benyttes totalt fire symboler som vist i figuren under.



Figur 11.12: Fra venstre: Parkeringsmodus, kjøremodus, flymodus og nødlandingsmodus.

Videre er det kartlagt ulike sikkerhetsrutiner som burde følges ved bruk av dronebilen og hvordan instrumentpanelet veileder riktig bruk.

### Kjøremodus og tilkobling av dronemodulen

Ettersom at dronemodulen kan tas av og på, kan Dolphin Sky benyttes til kjøring på vei også uten dronemodulen tilkoblet. I dette tilfellet kan det signaliseres at flymodus ikke er tilgjengelig.



Figur 11.13: Dronebilen er i kjøremodus og flymodus ikke tilgjengelig.

Når dronemodulen skal tilkobles og festes til chassiset må dronebilen være i parkeringsmodus. Det vil si at dronebilen er mekanisk forhindret (med f. eks bremses) i å bevege på seg. Dette signaliseres som vist til høyre.



Figur 11.14: Dronebilen er i parkeringsmodus og dronemodulen er ikke tilkoblet.

Før dronebilen kan benyttes til kjøring på veibanen er det viktig at man forsikrer seg om at dronemodulen er riktig innfestet og låst til chassiset. Dette vil signaliseres ved at flymodus signalet i figur 11.14 slutter å lyse rødt. Det anbefales å gjøre en visuell og manuell kontroll for å inspisere innfestningen.

Når dronemodulen er tilkoblet må opphengsarmene sammenfoldes og låses i konfigurasjonen for kjøremodus. Dette kan signaliseres ved at kjøremodus symbolet lyser grønt og gir klarsignal om at dronebilen er klar for kjøring på vei. Det anbefales også her at det gjøres en visuell og manuell kontroll av låsingen.



Figur 11.15: Dronebilen er i parkeringsmodus og klar til kjøring.

### Klargjøring før flyvning

Når det skal gjennomføres en flyvning er det viktig at brukeren er godt informert og fortrolig med at dronebilen er klar for letting. Det skal forsikres om at alle funksjoner fungerer og at opphenget er låst. I den sammenheng foreslås det følgende sikkerhetsrutine før flyvning:

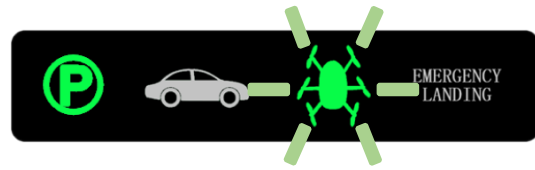
1. Det skal rekognoseres et egnet lettingsområdet. Det anbefales å benytte en åpen plass hvor mennesker, dyr og miljø ikke er i umiddelbar nærhet. Det er også til fordel at det ikke er løse gjenstander, som f. eks grus, kvister, søppel osv., i området rundt dronebilen.
2. Dronebilen settes i parkeringsmodus og man kan da begynne utfoldingen av opphengsarmene. Når utfoldingen gjøres er det viktig at man unngår klemskader. Det er derfor viktig at dette tas hensyn til i både design og funksjoner, men også at personen som utfører prosessen er kjent med produktet. Det anbefales å utføre en visuell og manuell kontroll av alle



Figur 11.16: Fremre høyre opphengsarm er ikke låst riktig.

armene for å forsikre seg om at alt er låst. Fra kabinen vil det i instrumentpanelet varsles om hvilken arm som ikke er låst i riktig posisjon.

Når alle opphengsarmene er låst i riktig posisjon vil dette indikeres ved at flymodussymbolet i figuren til høyre blinker grønt.



Figur 11.17: Flymodussignalet blinker grønt.

3. Det skal ikke være mulig å starte propellene før dronebilen kun er i flymodus og fører/passasjer sitter inne i kabinen. Dette verifiseres med at fører/passasjer skruer av parkeringsmodusen. Når propellene starter vil systemet registrere at alle propellene fungerer som normalt og dette verifiseres ved at flymodussymbolet i figuren over slutter å blinke. Dette kan også forsterkes med en lyd som slutter å pipe når man trygt kan begynne flyvningen.

### Nødlanding

Hvis det skulle oppstå noen problemer og det foretas en nødlanding vil dette også signaliseres. Det opplyses evt. hvilken thruster/opphengsarm som ikke fungerer. Hvis dronemodulen fortsatt har stabilitet og tilstrekkelig med thrustere vil dronebilen kontrollert foreta en landing ved nærmeste egnede området.



Figur 11.18: Fremre høyre propell fungerer ikke og det foretas en kontrollert landing.

Hvis det er tilfelle at mange nok propeller slutter å fungere eller om det oppstår en annen kritisk feil, som gjør at dronebilen ikke kan kontrolleres eller ferdes trygt i luften, må fallskjermen utløses. Ved dagens fallskjermstøpsninger gjøres dette hovedsakelig manuelt. For dronemodulen er det viktig at alle motorene skrues av for å forebygge ytterligere skader. Roterende propeller vil kunne forhindre at fallskjerm fungerer optimalt ved å vikle fallskjermtauene eller kutte de av. Det vil også kunne påføre større skader på omgivelser rundt landingsområdet. Ettersom at en slik dronebil sikter seg inn på å løse urbaniseringsproblemet med trafikkaos vil det være tilfellet at det befinner seg mennesker og evt. dyr på bakkenivå. Det må derfor varsles med lyd og lys slik at disse har mulighet til å søke et sikkert område.

### Etter flyvning

Når man har gjennomført en flyvning og har landet trygt på bakken skal alle motorene slås av. Fører/passasjer skal ikke forlate kabinen før propellene har sluttet å rotere. Når det er trygt å forlate kabinen vil dette signaliseres med symbolet i figuren til høyre.



Figur 11.19: Dronebilen er i parkeringsmodus.

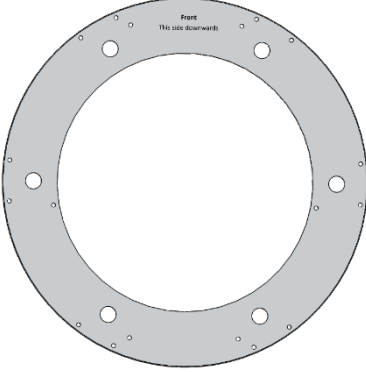
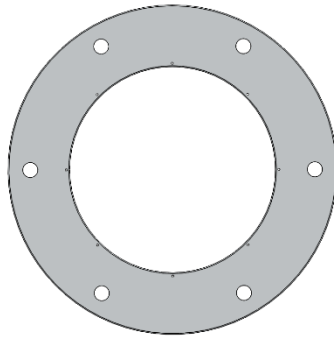

## 12 FRAMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER

*Hensikten med en grov gjennomgang av produksjonsmetoder og kostnader er for å se om produktet er realiserbart. Komponentene skal helst kunne produseres internt på NMBU og kostnadene bør ikke være for høye.*



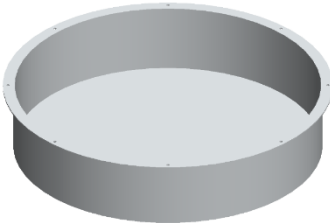

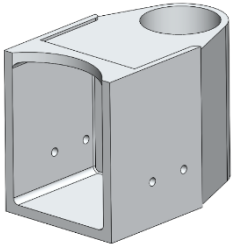
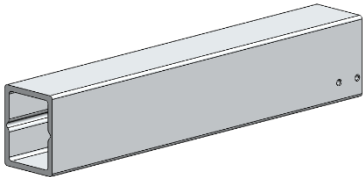
### 12.1 Produksjonsmetoder

I tabellen under følger en oversikt over produksjonsmetodene for de ulike komponentene. De fleste komponentene kan produseres på NMBU sitt verksted, men noen komponenter må produseres eksternt. Et utvalg av komponentene er ikke aktuelle å produsere ved prototyping da disse må videre tilpasses og har hovedsakelig fungert som forenklete forslag til løsning. Dette kommenteres.

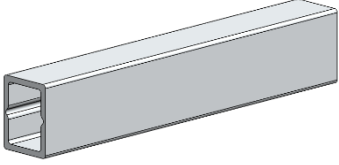
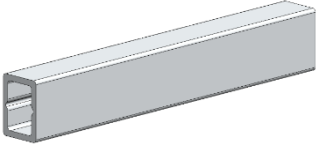
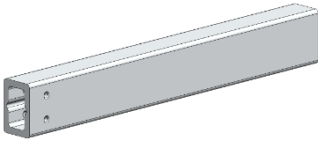
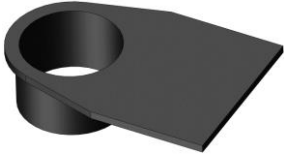
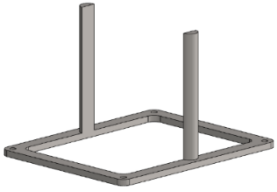

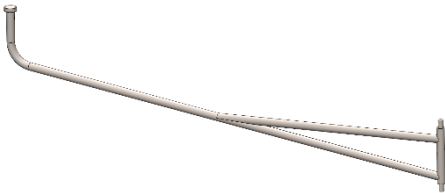
**Tabell 12.1: Komponentene presenteres med en figur og del nummer samt en grov beskrivelse av tiltenkte produksjonsmetoder.**

Del	Komponent	Produksjonsmetode
1		Material: EN AW 6082-T651 Emne: Plate <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses</li> <li>• Sliper ned skarpe kanter.</li> </ul>
2		Material: EN AW 6082-T651 Emne: Plate <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses</li> <li>• Sliper ned skarpe kanter.</li> </ul>
3		Material: AISI 304 Emne: Rund bolt (Rør hvis dimensjoner er tilgjengelig) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dreies utvendig og innvendig.</li> <li>• Dreier gjenger innvendig.</li> </ul>

Tabell 12.1 forts.

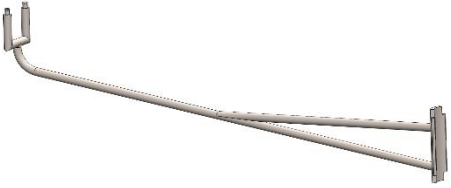
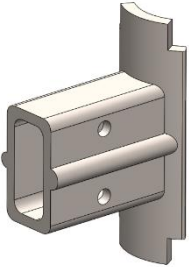

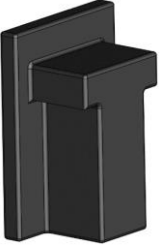
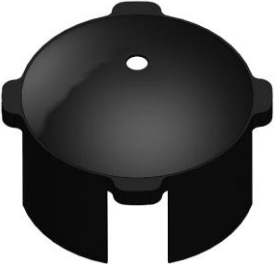
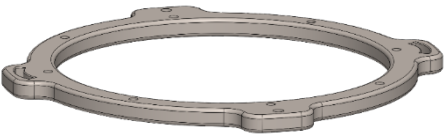
Del	Komponent	Produksjonsmetode
4		Material: AISI 304 Emne: Rundbolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dreies ned til korrekte utvendige dimensjoner.</li> <li>• Dreier innvendig hull og gjenger.</li> <li>• Freser ut sekskant.</li> </ul>
5		Material: AISI 304 Emne: Rundbolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dreies ned til korrekte utvendige dimensjoner.</li> <li>• Dreier gjenger.</li> <li>• Freser ut sekskant og øvre tapp, borer hull.</li> </ul>
7		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Plater <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapper plater.</li> <li>• Sveises sammen.</li> </ul> (Komponenten er ikke ferdigutviklet, må tilpasses det aktuelle nødlandingssystemet).
8		Material: Polykarbonat <ul style="list-style-type: none"> <li>• Støpes.</li> </ul> (Komponenten er ikke ferdigutviklet, må tilpasses det aktuelle nødlandingssystemet).
9		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Firkantbolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses.</li> <li>• Bore hull.</li> </ul>
10		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Bolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekstruderes.</li> <li>• Kappes i korrekte lengder.</li> <li>• Bores hull.</li> </ul>

Tabell 12.1 forts.

Del	Komponent	Produksjonsmetode
11		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Bolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekstruderes.</li> <li>• Kappes i korrekte lengder.</li> </ul>
12		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Bolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekstruderes.</li> <li>• Kappes i korrekte lengder.</li> </ul>
13		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Bolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekstruderes.</li> <li>• Kappes i korrekte lengder.</li> <li>• Bores hull.</li> </ul>
14		Material: ABS plast <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D printes</li> </ul>
16 17 18		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Plate <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses.</li> <li>• Sveises.</li> </ul> (Komponenten er ikke ferdigutviklet, må videre tilpasses).
22 23 24		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Plate <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses.</li> </ul> (Komponenten er ikke ferdigutviklet, må videre tilpasses).
25		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Stang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kappes til riktige lengder.</li> <li>• Den største lengden bøyes. (Tuppen anbefales å skrues på som en egen komponent).</li> <li>• Opplagringen dreies ned.</li> <li>• Komponentene sveises sammen.</li> </ul>



Tabell 12.1 forts.

Del	Komponent	Produksjonsmetode
26		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Stang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kappes til riktige lengder.</li> <li>• Den største lengden bøyes.</li> <li>• Tuppen dreies ned og bøyes til U-form.</li> <li>• Opplagring freses.</li> </ul>
27		Material: EN AW 6082-T6 Emne: Firkant bolt <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses.</li> <li>• Bores hull.</li> </ul>
28		Material: ABS plast <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D printes.</li> <li>• Deler komponenten i flere deler for tilpasning til størrelse på printeflaten.</li> </ul>
29		Material: ABS plast <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D printing.</li> </ul>
31		Material: ABS plast <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3Dprinting.</li> </ul>
34		Material: EN AW 6082-T651 Emne: Plate <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC freses</li> <li>• Sliper ned skarpe kanter.</li> </ul>

## 12.2 Kostnads kalkyle for prototype

For å kunne estimere prisen på produksjon av én prototype følger det under en kostnads kalkyle. Her tas det høyde for konseptutviklingsarbeidet med tidsbruk og timespris for de ulike fasene i prosessen. For standardkomponenter er det gjennomført nettsøk for å kartlegge prisene. For å beregne kostander vedrørende de ulike komponentene tas det først utgangspunkt i vekten på innkjøpte materialer og en kilopris hentet fra CES Edupack. For de ulike innkjøpte materialene kan det produseres flere komponenter som oppgis i tabellen. Deretter følger en estimert tidsbruk for de ulike tilvirkningsmetodene med en timepris på 450 NOK. For ekstern produksjon estimeres en pris for ekstruderingsfrom og materialkostnader samlet. Det bestilles her én lengde med dimensjoner for hver stegprofil, disse kuttet til korrekte lengder og bores på NMBU sitt verksted.

Tabell 12.2: Kostnads kalkyle for prototyping av dronemodulen.

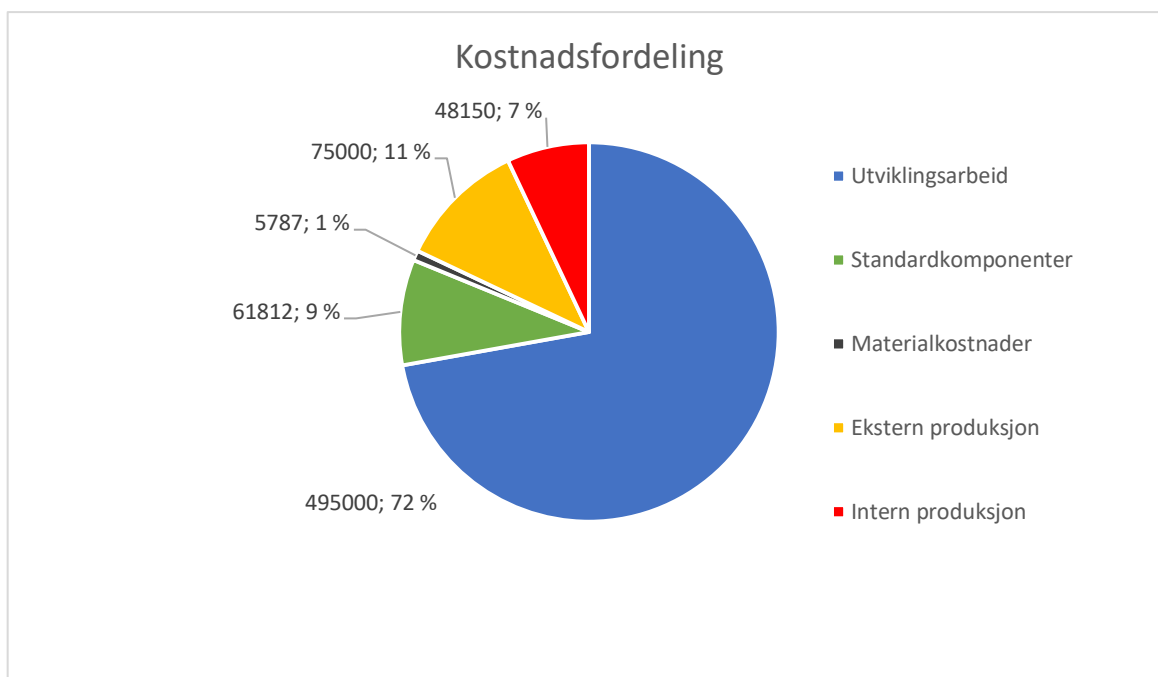
Utviklingsarbeid	Timer	Kvanta	Pris (NOK)	Sum (NOK)
Utredning	240	-	550	132000
Utvikling	180	-	550	99000
Konstruksjon og design	150	-	550	82500
Ferdigstilling	80	-	550	44000
Rapportskrivning	250	-	550	137500
<b>Delsum</b>	<b>900</b>	-	<b>550</b>	<b>495000</b>
<b>Standardkomponenter</b>				
H-sjakk med mutter og splint (0,5t)	-	6 stk.	50	300
Fjærlås (GN 416-12-46-L1)	-	12 stk.	100	1200
Umbrako M6 x 46	-	12 stk.	1	12
Umbrako M6 x 115	-	12 stk.	2	24
Umbrako M6 x 100	-	48 stk.	2	96
Nylock mutter M6	-	72 stk.	2	144
Seegerring Ø5	-	12 stk.	3	36
Lynchmotor LEM 200	-	6 stk.	10000	60000
<b>Delsum</b>	-	-	-	<b>61812</b>
<b>Materialkostnader</b>				
Alu plate 6082-T651 (10x1270x2520 mm) <i>Del 1 (1 stk.), del 2 (1 stk.) og del 34 (12 stk.).</i>	-	89,6 kg	17	1524
Stål bolt AISI 304 (Ø60 x 2000mm) <i>Del 3, del 4 og del 5 (6 stk. av hver).</i>	-	45 kg	23	1035
Alu plate 6082-T651 (3x2000x1000 mm) <i>Del 7 (1 stk.) del 16-18 (6 stk. av hver) og del 22-24 (6 stk. av hver).</i>	-	16,2 kg	17	276
Alu firkant bolt 6082 T6 (115x100x1320 mm) <i>Del 9 og del 27 (6 stk. av hver)</i>	-	41 kg	17	697

Tabell 12.2 forts.

Materialkostnader	Timer	Kvanta	Pris (NOK)	Sum (NOK)
ABS filament (3D printing) <i>Del 14 (12 stk.), del 28 (12 stk.), del 29 (24 stk.) og del 31 (6 stk.).</i>	-	5,6 kg	300	1680
Polykarbonat (støping) <i>Del 8 (1 stk.).</i>	-	2,6 kg	200	520
Alu stang 6082 T6 (Ø 10 x 15000 mm) <i>Del 25 (12 stk.) og del 26 (6. stk.).</i>	-	3,2 kg	17	55
<b>Delsum</b>	-	-	-	<b>5787</b>
<b>Ekstern produksjon</b>				
Stegprofil P1 (ekstrudering)	-	1. stk	-	30000
Stegprofil P2 (ekstrudering)	-	1. stk	-	20000
Stegprofil P3 (ekstrudering)	-	1. stk	-	15000
Stegprofil P4 (ekstrudering)	-	1. stk	-	10000
Overflatebehandling	20	-	750	15000
<b>Delsum</b>	-	-	-	<b>90000</b>
<b>Intern produksjon</b>				
CNC fresing	30	-	450	13500
Sliping	5	-	450	2250
Boring	4	-	450	1800
Støping	6	-	450	2700
Kapping	4	-	450	1800
Sveising	15	-	450	6750
Dreining	20	-	450	9000
3D printing (klargjøre modeller)	3	-	450	1350
<b>Delsum</b>	<b>87</b>	-	<b>450</b>	<b>39150</b>
<b>Totalsum</b>				<b>691750</b>

Kostnads kalkylen estimerer en pris på totalt **691 750 NOK** for produksjon av én prototype. Det er tydelig at utviklingsarbeidet utgjør majoriteten av totalsummen. Ser man bort ifra disse kostnadene vil prisen for en prototype være ca. **200 000 NOK**.

For å tydeligere se hvilke kostnadsdrivere som påvirker totalsummen mest er delsummene presentert i et kakediagram på neste side.



Figur 12.1: Kakediagram med delsummene oppgitt med verdi og prosentandel av totalsummen.

Standardkomponenter er også en høy kostnadsdriver hovedsakelig på grunn av innkjøpte motorer. Valg av motorer er i denne kostnadsanalysen kun et eksempel. Ved prototyping vil det mest sannsynlig velges andre motorer som er både lettere og billigere. Ekstern produksjonskostnader drives av stegprofilene, disse er ikke mulig å produseres internt på NMBU, men kostnadene vil reduseres med antall prototyper som lages ettersom at ekstruderingsformene er dyrest.

### 12.3 Kostnadsanalyse for serieproduksjon

For en serieproduksjon av dronemodulen vil de fleste produksjonsmetodene endres. Komponenter som produseres ut ifra plater vil muligens stanses ut. Da vil det forekomme en større engangssum for verktøy, men tilvirkningstiden reduseres drastisk. Det kan også være aktuelt med vannskjæring. Her kreves ingen forhåndsproduserte verktøy, men tilvirkningstiden er noe høyere. For plastikkdeler og muligens noen aluminiums deler vil det være naturlig å bruke støpeformer. Dette vil også medføre større initialkostnader, men vil lønne seg når flere komponenter produseres.

Materialkostnadene vil også reduseres. Med spesialtilpassede produksjonsmetoder vil mengden materialrester reduseres og når innkjøpt kvanta øker følger som regel en kvantumsrabatt. Dette gjelder også standardkomponenter.

Følgende forutsetninger og forenklinger settes for kostnadsanalysen for serieproduksjon:

- Utviklingsarbeidet forblir **495 000 NOK** (Disse kan evt. ses bort ifra ettersom arbeidet er en gradsoppgave).
- Standardkomponenter tildeles en kvantumsrabatt på 25 %, kostnaden blir da ca. **46 500 NOK**

- Mengden materialbruk beholdes, men kostnadene tildeles en kvantumsrabatt på 25 %, dette blir ca. **4300 NOK**.
- Alle støpeformer antas å koste rundt 50 000 NOK og ekstruderingsformene settes til 75 000 NOK. Det antas å benytte totalt 6 støpeformer. Dette gir en total kostnad på **375 000 NOK**.
- For arbeidskostnader er det store usikkerheter til hvor lang tid de ulike tilvirkningsmetodene bruker. Men produksjon av en enhet settes til 3 timer med timespris på 750 NOK. Dette gir arbeidskostnader på **2250 NOK** per enhet.

Under følger en tabell med en oppsummering av kostnader for produksjon av én enhet.

**Tabell 12.3: Kostnader for 1 stk. serieprodusert enhet.**

Kostnadsdriver	Sum (NOK)
Utviklingsarbeid*	495 000
Standardkomponenter**	46 500
Materialer**	4300
Produksjonsverktøy*	375 000
Arbeidskostnader**	2250
<b>Totalt</b>	<b>923 050</b>

\* Engangskostnader (totalt 870 000 NOK).

\*\* Fast kostnad per enhet (totalt 53 050 NOK).

For å beregne enhetskostnaden for ulikt antall enheter produsert, brukes følgende formel:

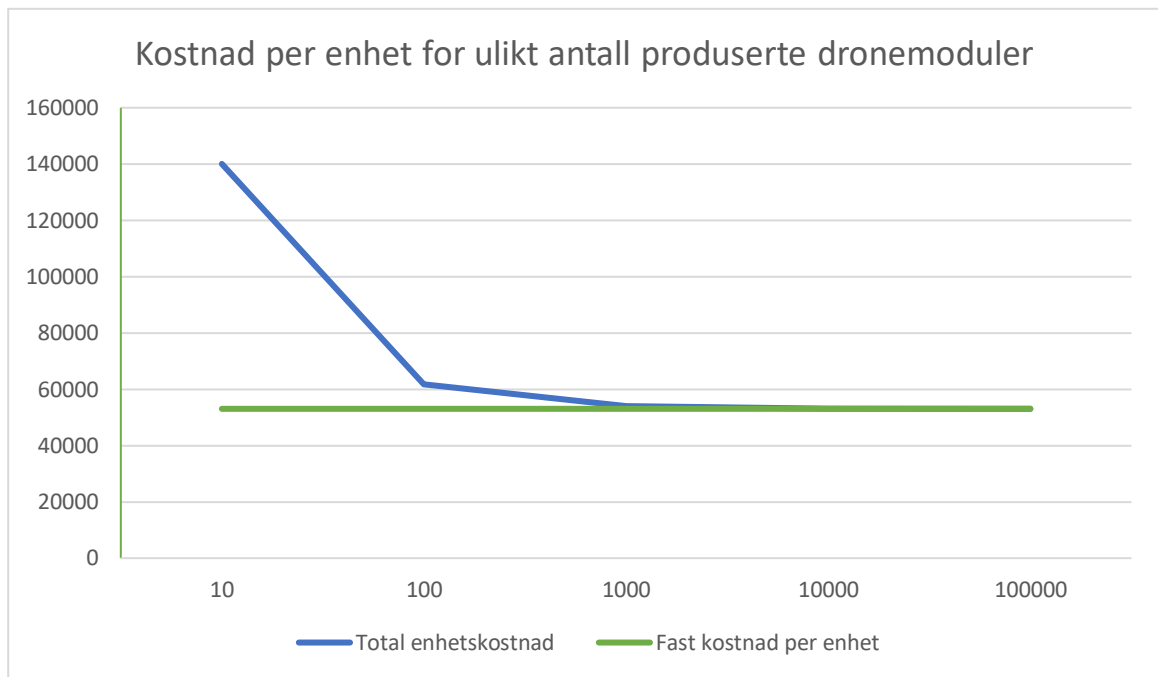
$$\text{Total enhetskostnad} = \frac{\text{Engangskostnader}}{\text{Antall enheter produsert}} + \text{fast kostnad per enhet}$$

I formelen over varierer total enhetskostnad med antall enheter produsert. En oppsummering av ulike antall enheter produsert følger i tabellen under.

**Tabell 12.4: Total enhetskostnad ved ulikt antall enheter produsert.**

Antall enheter produsert	Total enhetskostnad (NOK)
10	140 050
100	61 750
1 000	53 920
10 000	53 137
100 000	53 058

I figuren på neste side følger et linjediagram over kostnadene fra tabellen over.



**Figur 12.2:** Linjediagram som viser total enhetskostnad på y-aksen og antall enheter produserte på x-aksen.

Linjediagrammet viser at den totale enhetskostnaden raskt reduseres ved flere produserte enheter. Grønn linje markerer faste kostnader per enhet som inneholder standardkomponenter, materialkostnader og arbeidskostnader. Den totale enhetskostnaden vil konvergere mot denne kurven. Ved 100 produserte enheter har kostnadene drastisk blitt redusert og ved 1000 produserte enheter begynner kurven å flate ut mot **54 000 NOK**.

## 13 MARKEDSPRESENTASJON

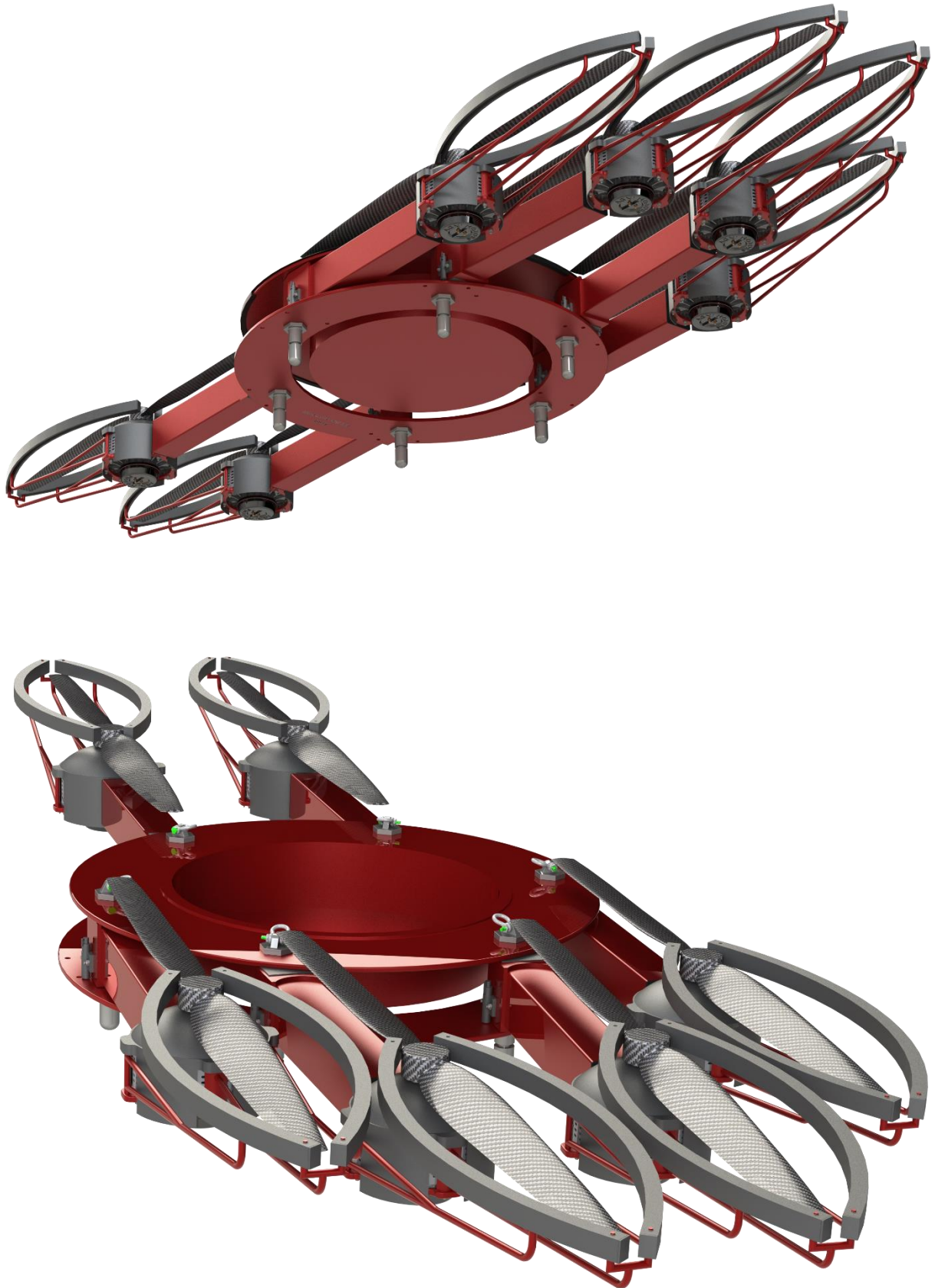
*Hensikten med en markedspresentasjon er å vise hvordan en prototype kan se ut og hvordan dronemodulen monteres og brukes.*

### 13.1 Renderte framstillinger

I denne seksjonen fremstilles renderte bilder av dronemodulen for å visualisere hvordan den ser ut i ulike farger og i ulike brukssituasjoner.



**Figur 13.1:** Figuren viser dronemodulen i utfoldet tilstand i ulike farger.



Figur 13.2: Dronemodulen sammenfoldet. Øverste figur viser undersiden og nederste figur viser oversiden uten dekselet.





Figur 13.3: Dolphin Sky i flymodus øverst og kjøremodus nederst.



Figur 13.4: Dolphin Sky flyr over en by. [58]



Figur 13.5: Dolphin Sky står parkert med dronemodulen sammenfoldet. [57]



Figur 13.6: Når Dolphin Sky utfører en nødlanding skytes en fallskjerm ut av dronemodulen.

---

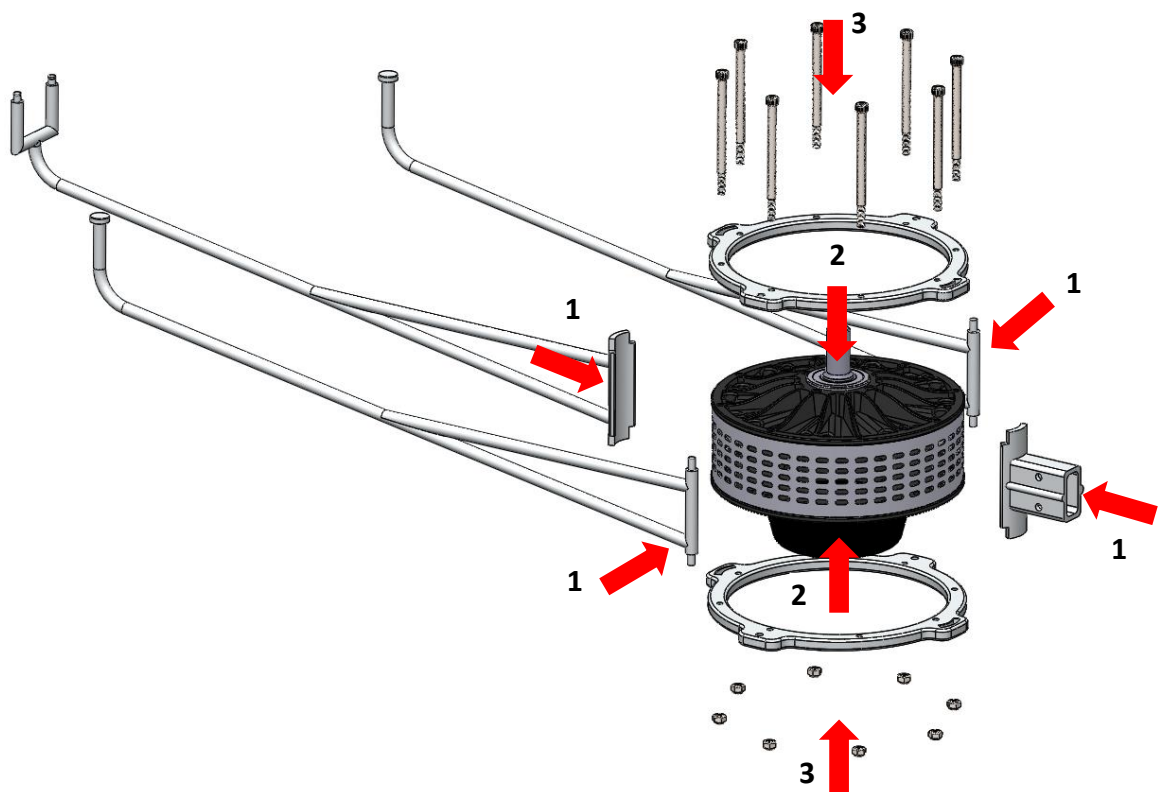
## 13.2 Tekniske beskrivelser

I denne seksjonen følger en veiledning for montering og bruk av dronemodulen.

### 13.2.1 Monteringsanvisning

Ved montering av dronemodulen kan man først montere hoveddelene thruster/propellskjerming (C) og opphengsarmen (B) separat. Det skal monteres seks av disse hoveddelene som til slutt monteres på hovedkroppen (A).

#### Første trinn i montering av Thruster/propellskjerming (C)

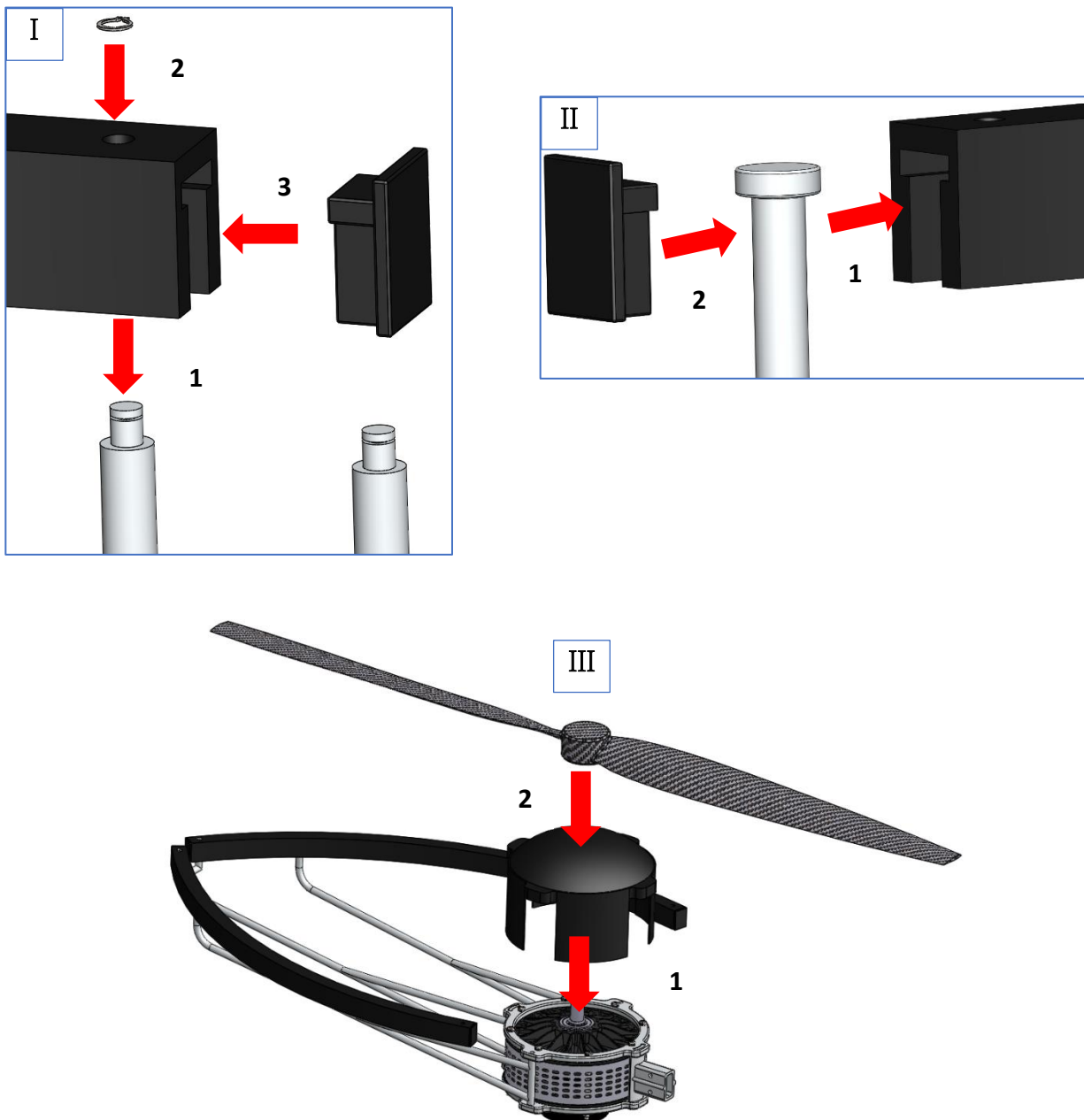


Figur 13.7: Eksplosjonstegningen viser deler av komponentene i hoveddelen thruster/propellskjerming. Først (1) plasseres roterende sidestag, fastmontert stag og innfestning til stegprofil, inntil motoren. Deretter (2) plasseres en motorbrakett ring på hver side av motoren der øvrige komponenter klemmes fast. Til slutt (3) tres boltene gjennom motorbrakett ringene og motoren, og deretter skrues mutterne på.



Figur 13.8: Figuren viser komponentene fra forrige figur ferdigmontert.

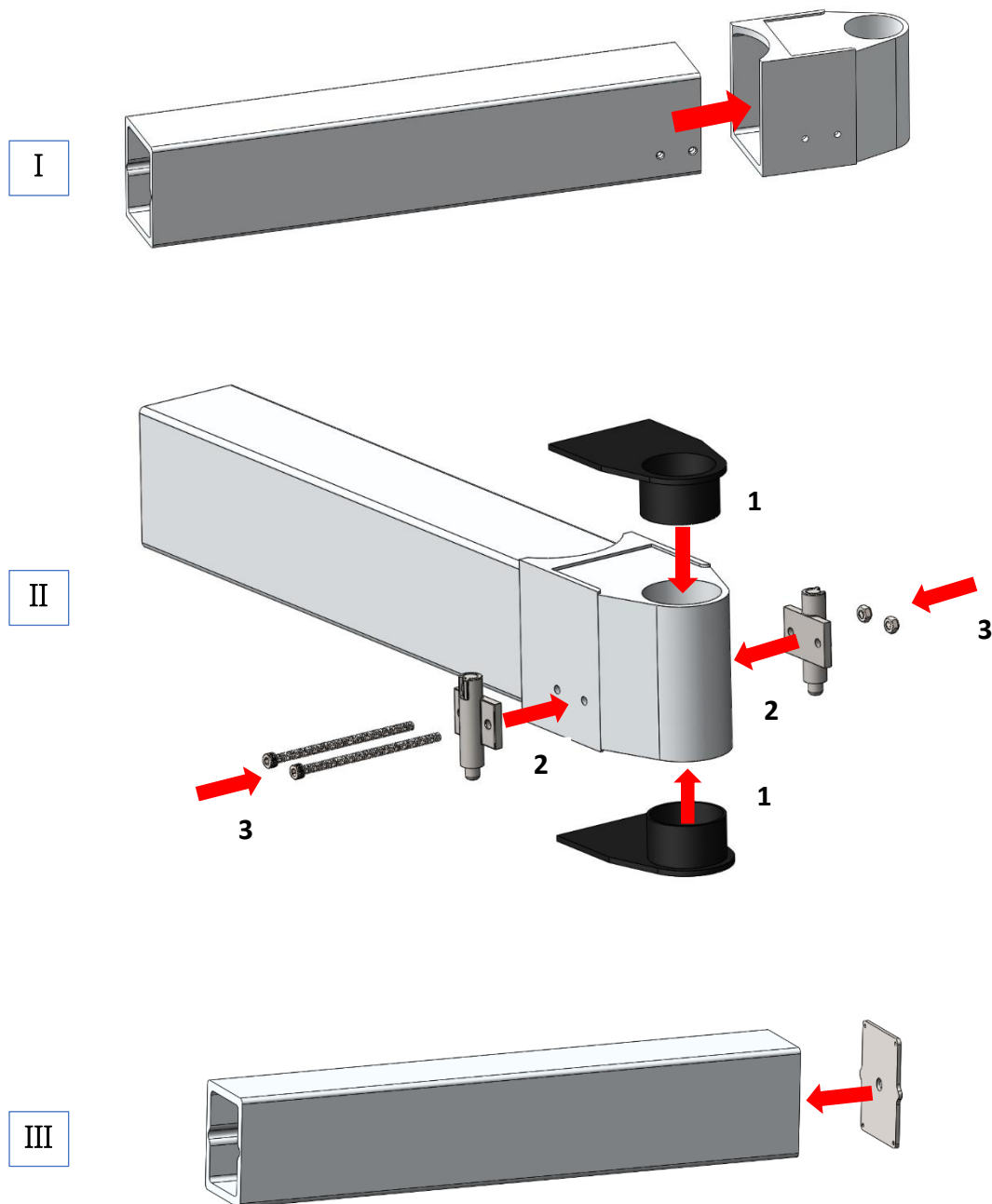
## Siste trinn i montering av Thruster/propellskjerming (C)



Figur 13.9: Figuren viser siste monteringsstrinn av thruster/propellskjermingen.

- I) Først (1) tres hullet på propellskjermen over akslingen. Deretter (2) festes forbindelsen med en seegerring på oversiden. Til slutt (3) presses proppen inn.
- II) Det roterende sidestaget plasseres på innsiden av propellskjermen (1) og deretter (2) presses proppen inn.
- III) Motorskjermen presses ned mot motorbrakettringen (1). Deretter (2) kan propellen monteres på akslingen til motoren.

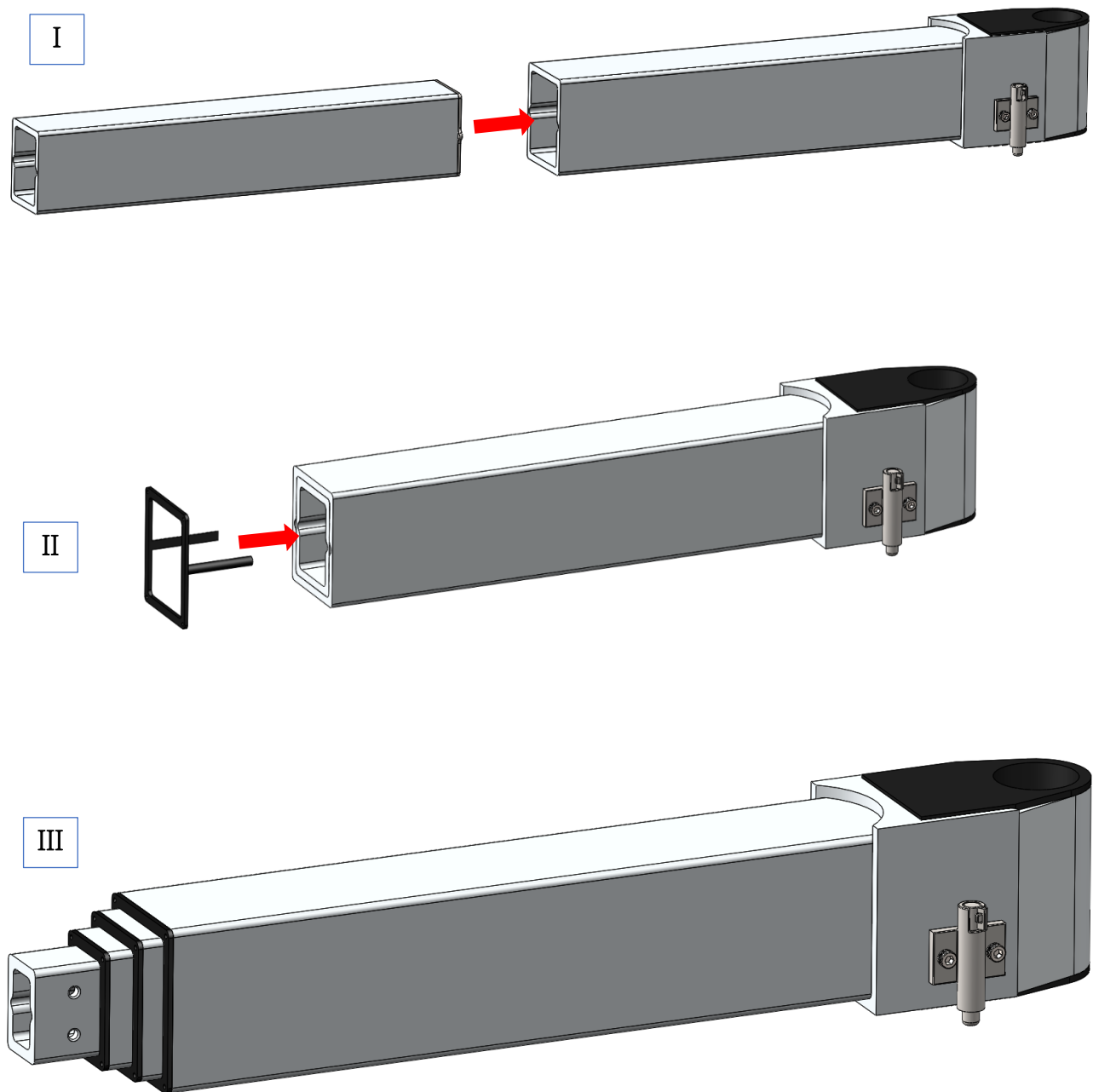
## Første trinn i montering av opphengsarm (B)



Figur 13.10: Figuren viser de første trinnene ved montering av opphengsarmen.

- I) Stegprofilen krympetilpasses innfestningsbraketten. Stegprofilen kjøles ned og innfestningsbraketten varmes opp. Deretter presses stegprofilen inn.
- II) Først (1) presses slitebeleggene ned i hullet på innfestningsbraketten (begge sider). Deretter (2) plasseres fjærlåsene foran hullene. Til slutt (3) tres boltene gjennom og festes med nylock muttere på motsatt side.
- III) Baklokket monteres på alle de resterende stegprofilene.

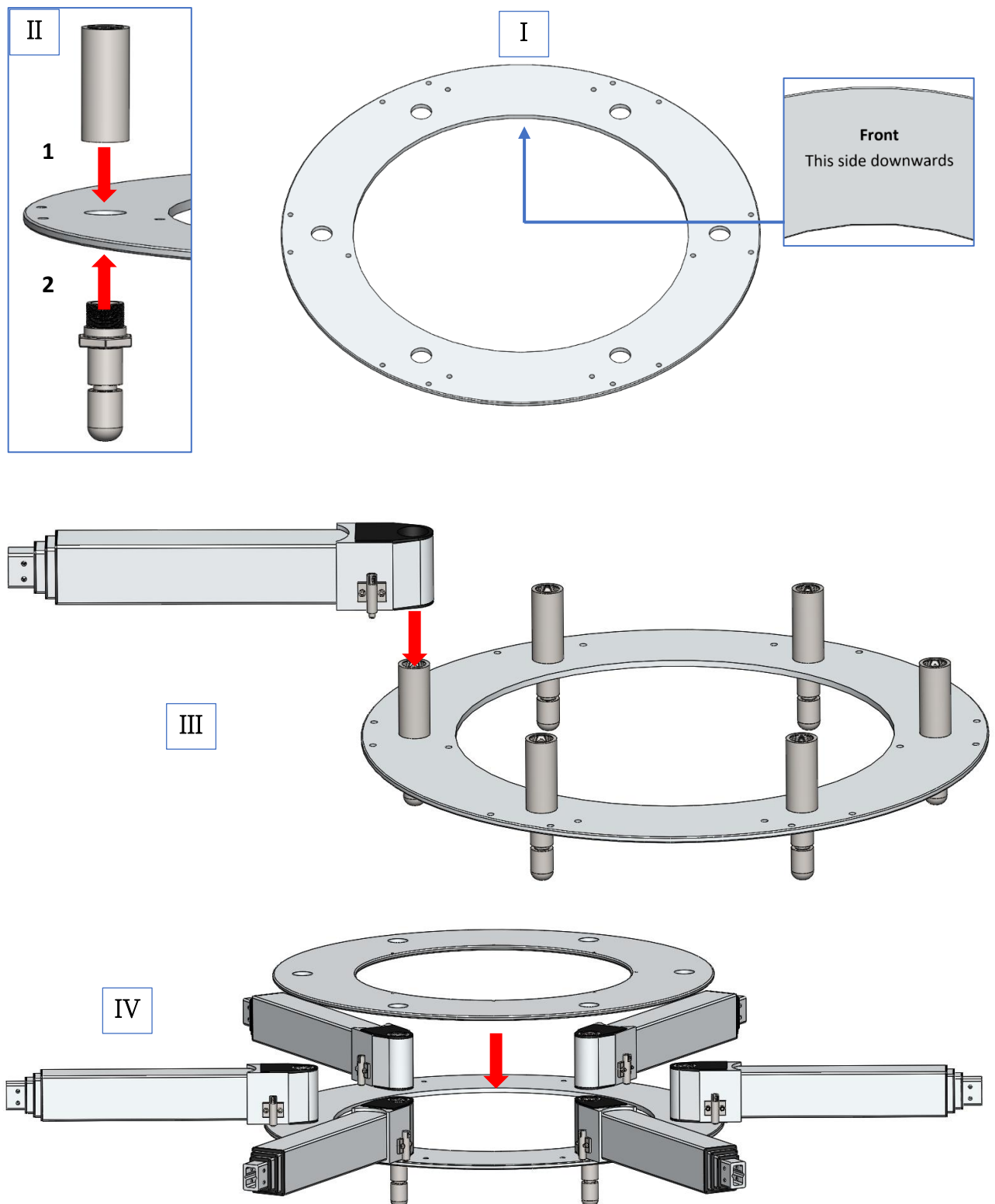
## Siste trinn i montering av opphengsarm (B)



Figur 13.11: Figuren viser de siste trinnene ved montering av opphengsarmen.

- I) Stegprofil skyves inn i det større stegprofilet.
- II) Frontlokket skyves inn i det større stegprofilet og festes.
- III) De to øvrige trinnene repeteres med alle stegprofilene. Figuren viser opphengsarmen ferdig montert.

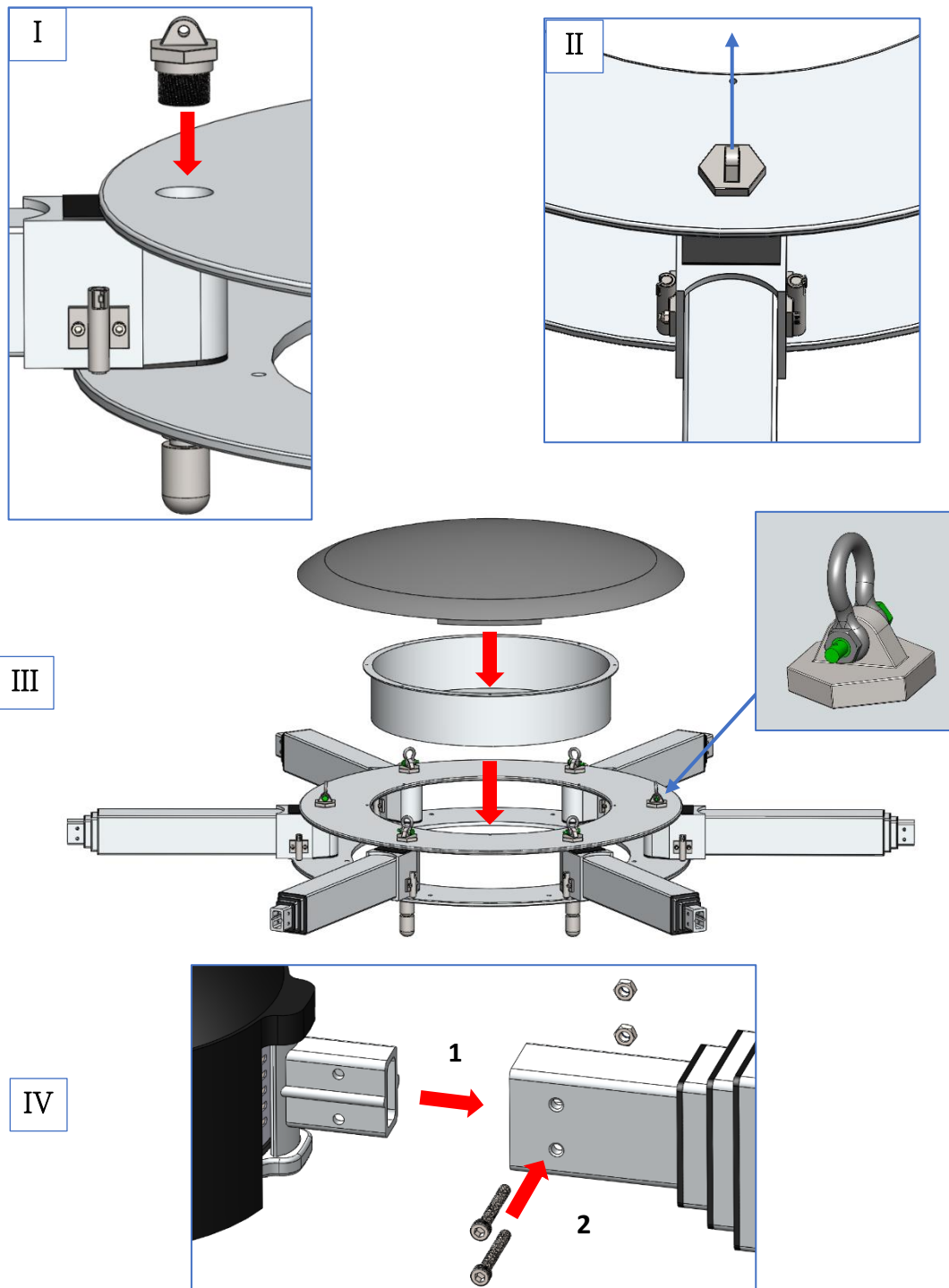
## Videre montering av øvrige elementer til hovedkroppen (A)



Figur 13.12: Første trinnene i ferdigstillingsmonteringen.

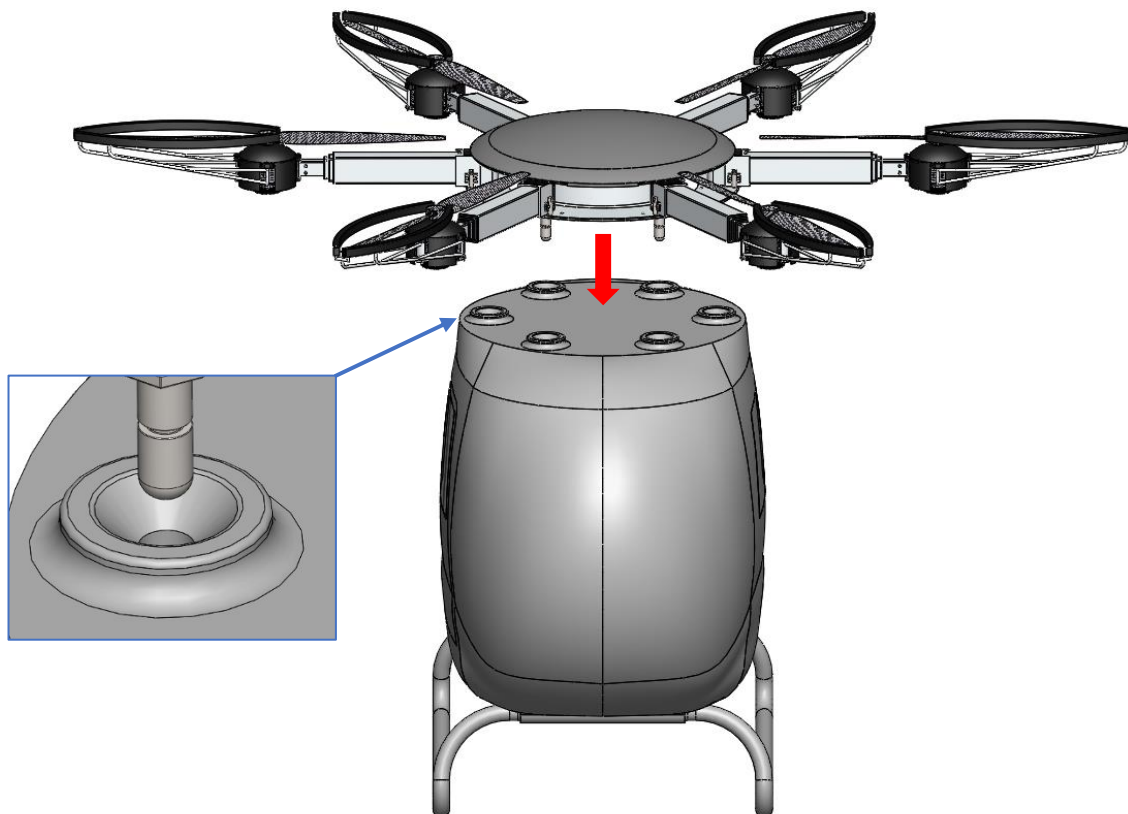
- I) Den nedre monteringsplaten plasseres som markert.
- II) Først (1) plasseres røret på oversiden av det store hullet. Deretter (2) tres hurtigkoblingen inn fra undersiden og strammes (med skruelim). Dette repeteres for alle seks hullene rundt platen.
- III) Opphengsarmen plasseres ned på røret. Dette repeteres for alle seks opphengsarmer.
- IV) Øvremonteringsplate plasseres på oversiden.





Figur 13.13: Figuren viser siste trinnene i ferdigstillingsmonteringen.

- I) Innfestningskomponenten skrues ned i røret fra oversiden av monteringsplaten. Dette repeteres for alle seks komponentene rundt platen.
- II) Det er viktig at denne komponenten peker inn mot senter av dronemodulen som vist på figuren. Dette for at sjakkelen skal vinkles riktig vei. For å forsikre seg om dette kan man løsne hurtigkoblingen til kabinen på undersiden og tilpasse knutepunktet deretter.
- III) Først plasseres beholderen for fallskjerm ned i senter av den øvre monteringsplaten og festes med bolter. Deretter monteres alle sjakkene. Til slutt presse dekslet ned til klipsene på undersiden har fått tak i den øvre monteringsplaten.
- IV) Første (1) skyves thruster/propellskjermingen inn i den ytterste stegprofil. Deretter (2) festes de med gjennomgående bolter og nylock muttere på motsatt side.

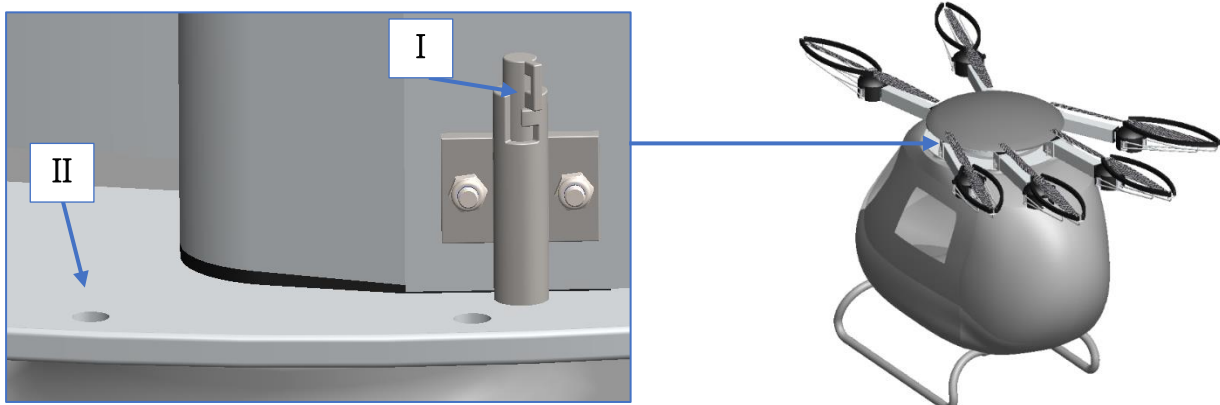


Figur 13.14: Figur viser tilkobling av dronemodul og kabinmodul. Hullene på taket er konisk formet som fører hurtigkoblingene under dronemodulen på riktig plass. Når hurtigkoblingene har entret hullet og nedre monteringsplate er i kontakt med taket låses forbindelsen automatisk.

### 13.2.2 Bruksanvisning

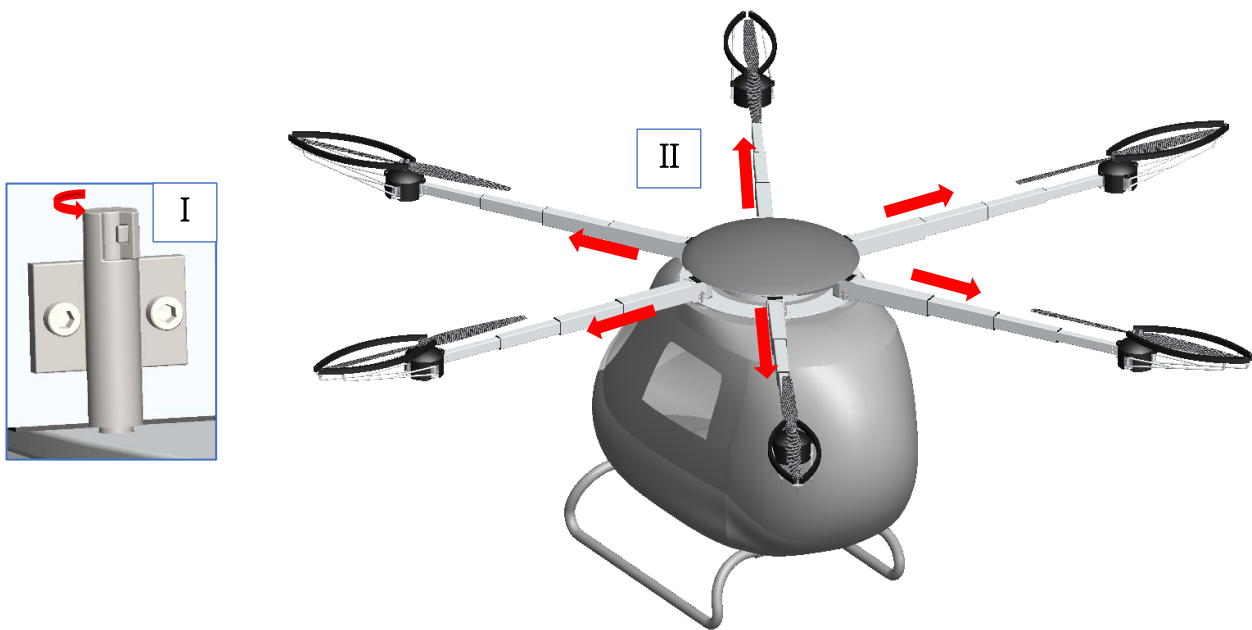
Bruksanvisningen viser først hvordan dronemodulen gjøres klar til flymodus, og hvilke aspekter som er viktig å huske på ved utfolding. Deretter vil dronemodulen sammenfoldes og klargjøres til kjøring på vei.

#### Flymodus



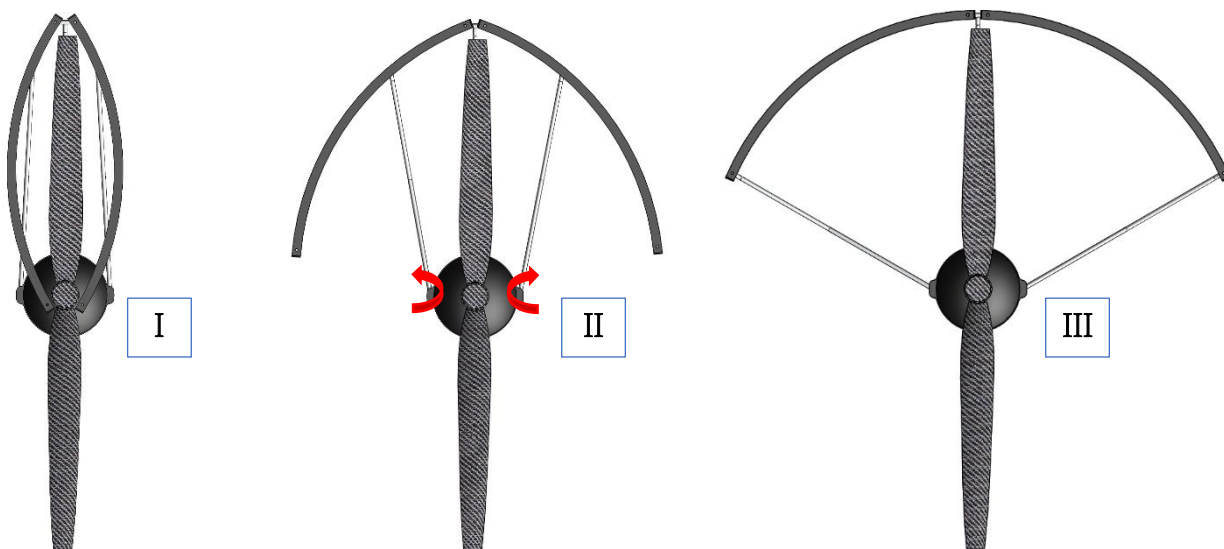
Figur 13.15: Først roteres alle armene med 60 graders vinkel mellom hverandre.

- I) Før armene roteres dras fjærbolten opp. På figuren ligger bolten ann på en flate som holder igjen fjærkraften. Hvis man ønsker automatisk tilkobling benytter man ikke denne flaten.
- II) Når fjærbolten sentreres over hullet og ikke ligger an på flaten ved forrige punkt vil låsingen skje automatisk. Dette hullet vill låse for den aktuelle fjærlåsen på figuren. Det andre hullet vil ha samme funksjon for fjærlåsen på motsatt side.



Figur 13.16: Figuren viser alle opphengsarmene låst.

- I) Når låsebolten stikker ned i hullet sikres bolten ved å rotere inn i en intern lås.
- II) Når alle låseboltene er sikret teleskoperes alle opphengsarmene ut.



Figur 13.17: Figuren viser utfolding av propellskjermen.

- I) Viser propellskjermen i sammenfoldet tilstand.
- II) Ved å rotere sidestagene ved motoren vil skjermen foldes ut.
- III) Viser propellskjermen i utfoldet tilstand.

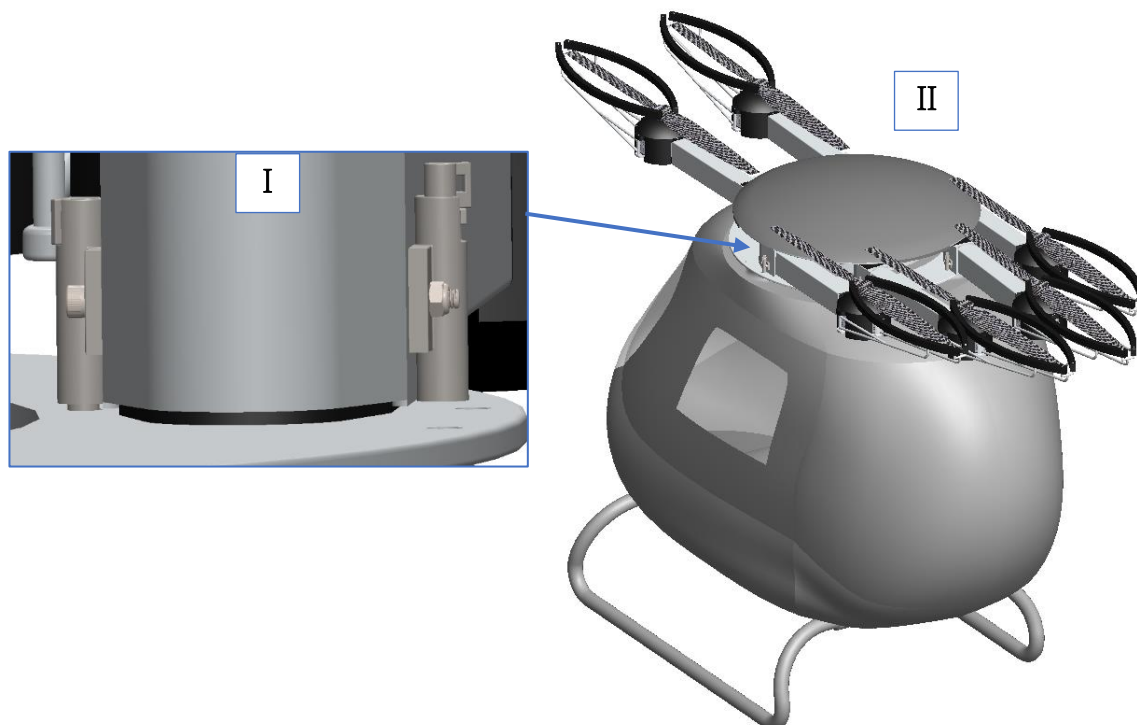


Figur 13.18: Figuren viser når fallskjermen skytes ut.

- I) Klipsen på dekslet som omfavner den øvre monteringsplaten vil løsne når raketten treffer dekselet fra innsiden.
- II) Viser at dekselet fjernes fra dronemodulen slik at fallskjermen kan utløses.

### Kjøremodus

Når dronemodulen skal brukes til kjøring på vei reverseres mekanismene som ble illustrert for flymodus.



Figur 13.19: Figuren viser dronemodulen i kjøremodus.

- I) Ved låsing i kjøremodus brukes det kun en låsebolt (til venstre på figuren). Låsebolten til høyre plasseres derfor oppe på avlastningsflaten.
- II) De to fremre armene roteres fremover, mens de fire bakre roterer bakover.

## 14 PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

*Hensikten med en evaluering og diskusjon av utviklingsprosessen er å sette lys på de viktigste forbedringspotensialene for prosessarbeidet og resultatene. Dette gir en overordnet oversikt over svakheter og usikkerhetsmomenter knyttet til ulike aktiviteter, design, produksjon og kostnader.*

### 14.1 Konseptutviklingsarbeidet, forbedringspotensialer

Konseptutviklingen har bydd på utfordringer spesielt knyttet til omfang og begrensninger. Konseptdesignet av dronemodulen ble noe mer komplekst enn tidligere vurdert. Det var lenge usikkerheter knyttet til hvilke aspekter i designet som skulle prioriteres. For å kunne produsere et mest mulig helhetlig produkt ble det satt begrensninger for optimalisering av enkeltkomponenter og funksjoner. Det ble derfor et større fokus å generere et mer overordnet design som kunne tilrettelegge for videre arbeid på flere områder.

For videre refleksjon rundt konseptutviklingsarbeidet refereres det til prosessfasene i seksjon 3.5:

#### Utredningsfase

- Oppgavedefineringen kunne med fordel blitt utført og ferdigstilt tidligere. Dette ble en noe lengere prosess enn antatt da forkunnskapene om Dolphin Sky prosjektet var begrenset. Utredningen for Dolphin Sky burde påbegynt, og blitt prioritert i større grad, før prosjektstarten for gradsarbeidet.
- Oppgavens hovedproblemstillinger viste seg å medføre en del uforutsette aspekter som ved prosjektplanlegging ikke ble tatt høyde for. Prosjektets omfang ble derfor noe undervurdert i form av å produsere et helhetlig produkt klart for prototyping.
- Det burde blitt utredet mer om teleskoperingsteknologi før utviklingsfasen. Dette ville bidratt med bedre forutsetninger og bedre forståelse av kompleksiteten. Flere forhold knyttet til dette ble derfor ikke prioritert og danner grunnlag for videre arbeid.
- Det kunne blitt utredet for flere eksisterende løsninger. Utredningen ble noe begrenset grunnet at de fleste løsningene/konseptene var gjengangere i flere tidligere masteroppgaver på Dolphin Sky. Ettersom at utviklingen av slike løsninger har kommet lengere på gjeldene tidspunkt finnes det flere aktuelle løsninger som ikke er utredet.
- Utredningen for redningssystemer med fallskjerm og rakett burde påbegynt tidligere. Det viste seg å være utfordrende å oppdrive spesifikasjoner for aktuelle løsninger. Her kunne det vært en fordel og tatt kontakt med de ulike leverandørene.

#### Utviklingsfase

- Produktspesifikasjonene er hovedsakelig basert på tidligere gradsarbeid med Dolphin Sky, som igjen er basert på grove estimater og antagelser. Det ble ikke prioritert å optimalisere grovspesifikasjonene ytterligere. Dette kan videreføre eventuelle feil og usikkerheter. Her kunne det vært fornuftig og spesielt tatt for seg en grundigere utredning av lengden på

opphegsarmene. Denne lengden er veldig sentral i oppgaven og vil være avgjørende for antall stegprofiler, stabilitet i luften og plassbesparelse ved sammenfolding.

- Funksjonene for det endelige konseptet viste seg å bli mer omfattende enn det som ble tatt høyde for i funksjonsanalysen. Det kunne vært fornuftig og gjennomført enda en funksjonsanalyse og en konseptgenerering som tok for seg flere av de utelatte funksjonene.
- Ved egenscreening og konseptvalg ble de ulike løsningsalternativene vektet oppimot utfyllelse av viktige produkttegnegenskaper. Her ble tildelte poeng ikke begrunnet spesifikt. Dette hovedsakelig fordi poengene som tildeltes er basert på veldig estimerte verdier og en tidlig visualisering av hvordan alternativene påvirker helheten i designet. Her kan det vurderes hvorvidt en slik utvelgelse er optimal og jeg burde vært enda mer kritisk til poengfordelingen. F. eks, aerodynamiske egenskaper vil ikke bli drastisk påvirket av hvordan innfestningsfunksjonen til chassis ser ut. Det kunne derfor vært bedre å kun bruke utvalgte egenskaper for vektning av de ulike funksjonene, eller vektet viktigheten av kriteriene relativt til funksjonene.
- Første eksperttest ble utført etter at første utkast på CAD modelleringen var ferdig. Testingen ble avvendt for å ha klare modeller av konseptet som kunne diskuteres. Ved å gjennomføre testingen tidligere i prosessen og kun bruke tidlige håndskisser ville jeg spart tid og ressursbruk. Det ville også vært en fordel og utført flere tester.

### **Konstruksjon og designfase**

- Det ble ikke utført noen FEM analyser for strukturoptimering av komponenter. Dette ble en konsekvens av at designet besto av flere komponenter enn antatt. Det kunne blitt dedikert mer ressurser på de komponentene som var mest sentrale for oppgavens problemstillinger.
- Materialeegenskapene er hentet fra nettbaserte kilder. Det er derfor usikkerheter knyttet til validiteten av verdiene. Sikkerhetsfaktorene ble basert på utmattingsfastheten til materialene som vil være varierende, og det vil også oppstå en kjervvirkning i gjengene på noen av stålkompomentene som ikke er tatt høyde for.
- Det kunne blitt utredet og vurdert flere materialer for de ulike komponentene som ville bidratt til bedre begrunnede materialvalg. Dette ble ikke prioritert fordi flere av komponentene er designet for å «holde av plass» til funksjoner ved videre arbeid. Det er derfor flere komponenter som ikke er tiltenkt å produseres med gjeldene design, og en nøye utredning av materialvalg ble vurdert som ikke hensiktsmessig.
- Fjærlåsen som er en normdel ble sent implementert i designet. Denne delen hadde derfor ikke optimale dimensjoner som sørget for god tilpasning. Det burde derfor blitt utredet for tilgjengelig dimensjoner på standarddelene tidligere i designprosessen.

### **Ferdigstillingsfase**

- Det burde blitt utført en større utredning av muligheter og begrensinger for produksjon på NMBU sitt verksted. Det optimale er å produsere mest mulig internt på skolen og hvis kunnskapen om mulige produksjonsmetoder hadde vært bedre kunne designet blitt ytterligere tilpasset.
-

## 14.2 Designrevisjon, produksjon og kostnadsreduksjon

I denne seksjonen fokuseres det på muligheter og forbedringspotensialer for konkrete designelementer, produksjonselementer og reduksjon av kostnader.

### Designrevisjon

- Konseptløsningen tar ikke spesielt hensyn til plassering av ledninger fra motor til batteri. Dette fordi det er usikkerheter knyttet til hvilken motor som benyttes og hvor batteriet plasseres. Uavhengig av dette må ledningene tres gjennom opphengsarmene. Derfor er det designet hull i baklokkene. Hvis ledningene skal videre fra opphengsarmene og ned i kabinmodulen må designet tilpasses. I gjeldene design er det tilrettelagt for at man kan bore hull inn i knutepunktet og gjennom hurtigkoblingen til chassis. På midten av røret som plasseres mellom monteringsplatene vil spenningsnivåene være små og et hull her vil ikke påvirke konstruksjonssikkerheten betydelig.
- Valget vedrørende foldemekansimen for opphengene ble en manuell løsning, dette i hovedsak for å begrense kompleksiteten av gjeldene konseptforslag. Her er det muligens mer optimalt å ha en elektrisk drevet sammenfolding.
- Brukeren må sammenfolde alle armen enkeltvis. Det er mer optimalt og ergonomisk å ha en samkjørt sammenfolding. For å teleskopere armene inn er designet helt symmetrisk og det anses derfor at en funksjonsmekanisme plassert i senter av dronemodulen kan løse problemet uten veldig høy kompleksitet. For å rotere armene er designet mindre symmetrisk, men det anses også her å være mulig å utvikle en samkjørt løsning.
- Det er ikke utviklet en komplett løsning for låsing av stegprofilene i opphengsarmen i flymodus eller kjøremodus, men designet legger til rette for slik mekanismer. Det er designet et frontlokk og et baklokk for de ulike stegene i teleskoperingen. Når opphengsarmene er teleskopert ut er tanken at frontlokkene og baklokkene ved kontakt fungerer som endestoppere. Denne kontakten kan også benyttes til en låsing. Når opphengsarmene teleskoperes inn stilles det ikke like strenge krav til låsingen. Da vil ikke armene utsettes for noen krefter og låsingen vil kun sørge for at armene ikke teleskoperes ut av seg selv når dronebilen kjører på veien. Her kan kontaktflaten mellom motorbraketten og stegprofilene utnyttes. Når armene er fullstendig teleskopert inn er det kontakt mellom motorbraketten og den innerste stegprofilen, en låsingsmekanisme her vil være tilstrekkelig.
- Det er ikke utviklet en komplett løsning for innfestning av front og baklokk til stegprofilene. Det var først tenk at disse skulle skrues inn i sideveggene, men på grunn av relativt liten godstykkelse kan det bli problematisk. Hvis disse lokkene skal benyttes til låsing bør designet være mer robust.
- Den innerste stegprofilen er festet til innfestningsbraketten med to gjennomgående bolter. Disse boltene brukes også til å feste fjærlåsene. Når boltene strammes vil det oppstå spenninger i både stegprofilen og innfestningsbraketten, for å forhindre at de bøyes inn. Her kan det være fornuftig å legge til en rørstuss rundt boltene på innsiden. Da vil rørstussen ta opp disse kreften og forhindre ugunstige påkjenninger. Det antas at boltene ikke trenger å

strammes veldig, men ved dynamiske laster vil komponentene bli ytterligere utsatt for utmattingstretthet.

- Det er ikke designet låsing av propellskjermingen i utfoldet eller sammenfoldet tilstand. Her kan man enten designe en låsing inne ved rotasjonsakslingen til sidestagene, eller ved tuppen av staget på plastskjermen.
- Propellskjermingen strekker seg kun ut i en redusert halvsirkel og skjermen er relativt tynn, noe som vil gi mindre beskyttelse. Grunnen til dette var fordi ved sammenfolding av de fire bakre opphengsarmene var det begrenset plass i bredderetning. Hvis sikkerheten her anses som for liten, kan det utvikles en kanal rundt propellen som gir bedre beskyttelse kombinert med bidrag til oppdriftskraft.
- Det er valgt å designe konseptet med propeller som er faste komponenter. Hvis man benytter seg av sammenfoldbare propeller vil man kunne redusere opptatt plass i lengderetning. Dette ble ikke prioritert grunnet usikkerheter rundt slike propeller samt at plassbesparelse i bredderetning ble sett på som viktigst.
- Motorskjermen bør ha et vanntett lager ved akslingen til motoren. Dette for å hindre lekkasje av vann og andre stoffer.
- For låsing av opphengsarmene er det benyttet fjærlåser. Man må derfor manuelt løfte låseboltene opp når opphengsarmene skal roteres. Her kan det være ønskelig å ha en samkjørt mekanisme for alle armene.
- Når opphengsarmene er låst i kjøremodus vil det oppstå en ergonomisk problemstilling ved at alle fjærlåsene plasseres på innsiden. Det er derfor redusert tilgjengelighet av denne låsingen. Designet av nedre monteringsplate kan derfor tilpasses ved at hullet til låsingen plasseres et annet sted. Da vil låsen kunne komme på riktig side.
- Beholderen til fallskjerm og rakett er kun designet for å holde av plass til systemet. Denne må derfor redesignes for videre tilpasning. Fallskjermposen må vare fastmontert slik at den holdes på riktig plassering. Raketten må festes til en egen brakett som er dimensjonert for utskytingen og det må tas hensyn til en eksosutgang.
- Komponentene kunne hatt ytterligere optimaliserte aerodynamiske egenskaper. Dekslet som plasseres på oversiden av dronemodulen vil gi noe effekt her, men opphengsarmene har en ugunstig utforming. Til tross for dette kan det vurderes i hvilken grad aerodynamiske egenskaper skal påvirke designet av dronemodulen. Aktuelle hastigheter antas å være relativt små, så luftmotstanden vil muligens ikke være en drastisk påvirker.

### **Produksjon og kostnadsreduksjon**

- Røret som er en del av knutepunktet og plasseres mellom monteringsplatene burde produseres ut ifra et innkjøpt rør. Dimensjonene burde derfor blitt tilpasset tilgjengelige standardrør.
- Stagene som holder propellskjermene bør designes med flere komponenter. Geometrien er ugunstig å produsere og en endring her kan redusere kostnadene.



## 15 KONKLUSJON

Gjennom dette gradsarbeidet har det blitt utredet, utviklet og designet en dronemodul, som kan sammenfolde opphengene til propell- og thrustersystemet ved hjelp av teleskoperte profiler og rotering. Dronemodulen er designet for å kunne implementeres til småbilkonseptet Dolphin med automatiske hurtigkoblinger. Dronemodulen kan låses i to ulike konfigurasjoner som muliggjør både flyvning, kjøring på vei og parkering. Konstruksjonssikkerheten er ivaretatt gjennom grunnlagsberegninger, FEM analyser, sikkerhetsfaktorer og materialvalg. Brukssikkerheten er ivaretatt med tilrettelegging for et nødlandingsystem med fallskjerm, og sikkerhetsrutiner før, under og etter flyvning/kjøring. Det er også generert et løsningsforslag til signalsymboler som kan implementeres til instrumentpanelet for statusoppdatering av dronemodulen.

Dronemodulen er 3D CAD modellert, og konseptvalg, beregninger og produksjonsmetoder er eksperttestet. Designet på dronemodulen har hatt fokus på å et estetisk appellerende utseende. Løsningen har også ytterligere blitt tilpasset nødvendige sikkerhetsfunksjoner, sammenlignet med tidligere arbeid, og dimensjoneringen anses som robust. Aerodynamiske egenskaper er ikke spesielt ivaretatt, da viktigheten av denne egenskapen er usikker i forhold til aktuelle hastigheter. Dronemodulen kan enkelt vedlikeholdes ved at komponenter kan demonteres enkeltvis. Brukervennligheten og ergonomiske forhold er gode, men det er fortsatt tilpasninger som kan gjøres for enda bedre utfyllelse på disse områdene. Totalvekten av dronemodulen er relativt høy, og delkomponentene anses å ha potensiale for optimalisering av vekt.

Dronemodulen er symmetrisk konstruert som reduserer kostnader, og kompleksiteten av konseptet anses som akseptabelt for produksjon av en prototype, gitt at videre arbeid blir utført.

### 15.1 Resultater og anbefalinger

#### Hovedresultatene for arbeidet er som følger:

- De ytre dimensjonene i flymodus er: 5287 x 5897 x 351 mm.
- De ytre dimensjonene i kjøremodus er: 3514 x 1119 x 351 mm.
- Dronemodulen veier totalt 125,6 kg uten motorer, propeller og fallskjermssystem.
- Det er totalt seks opphengsarmer og thrustere.
- Det benyttes en grenselastfaktor på 3,5 G for rotorfartøy i normal kategori fra selvbyggerforskriften (BSL B 3-1).
- Sikkerhetsfaktoren settes iht. grenselastfaktoren og forholdet mellom flytegrensen og utmattingsgrensen til materialet. For aluminiumskomponenter er sikkerhetsfaktoren mot flyt på 4,26 ved bøyespennning og 8,52 ved skjærspennning. For stålkomponenter er sikkerhetsfaktoren mot flyt ved bøyespennning 3,58 og ved skjærspennning 7,17.
- Én opphengsarm utsettes for en vertikalkraft på 736 N. Ut ifra håndberegninger medfører dette en maks nedbøyning på 7,12 mm og en vinkelforandring for propellen på 0,38°.
- Alle opphengsarmene er identiske og består av fire stegprofiler som teleskoperes og roteres ved sammenfolding.

- Opphengsarmene har en hexa X konfigurasjon i flymodus med 60° mellom hverandre.
- Propellskjermingen strekker seg ut i en redusert halvsirkel og er sammenfoldbar.
- Det er holdt av plass i designet til et nødlandingsystem med fallskjerm og rakett.
- Majoriteten av komponentene produseres med aluminiumslegeringene EN AW 6082 T6 og EN AW 6082 T651. Knutepunkts komponenter og standardkomponenter er produsert i rustfritt stål. Dekslar og skjermer produseres i plast.
- Kostnaden for produksjon av én prototype estimeres til 691 750 NOK, der 72 % av dette går til utviklingsarbeidet.

#### **Anbefalinger er som følger:**

- Teleskoperte opphengsarmer gir en veldig effektiv plassbesparelse ved å utnytte tilgjengelig volum. Ved bruk av fire stegprofiler, og angitte lengder, reduseres lengden på opphengsarmene med 72 %.
- Ved å rotere opphengsarmene å plassere de i lengderetningen, vil dronemodulen i sammenfoldet tilstand ikke bygge utenfor chassiset i bredderetning.
- Opptatt plass i høyderetning anses som akseptabelt for innkjøring gjennom en standard garasjeport, og vil være lik for utfoldet og sammenfoldet tilstand.
- Alle opphengsarmene kan demonteres enkeltvis og vedlikeholdes uten å måtte demontere hele dronemodulen. Dette anses som en stor fordel.
- Det anbefales å holde av et større område til fallskjerm og rakett da dimensjonene mest sannsynlig er større en tidligere vurdering gjort i Dolphin Sky prosjektet.
- Det anbefales å benytte seks opphengsarmer, da fire armer gir for liten sikkerhet ved bruk av én motor per arm, og åtte muligens medfører for høy kompleksitet. Det anses å kunne benytte to motorer per arm, dersom dette er nødvendig, uten veldig mye tilpasning i designet.
- Innfestningspunktene til fallskjermtauene er i knutepunktene. Dette knutepunktet er direkte koblet til rammeverket på kabinmodulen som vil gi en ideell overføring av krefter.

## 15.2 Videre arbeid

Gjennom utviklingsprosessen har det oppstått utfordringer og nye problemstillinger ved designet. Det er også viktige elementer som er utelatt på grunn av tidsbegrensning. For å kunne realisere produksjon av en prototype er det punktvis satt opp en prioritert liste med økende ressursomfang for videre arbeid:

- Utføre en ny funksjonsanalyse av gjeldene konseptdesign og generere flere løsningsalternativer på funksjonene som uteble fra oppgaven.
- Utføre strukturoptimering med FEM analyser for å ytterligere verifisere at dimensjoneringen er tilfredsstillende og for å redusere vekten på delkomponentene.
- Optimalisere designet av stagene som holder propellskjermene, disse bør designes med flere komponenter.

- Redesigne nedre monteringsplate, slik at ved låsing i kjøremodus vil fjærlåsene være lettere tilgjengelig for brukeren.
- Utføre utmattingsberegninger for de mest kritiske komponentene.
- Utføre en mer omfattende utredning av produksjonsmetoder på NMBU verkstedet og utarbeide en mer nøyaktig kostnadsanalyse.
- Utrede mer om aerodynamiske forhold knyttet til designet av dronemodulen. Kartlegge hvor viktig en aerodynamisk form er for gitt hastighet og bruk.
- Utrede for tilgjengelige motorer som vil gi nok kraft. Gjøre en vurdering på om det kan benyttes to motorer og to propeller per opphengsarm. Deretter tilpasse motorbraketten og motorskjermen til aktuelle dimensjoner. Deler av braketten kan muligens bestilles fra samme leverandør.
- Det må utredes mer for spesifikke redningssystemer med fallskjerm og rakett. Her må det tas kontakt med leverandører for å innhente mer informasjon. Videre må det utvikles og designes en beholder til fallskjermen og en innfestningsbrakett til utskytningsraketten.
- Utrede, utvikle og designe en låsemekanisme for teleskoperingen i sammenfoldet tilstand.
- Utrede for glideflater og opplagring av stegprofilene i teleskoperingsarmen. Utføre nødvendige beregninger av overlapp mellom profilene.
- Utrede, utvikle og designe en låsemekanisme for propellskjermen i utfoldet og sammenfoldet tilstand. Det kan også ses på om foldemekanismen kan være elektrisk drevet.
- Utrede, utvikle og designe front og baklokk til en fullstendig løsning som fungerer som endestoppere og låsing av stegprofilene i utstrakt tilstand.
- Utrede, utvikle og designe en samkjørt teleskopering av alle opphengsarmene, muligens elektrisk drevet.
- Utrede, utvikle og designe en samkjørt rotering av alle opphengsarmene, muligens elektrisk drevet.
- Gjøre en vurdering på om opptatt plass i lengderetning skal reduseres. Det burde da utredes, utvikles og designes propellblader som er sammenfoldbare. Videre må propellskjermingen også redesignes.

---

## 16 REFERANSER

Under følger alle skriftlige kilder, personlige meddelelser og nettkilder som benyttes i rapporten.

### 16.1 Skriftlige kilder

- 4 Helse- og omsorgsdepartementet, Justis- og beredskapsdepartementet, Klima- og miljødepartementet, Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Nærings- og fiskeridepartementet og Samferdselsdepartementet, Norges dronestrategi, Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon, 3/2018, s. 62
- 5 Leandersson, C.F «Dolphin Family, Del D: Konseptualisering og design av overchassis for trehjuls lettvektskjøretøy» REALTEK, NMBU, 2012, s. 128
- 8 Rummelhoff, Kristoffer Ødegaard, «Dolphin Sky, Del A: Utvikling av integrert design- og helhetskonsept for sveveløsning», REALTEK, NMBU, 2016, s. 153
- 9 Thømt, Anders Christian, «Utredning, dimensjonering og utvikling av testoppsett for thrusterfunksjon til persondrone» REALTEK, NMBU, 2017, s. 106
- 10 Magnussen, Thomas A. M., «Dolphin Sky: Chassisløsning for person- og varetransport», REALTEK, NMBU, 2018, s. 148
- 11 El-Gewely, Tarek, «Dolphin Sky: Utredning og utvikling av sammenfoldbart propell- og thrustersystem», REALTEK, NMBU, 2018, s. 137
- 21 Magrab, Edward B: Total Design: Intergated Product and Process Design and Development: The Product Realization Process (Environmental & Energy Engineering Series), CRC Press, New York, USA, 1. edition, 1997, s. 320
- 23 Pugh, Stuart: Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering, Pearson Education, Essex, United Kingdom, 1991, s. 296
- 24 Osborn, Alex F.: Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem-Solving, 3rd Revised edition, Charles Scribner's Sons, New York, USA, 1979, s. 417
- 31 Anderson, John David, Fundamentals of Aerodynamics, McGraw-Hill, New York, USA, 5. Edition, 2011, s. 1106
- 34 Terjesen, Geir, Castigliano's sats, Undervisnings foredrag i emnet TMP 301, NMBU, Ås, 2018, s.42
- 41 Johannessen, Jarle, Tekniske Tabeller, 2. utgave og 11. opplag, J.W.Cappelens Forlag A/S, 2002, s. 158
- 42 Vollen, Øistein, Statikk og fasthetslære, 2.utgave og 3. opplag, NKI Forlaget AS, 2013, s. 376

- 
- 43 Dahlvig, Gunnar, Christensen, Sigmund og Strømsnes, Gunnar, Konstruksjonselementer, 2. utgave og 6. opplag, Gyldendal Norsk Forlag AS, 2013, s. 486
- 51 Gazapo, J, Basic Approaches to Prevent Corrosion of Aluminium, EAA – European Aluminum Association, 1994, s. 14
- 55 Norsk Standard, NS-EN ISO 9001: Systemer for kvalitetsstyring Krav, Norsk standard, 3.utgave, desember 2000, s. 42
- 56 International Organization for Standardization, «ISO 128 Technical product documentation (TPD)—General principles of presentation» International Organization for Standardization
- 16.2 Personlig meddelelse
- 35 Holmberg, Henrik Folke, Overingeniør, konstruksjon, 12.04.2019
- 52 Hansen, Øyvind, Overingeniør, produksjonsmetoder, 30.04.2019
- 16.3 Nettbaserte kilder
- 1 Urbanisering, The World Bank Group , sitert 11.02.2019;  
<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- 2 Veibygging, Statens vegvesen, sitert 11.02.2019;  
<https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/s%C3%A5-mye-koster-det-%C3%A5-bygge-en-meter-vei>
- 3 Trafikk kø, Medium, sitert 11.05.2019; <https://medium.com/cityoftomorrow/how-asian-cities-companies-and-individuals-can-work-together-to-create-cities-of-tomorrow-d473c71aa5cb>
- 6 Vinge origami, Springer Nature Publishing AG, sitert 13.02.2019;  
<https://www.nature.com/articles/d41586-018-03775-4>
- 7 Saksedyr, Leaf, Root & Fruit Gardening Services Melbourne, sitert 13.02.2019;  
<https://www.leafrootfruit.com.au/how-to-control-earwigs-garden/>
- 12 Ehang 184, EHANG, sitert 28.01.2019; <http://www.ehang.com/ehang184/>
- 13 Ehang 184, GIGAZINE, sitert 29.01.2019; [http://gigazine.net/gsc\\_news/en/20160107-ehang-184](http://gigazine.net/gsc_news/en/20160107-ehang-184)
- 14 PoP.Up, New Atlas ,sitert 04.02.2019; <https://newatlas.com/airbus-audi-pop-up-next-drone/53700/#gallery>
- 57 Bakgrunnsbilde, Jooinn, sitert 11.05.2019; [https://jooinn.com/parking-lot-3.html#gal\\_post\\_124793\\_parking-area-2.jpg](https://jooinn.com/parking-lot-3.html#gal_post_124793_parking-area-2.jpg)
-

- 
- 15 PoP.Up Next, Airbus S.A.S, sitert 04.02.2019; <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/04/airbus-and-audi-partner-to-provide-air-ground-urban-mobility-s.html>
  - 16 Jetpack Aviation VTOL, New Atlas, sitert 23.02.2019; <https://newatlas.com/david-mayman-vtol-flying-car-jpa-interview/47700/#p447138>
  - 17 Hoverbike Scorpion 3, Hoversurf, sitert 23.02.2019; <https://www.hoversurf.com/orderyours>
  - 18 Hoverbike Scorpion 3, HoverDNA.com, sitert 23.02.2019; <https://hoverdna.com/hoversurf/>
  - 19 Teleskopstige, Groupon International Limited, sitert 23.02.2019; <https://www.aadalen.no/produkt/manitou-atj-160-16-meter-knekkarm/>
  - 20 Bildeutsnitt (tid 1:50) av innfestning på PoP.Up, Italdesign, sitert 23.02.2019; [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=103&v=2LggHhR2kFk](https://www.youtube.com/watch?time_continue=103&v=2LggHhR2kFk)
  - 22 IPD principles, DRM Associates, sitert 06.03.2019; <http://www.npd-solutions.com/principles.html>
  - 25 Delegering av myndighet til Luftfartstilsynet etter luftfartsloven, Lovdata, sitert 13.03.2019; <https://lovdata.no/dokument/DEL/forskrift/1999-12-10-1273>
  - 26 Forskriftsamling, Luftfartstilsynet, sitert 13.03.2019; <https://luftfartstilsynet.no/lover-og-regler/?bslc=61&c=108>
  - 27 Selvbyggerforskriften, Lovdata, sitert 13.03.2019; <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-06-26-721>
  - 28 Sikkerhetssystem, New Atlas, sitert 21.03.2019; <https://newatlas.com/david-mayman-vtol-flying-car-jpa-interview/47700/>
  - 29 Ballistisk fallsjerm, BRS Aerospace, sitert 07.04.2019; <https://brsaerospace.com/questions/>
  - 30 Teleskop, Shutterstock, sitert 22.03.2019; <https://www.shutterstock.com/nb/search/old+telescope>
  - 32 Formotstand, Quora, sitert 28.03.2019; <https://www.quora.com/What-is-skin-drag-and-form-drag>
  - 33 Luftmotstand koeffisient, The Engineering ToolBox, sitert 07.04.2019; [https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d\\_627.html](https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html)
  - 58 Bakgrunnsbilde, New Zealand China Society, sitert 11.05.2019; <http://nzchinasociety.org.nz/the-story-of-people-and-city-nz-cfs-urban-development-delegation-to-china-2018/>
-

- 
- 36 Materialdata, Iron Boar Labs Ltd., sitert 15.04.2019;  
<https://www.makeitfrom.com/material-group/Aluminum-Alloy>
- 37 Fallskjerm, BRS Aerospace, sitert 15.04.2019; <https://brsaerospace.com/cubcrafters/>
- 38 Fallskjerm, Galaxy Holding s.r.o, sitert 15.04.2019; <https://www.galaxysky.cz/soft-pack-s20-en>
- 39 Montasje av fallskjerm, Galaxy Holding s.r.o, sitert 15.04.2019;  
<https://www.galaxysky.cz/installation-s25-en>
- 40 GRS 5, Galaxy Holding s.r.o, sitert 15.04.2019; <https://www.galaxysky.cz/grs-5-560-115m2-p36-en>
- 44 H-sjakkell, Industribehov AS, sitert. 18.04.2019;  
<https://industribehov.com/produkter/sjakler/green-pin-g-4163#mal-og-dimensjoner>
- 45 Fjærlås, Elesa S.pA., sitert 18.04.2019;  
<https://www.elesa.com/en/elesab2bstoreoc/catalogo-cat-166-sales/indexing-and-positioning-elements--1/Indexing-and-positioning-elements--Lever-indexing-plungers--GN416#categoryid=21509&sortby=0&facetvalue=&searchtopcategoryid=21501&searchparentcategoryid=21509>
- 46 Umbraco bolt, Speedline A/S, sitert 18.04.2019;  
[https://www.google.com/search?q=lang+umbraco+skrue+m6&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigmteFrtrhAhVvw4sKHUYBDuYQ\\_AUIDigB&biw=1920&bih=937#imgrc=b9vg-niWkyVlkM:](https://www.google.com/search?q=lang+umbraco+skrue+m6&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigmteFrtrhAhVvw4sKHUYBDuYQ_AUIDigB&biw=1920&bih=937#imgrc=b9vg-niWkyVlkM:)
- 47 Nylock mutter, Ahlsell, sitert 18.04.2019;  
<https://www.ahlsell.no/33/festemidler/mutter/mutter-lavlegert/119131/>
- 48 Seegerring, Ahlsell, sitert 18.04.2019; <https://www.ahlsell.no/33/festemidler/ugjengede-artikler/segerring/235188/>
- 49 Galvanisk korrosjon, Euro Inox, sitert 19.04.2019;  
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Contact\\_with\\_Other\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_EN.pdf)
- 50 Lynch motor, Lynch Motor Company Ltd, sitert 22.04.2019;  
[https://lynchmotors.co.uk/technical\\_electric-boat\\_motors.html](https://lynchmotors.co.uk/technical_electric-boat_motors.html)
- 53 Vedlikeholdsforskriften, Lovdata, sitert 28.04.2019;  
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-02-24-458>
- 54 Safety system, ParaZero Drone Safety systems Ltd., sitert 28.04.2019;  
<https://parazero.com/solutions/air-mobility-safety-for-passenger-and-heavy-drones/>
-

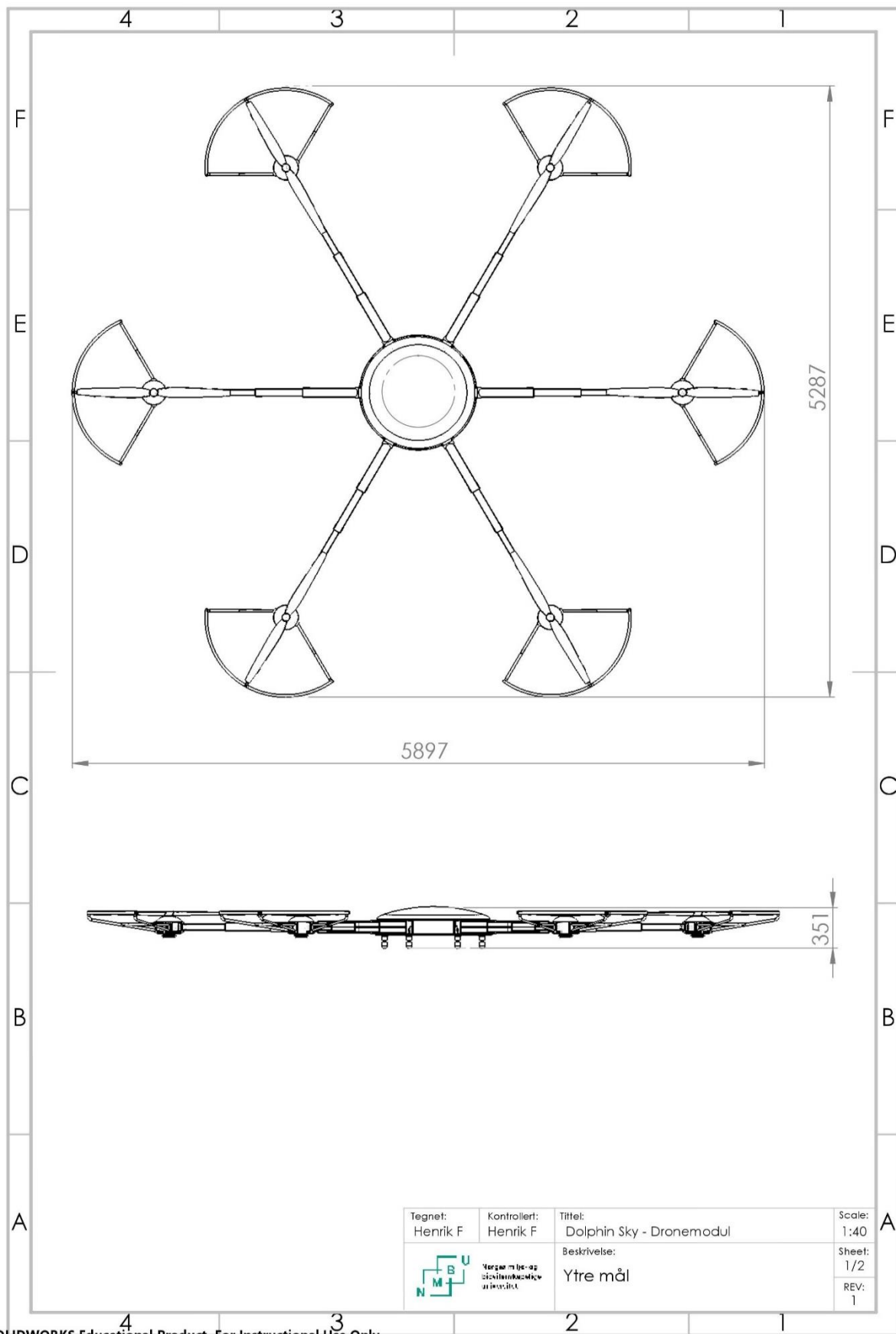
---

## 17 VEDLEGG

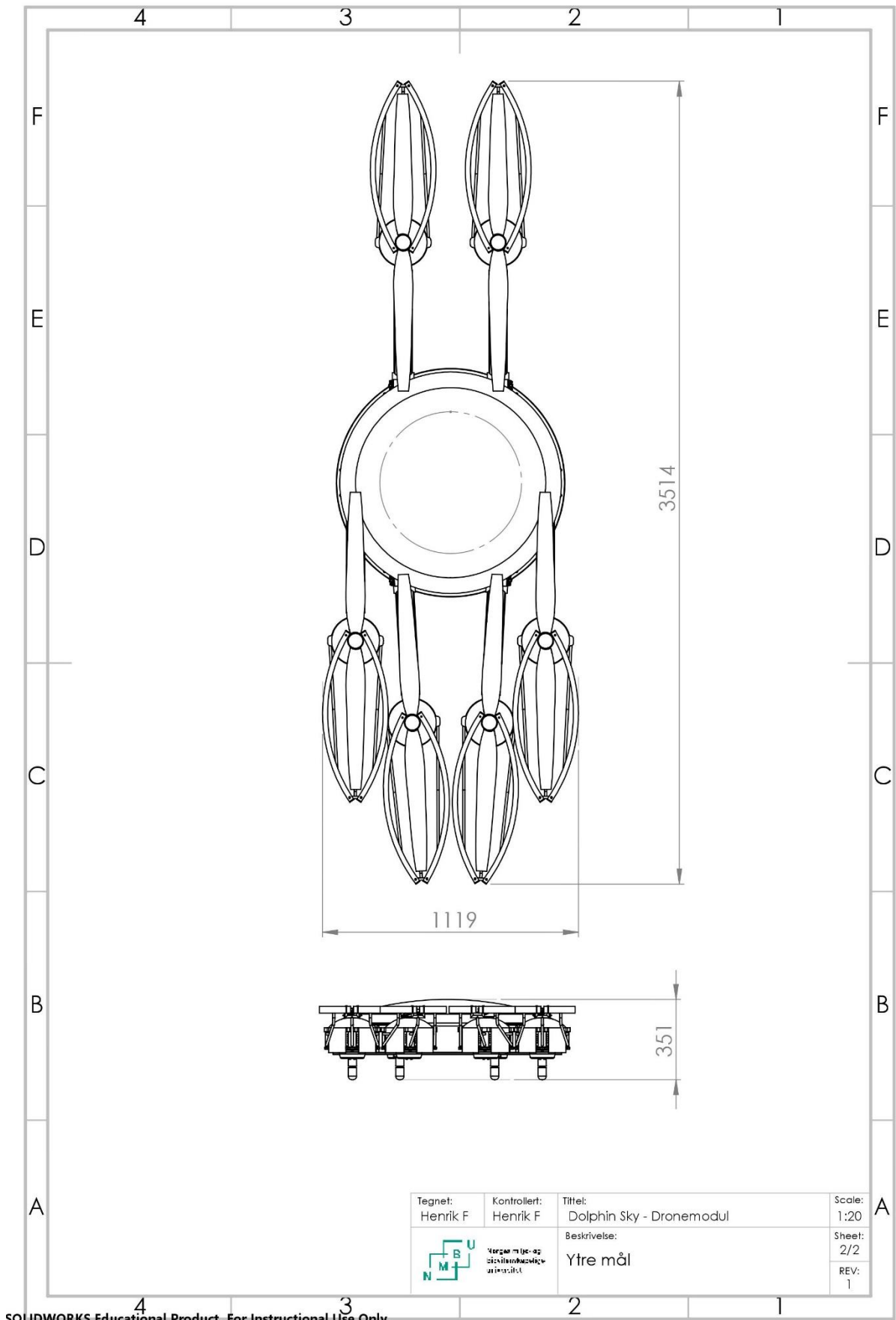
	Side:
Vedlegg 1	
Ytremål i flymodus.....	A
Ytremål i kjøremodus.....	B
Vedlegg 2	
Eksplosjonstegning av hovedkroppen.....	C
Eksplosjonstegning av oppphengsarm.....	D
Eksplosjonstegning av thruster/propellskjerming.....	E
Vedlegg 3	
Lynch motor LEM 200.....	F



Vedlegg 1

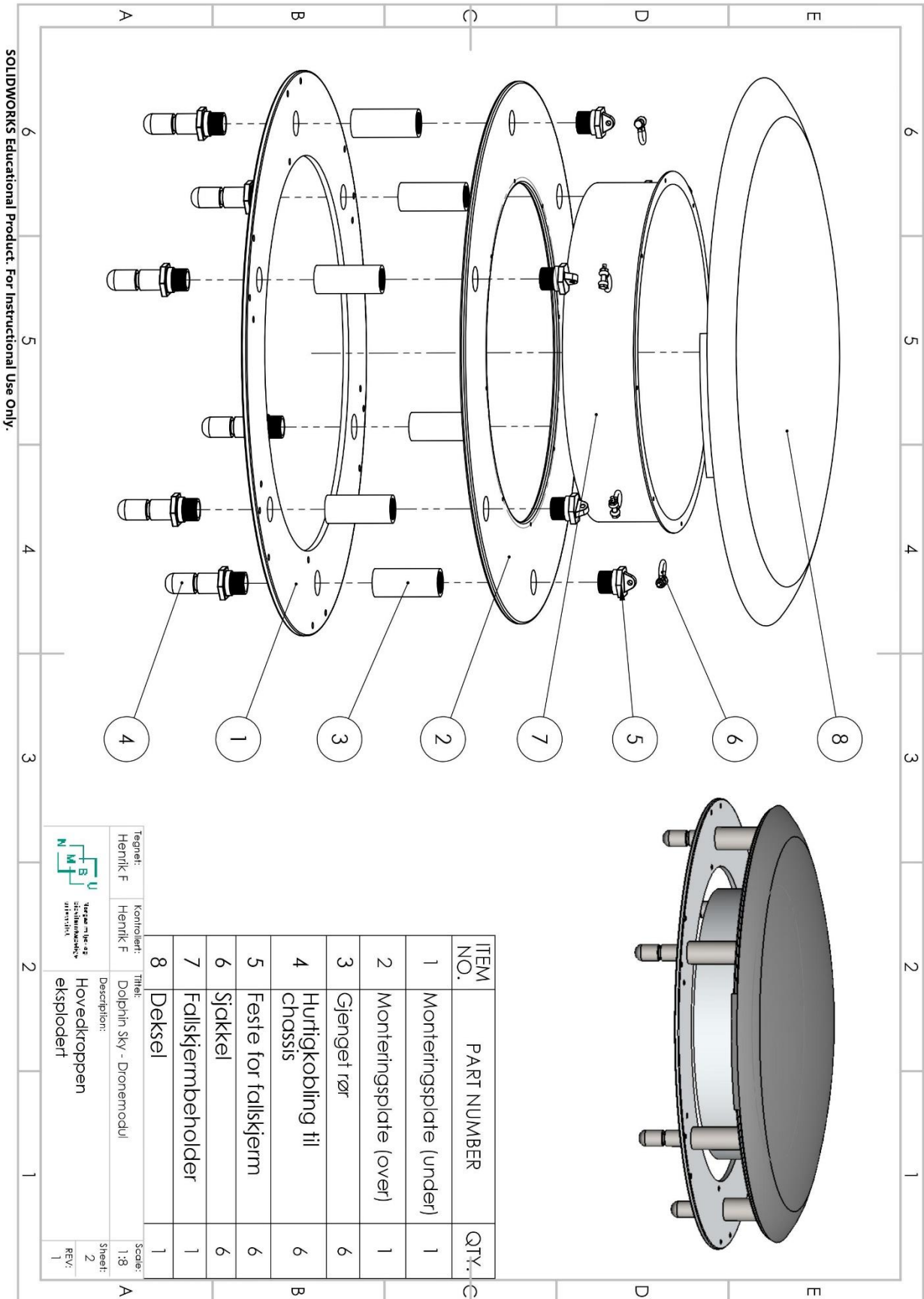


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



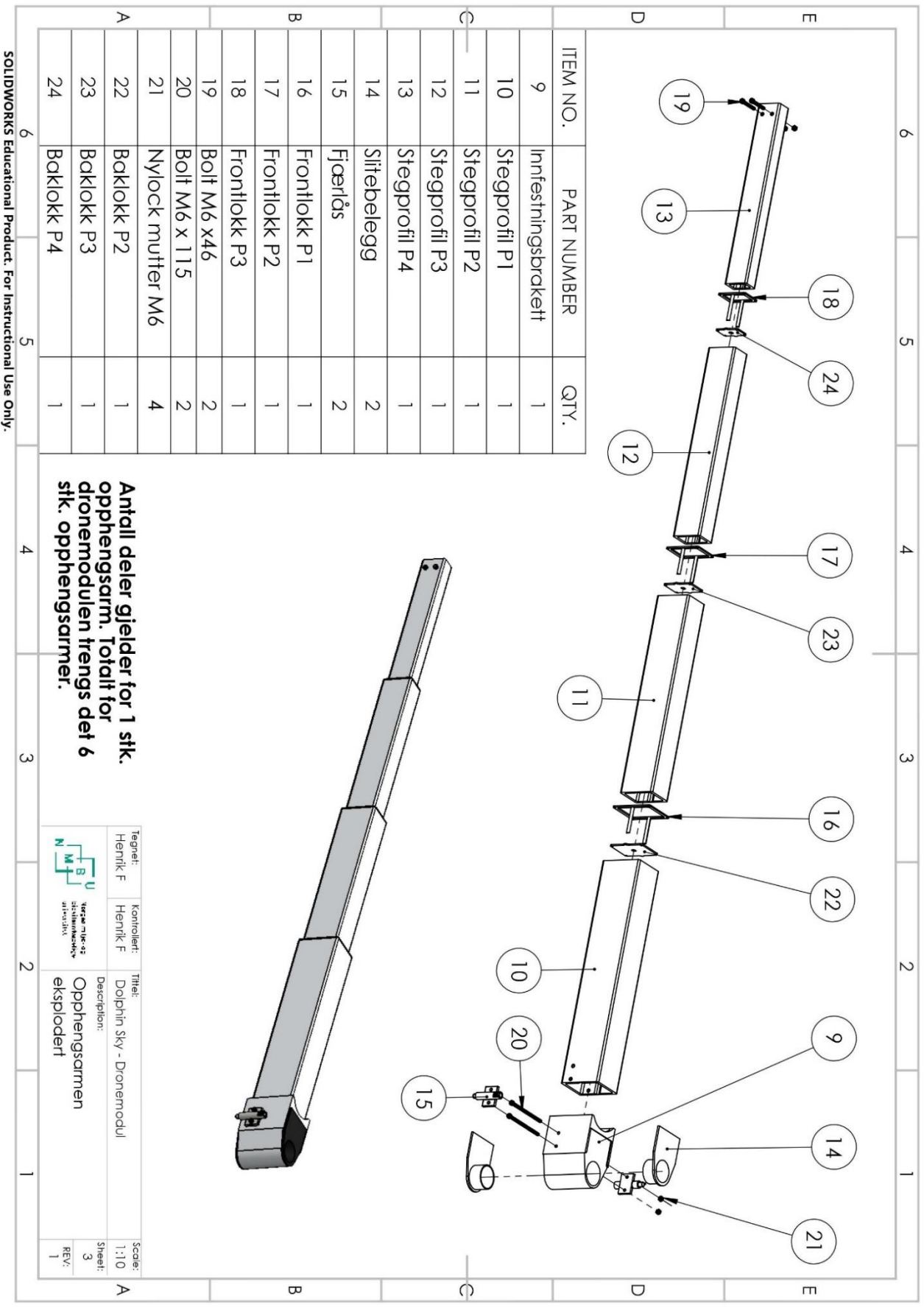
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Vedlegg 2

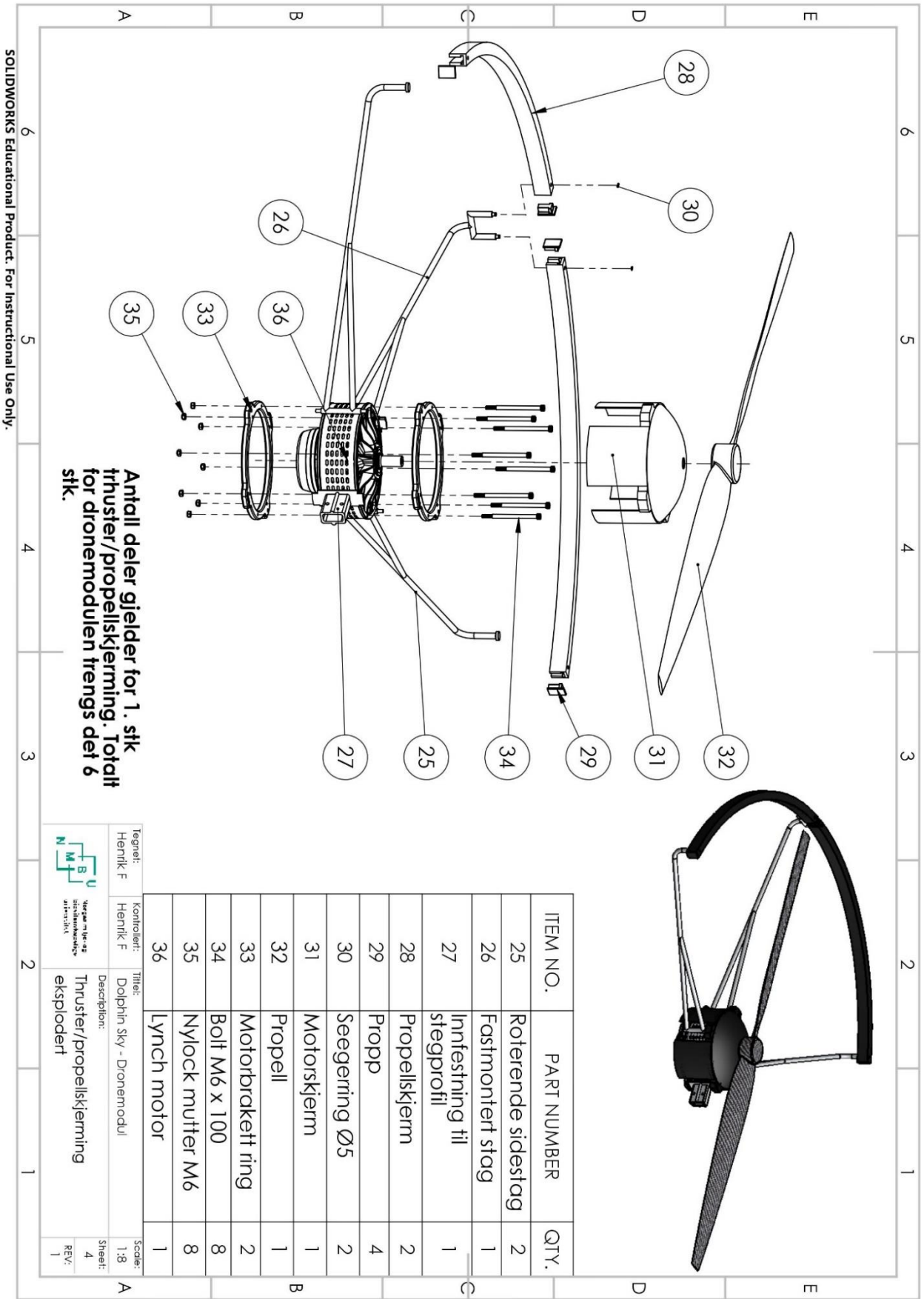


Tegnet: Henrik F	Kontrollert: Henrik F	Tittel: Dolphin Sky - Dronemodul	Scale: 1:8
Description: Hovedtroppen eksplodert		Sheet: 2	REV: 1





SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



**Antall deler gjelder for 1. stk  
 truster/propellskjerming. Totalt  
 for dronemodulen trengs det 6  
 stk.**

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
25	Roterende sidestag	2
26	Fastmontert stag	1
27	Infestning til stegprofil	1
28	Propellskjerm	2
29	Propp	4
30	Seegering Ø5	2
31	Motorskjerm	1
32	Propell	1
33	Motorbrakett ring	2
34	Bolt M6 x 100	8
35	Nylock mutter M6	8
36	Lynch motor	1

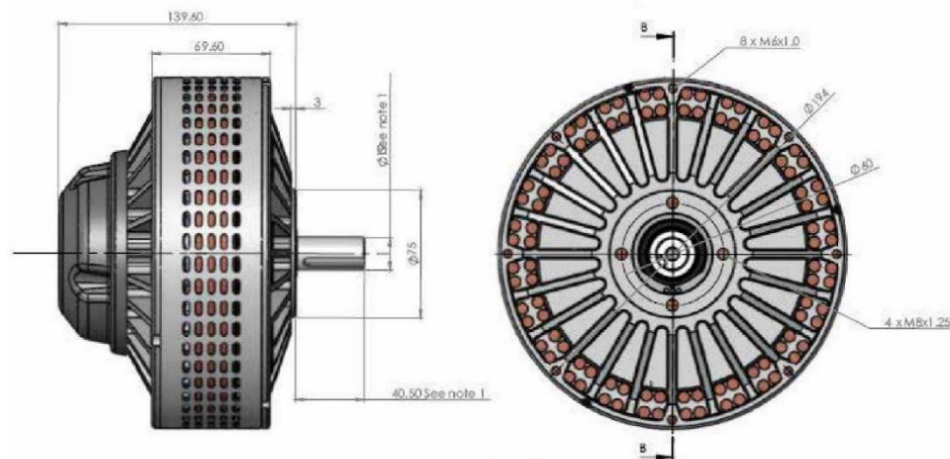
Tegnet:	Henrik F	Kontroller:	Henrik F	Titel:	Dolphin Sky - Drone modu	Scale:	1:8	
				Description:	Truster/propellskjerming eksplodert	Sheet:	4	
							REV:	1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Vedlegg 3

### Technical Data

Motor	No Load Current	Torque Constant	Speed Constant	Armature Resistance DC	Armature Inductance @ 15kHz	Armature Inertia	Peak Power	Peak Efficiency	Peak Current	Rated Power	Rated Speed	Rated Voltage	Rated Current	Rated Torque
	A	Nm/A	Rpm/V	mΩ	μH	Kgm <sup>2</sup>	kW	%	A	kW	Rpm	V	A	Nm
95	6	0.113	81	21.5	22	0.0238	18	92	400	10	3888	48	250	28
I26	10	0.0737	105	175	6	0.0234	7.59	83	400	5.06	2520	24	270	19.2
I27	5	0.15	54	22.5	23	0.0236	16.08	89	400	8.55	2592	48	215	31.5
D95B	6	0.14	76	20.5	11	0.0238	28.50	92	400	15.00	6000	72	210	30
D126	5	0.0748	100	138	5	0.0234	11.14	81	400	6.91	3600	36	250	18.3
D127	4	0.17	50	17.5	13	0.0236	25.38	92	400	12.56	3600	72	200	33.3
D135	3.5	0.185	45	16.75	16	0.0236	29.04	93	400	14.39	3780	84	200	36.4
D135 RAG	7.36	0.207	42	16.95	16	0.0238	34.32	93	400	16.84	4032	96	200	39.9
D135 RAGS	7.45	0.21	40	16.95	16	0.0238	36.00	93	400	18.00	4400	110	200	42.0



NOTES:  
1). Dimensions are for the standard drive shaft only - Refer to drive shaft drawing for optional shaft configurations



LCM Limited, Lynch Motor Company Ltd, Unit 27,  
Flightway Business Park, Dunkeswell, Honiton, Devon EX14 4RJ  
Tel: +44 (0) 1404 892940 Fax: +44 (0) 1404 891990  
email: sales@lmc Ltd.net [www.lmc Ltd.net](http://www.lmc Ltd.net)





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway