



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi  
Førsteamanuensis Jan Kåre Bøe

# **Dolphin Sky: Utredning og utvikling av sammenfoldbart propell- og thrustersystem**

Dolphin Sky: Study and development of foldable  
propeller- and thruster system

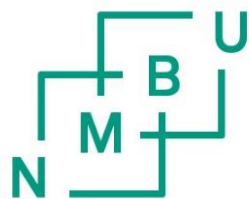
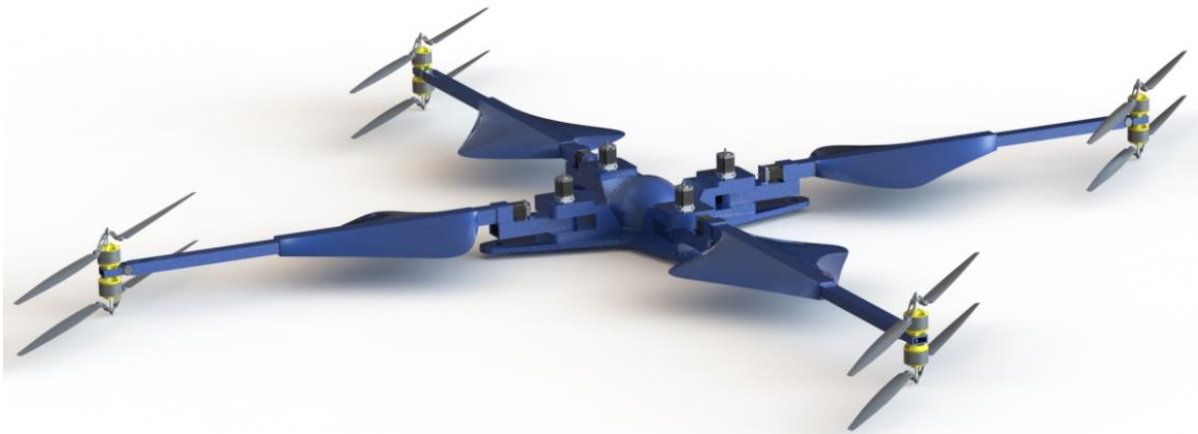
**Tarek El-Gewely**

Maskin, prosess- og produktutvikling  
Fakultet for realfag og teknologi

# Dolphin Sky: Utredning og utvikling av sammenfoldbart propell- og thrustersystem

Av

Tarek El-Gewely



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Mastergradsarbeid i Maskin, prosess- og produktutvikling

ved Fakultet for realfag og teknologi, NMBU

Våren 2018

## Forord

Dette er mitt mastergradsprosjekt i siste del av det fem-årige utdanningsløpet for graden Master i teknologi (sivilingeniør) innen studieretningen maskin, prosess og produktutvikling ved fakultet for realfag og teknologi på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Prosjektet er gjennomført våren 2018 og har et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven hovedmålsetning er bestemt i samarbeid med hovedveileder førsteamanuensis Jan Kåre Bøe og omhandler å utrede og utvikle et sammenfoldbart propell- og thrustersystem for flyvebil konseptet Dolphin sky.

Tidligere har jeg fullført en bachelorgrad innenfor maskin ved Høyskolen i Oslo og Akershus. Jeg valgte å supplere utdanningen min med en Master på NMBU ettersom at jeg lenge har vært interessert i produktutvikling og syntes at det virket spennende å kunne holde på med miljøvennlig teknologi. Temaet i masteroppgaven min passet meg dermed veldig godt da jeg fikk muligheten til å tenke kreativt for å komme på mulige løsninger for Dolphin Sky. Kjøretøyet er ment som et mer miljøvennlig alternativ for dagens biler, noe som tilsier at jeg får være med å bidra til en grønnere utvikling.

Jeg vil spesielt takke min hovedveileder, Førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for oppfølging samt støtte og veiledning gjennom hele prosjektet. Videre vil jeg takke konsulent Anders Christian Thømt for veiledning og innspill på rapporten. Jeg retter også en takk til Senioringeniør Egil Stemsrud, Overingeniør Gunnar Torp og Industrimekaniker Bjørn Tenge for deltagelse i eksperttesten og innspill angående valgte løsninger og produksjonsprosessen. Til slutt vil jeg gjerne takke medstudent Thomas Andre Møller Magnussen for et godt samarbeid og god kommunikasjon gjennom masterløpet og ikke minst mine venner, familie og kollektivet mitt for å ha holdt ut med meg gjennom denne krevende perioden.

Ås den 11.Mai 2018

---

Tarek R. El-Gewely

## Sammendrag

Denne masteroppgaven er en del av et pågående prosjekt ved REALTEK på NMBU. Prosjekt ble opprinnelig startet for å utvikle et trehjulskjøretøy som skulle være et alternativ på et mer miljøvennlig framkomstmiddel. Dette resulterte først i to kjøretøyskonsepter ved navn Dolphin Duo og Dolphin Family. I 2016 ble konseptet utviklet videre ved å implementere svevefunksjon. Dette konseptet fikk navnet Dolphin Sky og denne oppgaven vil omhandle en videreutvikling av dette kjøretøyet.

Hovedmålsettingen for oppgaven er å utrede og utvikle et sammenfoldbart propell- og thrustersystem for Dolphin sky slik at propellene og thrusterne ikke opptar unødig plass ved parkering eller ved kjøring på vei. For å kunne oppnå dette målet ble det undersøkt hvilke løsninger som allerede eksisterer. Egenskapene på løsningene ble deretter kartlagt og det ble vurdert om noen av disse kunne tilpasses Dolphin sky. Det ble bestemt noen krav som den valgte løsningen skulle innfri når det gjaldt nødvendig sikkerhet, ønsket vekt og styrkeegenskaper. Videre ble det valgt konsepter for arm-, motor- og propellkonfigurasjon samt vurdert hvordan propellene eventuelt skulle skjermes. Det ble deretter valgt en armplassering og løsninger for sammenfolding og komprimering og det ble vurdert og valgt ut en løsning for supplering av oppdrift. Det ble utført en styrkeberegning på de mest utsatte delene etter et valg av egnet materiale. Beregningen ble deretter kontrollert ved hjelp av en FEM-analyse.

Prosjektets løpt er lagt opp i henhold til metoden IPD, noe som er med på å effektivisere utviklingsprosessen. Osborns SCAMPER metode er blitt benyttet til å utvikle løsningsalternativer for produktet og Pughs metode er brukt til å velge ut hvilken løsning som er mest egnet for formålet. Dimensjoneringen av konstruksjonens komponenter har blitt utført ved hjelp av anerkjent beregningsteknikk og Luftfartstilsynets forskrifter er brukt som grunnlag for å bestemme forutsetningene for beregningene. Ansys workbench er benyttet til å utføre FEM-analysen og CAD-modellen er fremstilt ved hjelp av Solidworks.

Utviklingsløpet startet med å planlegge prosjektet og spesifisere prosjektet. Målene for oppgaven ble etablert sammen med problemstillingene og de teknologiske flaskehalsene. Det ble etablert en prosjektplan som inneholdt alle de ulike aktivitetene i prosjektet. Det ble avsatt en periode som hver aktivitet skulle gjennomføres på og når en overordnet aktivitet var gjennomført var dette markert med en milepæl. Etter at prosjektplanen var etablert ble begrensningene for oppgaven bestemt. Videre ble metodene som skulle benyttes i oppgaven utredet og deretter relevant teori og teknologi. Produktets ønskede krav og egenskaper ble så bestemt. I neste trinn ble det generert mulige løsninger. Disse løsningene sammen med noen av de som ble lagt frem i teknologiutredningen ble med videre til utvelgelsesprosessen der løsningene som ble ansett som mest egnet ut fra de ønskede egenskapene ble valgt. I neste steg av prosessen ble det etablert hvilke komponenter som ville være mest kritiske med hensyn på lastpåføring. Disse komponentene ble dimensjonert og spenningen ble kontrollert ved hjelp av håndberegninger. På bakgrunn av arbeidet gjort frem til da ble en CAD-modell fremstilt ved hjelp av Solidworks. De valgte løsningene og de tiltenkte produksjonsmetodene for konstruksjonen ble deretter kontrollert ved hjelp av en eksperttest. Det ble lagt en forenklet modell av de mest kritiske komponentene på konstruksjonen og det ble utført en FEM-analyse av denne som ble kontrollert opp mot tidligere håndberegninger. Til slutt ble de endelige produksjonsmetodene utredet og det ble utført en kostnadsanalyse.

Utover semesteret har det blitt jobbet jevnt hele veien, men det ble brukt litt for mye tid på enkelte deler av rapporten som kunne vært mer kortfattet. Arbeidsplanen ble dermed ikke fulgt hele veien og som en konsekvens av det måtte det gjøres noen forenklinger ved enkelte deler av prosjektet da tiden ikke strakk til. I tillegg kunne det blitt gjort flere begrensinger i med tanke på valg og utvikling av konsepter. Det kunne også blitt avsatt mere tid til kvalitetssikring av produktet i form av faglitteratur og en mer omfattende eksperthjelp.

Resultatet av prosjektet ble en konstruksjon med fire propellarmer som har mulighet for teleskopering og rotering for sammenfolding. Armene er symmetrisk plassert og befinner seg på toppen av kabinen til kjøretøyet. Hver propellarm er utstyrt med en vinge for ekstra løftekraft og hver arm har to mot-roterende propeller med hver sin motor. Det er også tilrettelagt for at propellen kan vinkles for økt fremdrift. Propellene har to blader og kan også sammenfoldes. Det er tilrettelagt for at konstruksjonen kan utstyres med en ballistisk fallskjerm. Og kjøretøyet er ment til å lande og lette fra et designert område. Konstruksjonen består av aluminium 7075 T651 og 7075 T6. Den veier 106,5 kg ikke medberegnet innkjøpte deler. Konstruksjonens ytterdimensjoner utfoldet vil være: 4310,7x4310,7x313 mm, målt fra propelltuppene. I sammenfoldet stilling vil ytterdimensjonene være: 2105,3 mm bred, 1975,9 mm lang og 313 mm høy.

Ved en videre utvikling bør det gjøres en ny evaluering om det vil være hensiktsmessig å bruke vinger og det kan vurderes om det finnes bedre måter å utføre sammenfoldingen på. Det bør vurderes om konstruksjonen bør ha et ytre skall for beskyttelse. Konstruksjonen bør optimaliseres for å redusere vekten. Det bør vurderes om propellene kan skjermes slik at kjøretøyet kan brukes i urbane miljøer, men skjermingen kan ikke gå på bekostning av flygeevnen. Det bør styrkeberegnes og utføres lab tester på flere kritiske deler, som: rotasjonsledene, profilarmene, festemekanismen for teleskopfunksjonen, propellene og underplaten. Det bør utføres en stabilitets og tyngdepunktsberegning og en beregning av egenfrekvensen. Festeordningen mellom propellkonstruksjonen og bilrammen må utredes og beregnes. Det bør utføres en analyse av aerodynamikken til kjøretøyet. Nye sikkerhetstiltak bør utredes. Forbindelser som limes bør kontrolleres med en beregning. Det bør vurderes om vibrasjonene forårsaket av propellene bør dempes og om utsatte komponenter bør beregnes for levetid. Elektronikken og styresystemet til kjøretøyet må også utvikles.

## Abstract

This master thesis is part of an ongoing project at the faculty of science and technology at the Norwegian university of life sciences. Originally the project was started to develop a three-wheeled car that was supposed to be an alternative for more environmentally friendly vehicle. This initially resulted in two vehicle concepts, Dolphin Duo and Dolphin Family. In 2016 the concept was developed further by implementing a hovering function. The new concept was given the name Dolphin Sky and this thesis will involve a further development of this vehicle.

The primary objective of the project is to assess and develop a foldable propeller and thruster system for Dolphin Sky, so the propellers and thrusters don't occupy unnecessary space when parking or when driving on the road. To achieve this goal there was done an investigation of existing solutions. The properties of the solutions were then mapped out and evaluated if they could be adapted to Dolphin sky. Requirements involving safety, desired weight, and strength properties were established. Furthermore, arm, engine and propeller configuration concepts were chosen, as well as an evaluation of how the propellers would be shielded. Possible solutions for folding and compressing the system were assessed and in addition to a solution for supplementing the lift force. And a calculation on the most vulnerable components was conducted. A strength calculation was performed on the most vulnerable parts after choosing a suited material. The calculation was then checked with the help of a FEM-analysis.

The project is laid out according to the IPD, which helps streamline the development process. Osborn's SCAMPER method has been used to develop new solutions for the product and Pugh's method has been used to choose which solution is most suited for the required purpose. The dimensioning of the components of the construction have been carried out using recognized calculation techniques and The Norwegian Civil Aviation Authority's regulations have been used as a basis for determining the preconditions of the calculations. Ansys Workbench has been used to perform the FEM analysis and the CAD model has been developed using Solidworks.

The development process started by planning and specifying the project. The objectives of the assignment were established together with the thesis questions and the technological bottlenecks. A project plan was established that contained all the various activities in the project. A period was set for each activity to be carried out and when a major activity was completed, it was marked with a milestone. After the project plan was established, the limitations for the thesis were determined. Furthermore, the methods used in the task were explained in addition to relevant theory and technology. The desired requirements and characteristics of the product were then determined. In the next step, possible solutions were generated. These solutions together with some of the ones presented in the technology investigation were brought to the selection process where the solutions that were considered most suitable based on the desired properties were chosen. In the next step of the process, the most critical components with regards to the load were established. These components were dimensioned, and the stress was controlled by hand calculations. Based on the work done thus far, a CAD model was produced using Solidworks. The chosen solutions and the intended production methods for the construction were then checked using an expert test. A simplified model of the most critical components of the construction was produced and a FEM analysis was carried out. The results were then compared against previous hand calculations. Finally, the final production methods were explained, and a cost analysis was carried out

Work has been performed steadily throughout the semester, however there was spent too much time on certain parts of the report, which could have been more concise. The work schedule was thus not followed all the way and consequently, some simplifications had to be made on some parts of the project. In addition, more constraints could have been made in consideration to the selection and development of concepts. There could also have been allocated more time for quality assurance of the product in the form of subject literature and a more extensive expert help.

The result of the project was a construction with four propeller-arms that have the possibility of telescoping and rotating for folding. The arms are placed symmetrically and are located on the top of the vehicle's cab. Each propeller-arm is equipped with a wing for extra lift and each arm has two counter-rotating propellers with a motor each. The propellers can also be angled for increased forward propulsion. The propellers have two blades that can also be folded together. The construction facilitates the possibility that a ballistic parachute can be equipped. And the vehicle is meant to land and take off from a designated area. The structure consists of aluminium 7075 T651 and 7075 T6. It weighs 106.5 kg not including purchased parts. The exterior dimensions of the structure when unfolded are: 4310,7x4310,7x313 mm, measured from the tips of the propellers. In the folded position, the outer dimensions will be: 2105.3 mm wide, 1975.9 mm long and 313 mm high.

In a further development, a new evaluation should be made regarding whether it would be appropriate to use wings and if there are better ways to perform the folding. It should be considered whether the structure should have an external shell for protection. The design should be optimized further to reduce weight. It should be considered whether the propellers can be shielded so that the vehicle can be used in urban environments, however the shielding cannot be at the expense of the flying ability. Strength calculations and experiments should be conducted on several critical parts, such as: the rotary joints, the propeller-arms, the telescopic fastening mechanism, the propellers and the subplate. A stability and a center of gravity calculation should be conducted in addition to a calculation of the natural frequency of the system. The attachment between the propeller assembly and the car frame must be investigated and calculated. An analysis of the aerodynamics of the vehicle should be conducted. New security measures should be investigated. components that are glued should be checked with a calculation. It should be considered whether the vibration caused by the propellers should be dampened and if vulnerable components should be calculated for fatigue. The vehicle's electronics and control system must also be developed.

# Innholdsfortegnelse

Side:

Forord.....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	IV
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Tidligere arbeid.....	3
1.2.1 Dolphin duo .....	3
1.2.2 Dolphin Family.....	4
1.2.3 Forbrenningsenheter til Dolphinkonseptet.....	5
1.2.4 Dolphin sky – Fra bakken til luft .....	6
1.3 Konseptbeskrivelse.....	8
1.4 Konkurrerende løsninger, markedsbehov og potensiale .....	9
1.4.1 Konkurrerende løsninger .....	10
1.4.2 Markedsbehov og potensiale .....	15
1.5 Oppdragsbeskrivelse .....	15
1.6 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar .....	15
1.6.1 Problemstillinger .....	15
1.6.2 Teknologiske flaskehalsar.....	16
2 Prosjektplan.....	17
2.1 Prosjekt målsettinger .....	17
2.1.1 Hovedmål .....	17
2.1.2 Delmål.....	17
2.2 Tids og arbeidsplan med milepæler .....	18
2.3 Begrensninger for arbeidet .....	18
3 Metodebeskrivelse .....	20
3.1 Symboler og terminologi.....	20
3.1.1 Forkortelser og viktige begreper .....	20
3.1.2 Symboler og enheter .....	21
3.1.3 Beregningsformler.....	23
3.2 Globalt koordinatsystem .....	24
3.3 Metodebruk og løsningsverktøy.....	24
3.3.1 IPD (Integrated Product Development).....	24



	Side:
3.3.2	Pughs metodikk ..... 25
3.3.3	Osborns SCAMPER..... 26
3.3.4	FEM-analyse ..... 26
3.3.5	Programvare ..... 27
3.4	Kvalitetssikring..... 27
3.5	Litteratursøk ..... 28
3.6	Prosesstrinn..... 28
4	Teori og teknologiutredning..... 29
4.1	Fysiske begrensninger ..... 29
4.2	Statiske krefter ..... 30
4.2.1	Aksialkraft..... 30
4.2.2	Skjærkraft ..... 31
4.2.3	Moment..... 32
4.2.4	Total spenning, torsjonspenning og von mises ..... 33
4.2.5	Nedbøying ..... 34
4.3	Dynamiske krefter ..... 35
4.3.1	G-krefter grunnet manøvrering..... 35
4.3.2	Utmatting ..... 36
4.3.3	Egenfrekvens ..... 37
4.4	Luftfartstilsynets regelverk for design og konstruksjon av fly ..... 37
4.5	Plassering av propeller og oppheng ..... 38
4.6	Tekniske prinsipper ..... 38
4.6.1	Sammenfoldingsmetoder for propellene ..... 39
4.6.2	Sammenfoldningsmetoder for Propelloppheng..... 43
4.7	Oppsummering og tidlig vurdering av tekniske prinsipper ..... 51
5	Produktspesifisering..... 52
5.1	Produktmålsetting..... 52
5.2	Rangering av viktige produkttegenskaper ..... 52
5.3	Metriske grensespesifikasjoner..... 53
5.4	Metriske grovspeifisering for produkttypen..... 58
6	Konseptgenerering..... 60
6.1	Funksjonsanalyse for produkttypen..... 60
6.2	Funksjonsalternativer med skisser ..... 61

---

	Side:
6.2.1	Arm konfigurasjon ..... 61
6.2.2	Motor konfigurasjon..... 62
6.2.3	Supplering av oppdrift..... 63
6.2.4	Propellskjerming..... 64
6.2.5	Antall propellblader..... 65
6.2.6	Sammenfolding av propeller ..... 66
6.2.7	Arm plassering..... 67
6.2.8	Sammenfolding av Armer..... 67
6.3	Form- og estetikkalternativer..... 69
7	Egenscreening og konseptvalg ..... 70
7.1	Utvikling av seleksjonsmatrise ..... 70
7.2	Egen konseptscreening..... 70
7.2.1	Arm konfigurasjon ..... 70
7.2.2	Motor konfigurasjon..... 71
7.2.3	Supplering av oppdrift..... 71
7.2.4	Propellskjerming..... 72
7.2.5	Antall propellblader..... 73
7.2.6	Sammenfolding av propeller ..... 73
7.2.7	Arm plassering..... 74
7.2.8	Sammenfolding av armer ..... 74
7.3	Foretrukne løsningsalternativer..... 75
8	Grunnlagsberegninger..... 77
8.1	Brukspåkjenninger, materialer og tverrsnittvalg..... 78
8.1.1	Vertikale krefter og momenter ..... 78
8.1.2	Horisontale krefter og momenter ..... 79
8.1.3	Materialvalg..... 80
8.1.4	Dimensjonering av profil og kontroll av spenning..... 83
8.1.5	Dimensjonering av leddforbindelse ved horisontal last..... 87
8.1.6	Tverrsnittvalg for øvre leddbrakett..... 91
9	Ekstern konsepttesting..... 92
9.1	Målsettinger for testingen..... 92
9.2	Ekspertgruppe ..... 92
9.3	Innhold og form på testskjemaer, kommunikasjonsform ..... 92

---

---

	Side:
9.4	Resultater og resultatoppfølging ..... 93
10	Produktarkitektur og konseptdesign ..... 95
10.1	Sammenstilling ..... 95
10.2	Design av hovedelementer ..... 96
10.3	Design av komponenter ..... 98
10.4	Modulisering og standardkomponenter ..... 99
11	Robusthet, vedlikehold og resirkulering ..... 100
11.1	Strukturanalyse med FEM/FEA ..... 100
11.2	Overflatebehandling og vedlikehold ..... 103
11.3	Miljøkrav og resirkulering ..... 104
12	Framstilling og produksjonskostnader ..... 108
12.1	Produksjonsmetoder ..... 108
12.2	Kostnadsanalyse for prototype ..... 110
12.3	Kostnadsanalyse for serieproduksjon ..... 112
12.4	Konkurrentanalyse ..... 113
13	Markedspresentasjon ..... 114
13.1	Renderte framstillinger ..... 114
13.2	Tekniske beskrivelser ..... 116
13.3	Logo og emballasje ..... 116
14	Prosessevaluering og diskusjon ..... 118
14.1	Konseptutviklingsarbeidet, forbedringspotensialer ..... 118
14.2	Designrevisjon og produksjon ..... 120
15	Konklusjon ..... 121
15.1	Resultater og anbefalinger ..... 121
15.1.1	Resultater ..... 121
15.1.2	Anbefalinger ..... 122
15.2	Videre arbeid ..... 122
16	Referanser ..... 125
16.1	Skriftlige kilder ..... 125
16.2	Nettkilder ..... 126
17	Vedlegg ..... 130

---

## 1 Innledning

Følgende kapitel vil inneholde litt om bakgrunnen til prosjektet med medfølgende beskrivelse av konseptet. Videre vil det bli presentert hvilke løsninger som kan være mulige konkurrenter, både konseptuelle og kommersielle. Det vil også bli kartlagt hvilke egenskaper disse innehar og eventuelt om noen av løsningene deres kan implementeres i denne oppgaven. Markedsbehovet for konseptet vil bli gjennomgått og det vil bli etablert en oppdragsbeskrivelse som skal legge til grunn intensjonen med prosjektet. Til slutt vil problemstillingene og mulige teknologiske flaskehalsen legges frem.

### 1.1 Bakgrunn

Man kan argumentere for at menneskeheten har kommet dit de er i dag mye på grunn av teknologiske fremskritt. Da er det naturlig å tro at dersom mennesker skal fortsette utviklingen må teknologien gjøre det samme. Historisk sett har ny teknologi blitt utviklet for å gjøre menneskers oppgaver lettere. Dette ble gjort mye uten tanke for eventuelt etiske spørsmål eller miljøhensyn. I nyere tid har mennesker begynt å forstå at det kan være konsekvenser for en slik hensynsløs teknologisk utvikling. Mye av dagens nyvinninger går dermed ut på å redusere skadeomfanget av denne utviklingen eventuelt å finne alternative måter å gjøre ting på som er mer miljøvennlig. Dette nye fokuset har fått tilnavnet «det grønne skiftet».

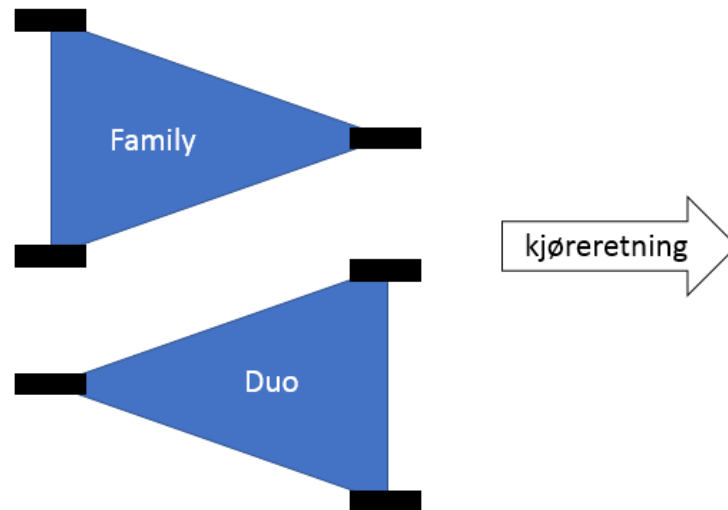
NMBU har som mål å aktivt bidra til det grønne skiftet. I 2015 utalte rektor ved NMBU, Mari Sundli Tveit i bloggen sin at universitet ønsker å spille en sentral rolle ved dette skiftet ved å bidra med kunnskap, forskning, innovasjon og verdiskapning innen et bredt omfang av teknologiske fagfelt som er unikt i norsk sammenheng. Uttalelsen var i forbindelse med Drømmeløftmøtet ved NMBU som ble avholdt 30. april 2015 i Ås der representanter fra universitet og høyskoler over hele landet ble samlet for å diskutere om fremtiden til norsk innovasjon. [1]

NMBU har lenge hatt et fokus på miljø og har blant annet innført en rekke tiltak for å minimere energiutslipp på campus. Som en konsekvens ble NMBU kåret til Oslo og Akershus mest miljøvennlige universitet eller høyskole i en rangering av studentavisen Universitas i 2016. [2]

På bakgrunnen av NMBUs fokus på miljø og grønn energi har Dolphinkonseptet oppstått. Dolphinkonseptet har sin opprinnelse fra 2007-2008 som et prosjekt i faget TIP300 ved IMT/REALTEK på NMBU. I senere år har ulike studenter utviklet Dolphinkonseptet videre i flere retninger i forbindelse med deres masteroppgave.

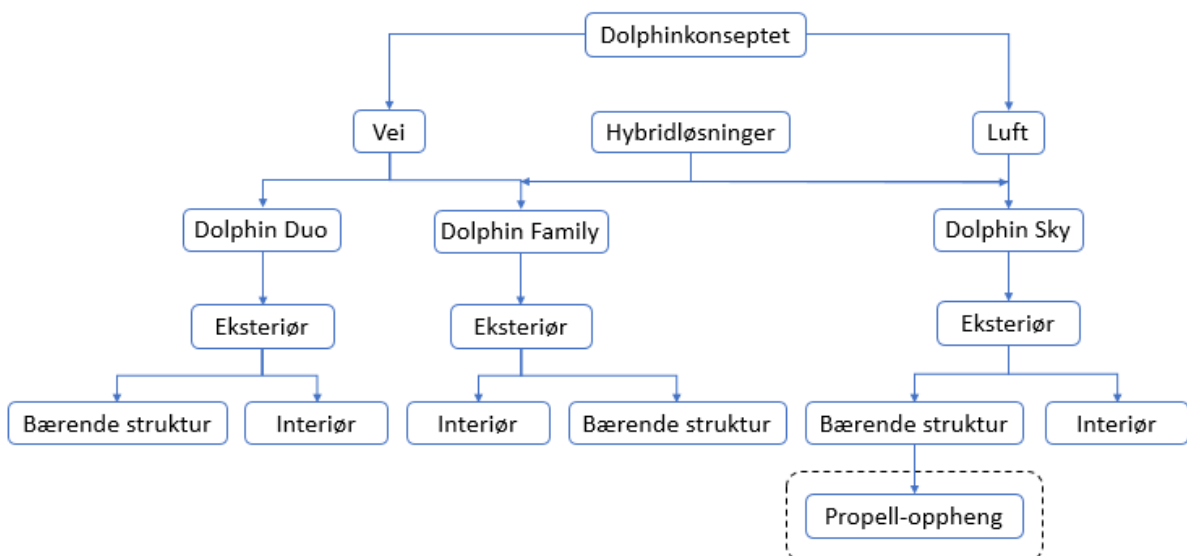
Grunntanken bak Dolphinkonseptet er at energiforbruket samt CO<sub>2</sub> utslippet til dagens kjøretøy er for høyt grunnet stor vekt og størrelse noe som vil gi høy rullemotstand, stigningsmotstand, akselerasjonsmotstand og luftmotstand. Ved å utvikle et aerodynamisk kjøretøy som opptar halve volumet av en standard bil samt at den er betraktelig lettere vil man kunne forbedre utslippsverdiene betydelig. Ved å benytte seg av lette, miljøvennlige materialer og i tillegg drifte kjøretøyene med en hybridmotor vil man kunne redusere utslippene ytterligere. Effektbesparelsen forklares i større detalj i delkapittel 4.1.

Dolphinkonseptet besto opprinnelig av to ulike kjøretøy, Dolphin Family og Dolphin Duo. Der Dolphin Family hadde to hjul bak og ett hjul framme og Dolphin Duo hadde to hjul framme og ett hjul bak. Ideen bak utformingen er at et standard kjøretøy skulle bli delt diagonalt og hver av delene ville utgjøre et nytt kjøretøy med halve vekten og halve volumet.



Figur 1: Skisse som illustrerer grunnideen av utformingen til Dolphin Family og Dolphin Duo

Siden 2016 har Dolphinkonseptet blitt utviklet videre ved å implementere en svevefunksjon til kjøretøyet. Dette konseptet har fått navnet Dolphin Sky. Kjøretøyet har en turbin hybrid motor og skal kunne frakte både mennesker og varer. Konseptet er en videreføring av Dolphin ideen og skal benytte seg av erfaringer samt løsninger fra tidligere relevante prosjekter. Figur 2 nedenfor viser en oversikt over Dolphinkonseptet og utviklingen innenfor de ulike utgavene av kjøretøyet.



Figur 2: Oversikt over utviklingen av de ulike utgavene av Dolphinkjøretøyene. Ruten innrammet med stiplet linje viser fokusområdet for denne oppgaven.

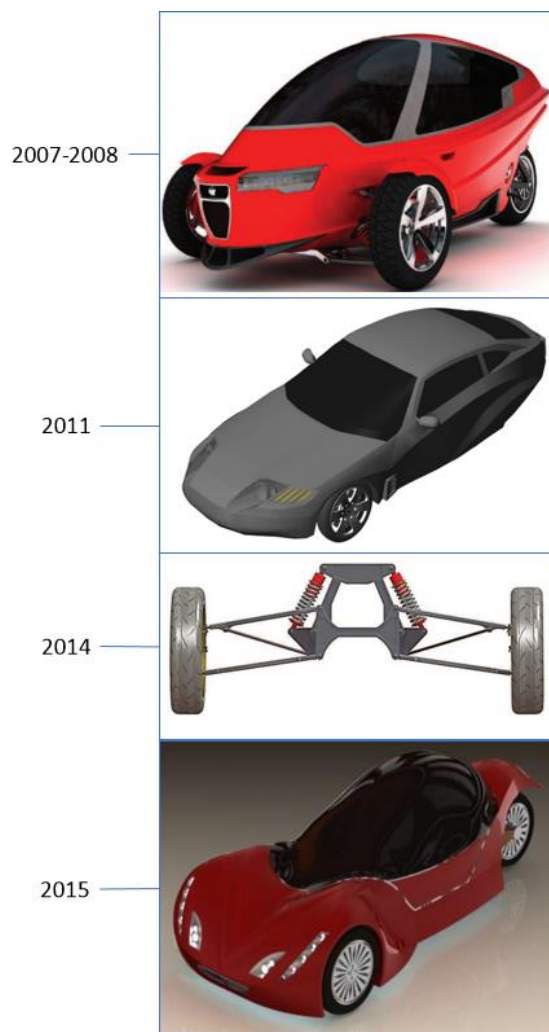
## 1.2 Tidligere arbeid

Som nevnt tidligere har det blitt utarbeidet flere masteroppgaver knyttet til Dolphinkonseptet. De mest relevante av disse vil bli presentert nedenfor slik at man får en bedre forståelse av hvor langt de ulike konseptene har kommet i utviklingen.

Oppgavene tilknyttet Dolphinkonseptet fordeles i fire ulike delkapittel der hver tilhører en egen forgreining av konseptet. Oppgavene presenteres med et bilde som viser oversikten over utviklingen samt en forklarende tekst til hvert prosjekt. Ettersom at denne oppgaven vil omhandle en videre utvikling av Dolphin Sky vil oppgavene tilknyttet den samt resultatene deres bli spesielt fremhevet.

I tillegg til oppgavene nevnt nedenfor er det blitt gjennomført noen prosjekter av Mizgin Aziz Rashad og Magnus Ottesen knyttet til interiørdesign for de forskjellige utgavene av kjøretøyene. Disse utelatt fra denne rapporten da de er mindre relevant denne gradsoppgaven.

### 1.2.1 Dolphin duo



Figur 3: Oversiktsbilde av oppgavene knyttet til Dolphin duo. Fra toppen: Eksteriørdesign av Lundheim og Brevik, Eksteriørdesign av Roca, Hjuloppheng av Hjertaas Hanssen, Eksteriørdesign av Skaar-Olsen. [3] [4] [5] [6]

Den første utgaven av Dolphinkonseptet var en Dolphin Duo. Denne ble utviklet som en semesteroppgave i faget: TIP300 Konsept og produktrealisering skoleåret 2007/2008 av Lars Timberlid Lundheim og Anders Brevik. Formålet av oppgaven var å utvikle et eksteriørdesign til et trehjulskjøretøy med to hjul framme og ett bak. Bilen skulle også være av lav vekt samt at den skulle være aerodynamisk og skulle ha mulighet til å frakte to personer inklusivt føreren. [3]

I 2011 ble første masteroppgave tilknyttet dolphin duo gjennomført av Kristoffer Roca. Oppgaven fikk navnet Dolphin Family, men betraktes som en Dolphin Duo etter dagens klassifisering. Prosjektet tar også for seg eksteriørdesignet på kjøretøy, men med fokus på ergonomi, fysikk, design, funksjon, materialer og estetikk samt luftmotstand. [4]

Våren 2014 ble det utviklet et hjuloppheng til Dolphin Duo som bygget videre på arbeidet gjort av Rashid, Lundheim og Brevik. Prosjektet ble gjennomført av Jarle Hjertaas Hanssen. I oppgaven ble det utredet, designet, beregnet og konstruert et oppheng tilsiktet forhjulene. Opphenget muliggjorde rotasjon, støtdemping, bremsing m.m. av kjøretøyet/hjulene. [5]

Høsten 2015 ble det utviklet en ny eksteriørløsning for Dolphin Duo ved navn Dolphin Expression 2.0. Oppgaven bygget videre på Hjertaas Hanssen og Rashid sine prosjekter og ble gjennomført av Tone Skaar-Olsen. Målet med oppgaven var å utvikle et eksteriørdesign der det ble vektlagt ergonomi, adkomst, sikt, komfort, sikkerhet, appellerende ytre og aerodynamikk. [6]

### 1.2.2 Dolphin Family



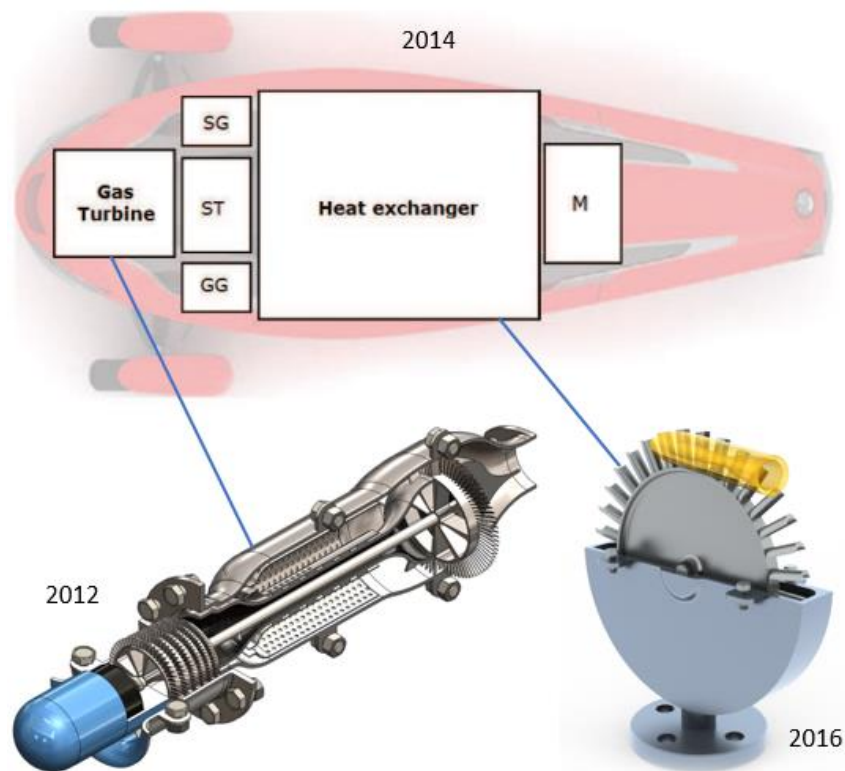
Figur 4: Oversiktsbilde av oppgavene knyttet til Dolphin Family. Fra toppen: Eksteriørdesign av Østby, Rammestruktur med bakhjulsoppheng av Aasheim, Eksteriørdesign av Leandersson. [7] [8] [9]

I 2010 ble den første utgaven av Dolphin Family lagt frem. Oppgaven dreide seg om å utrede et eksteriørdesign på det nye Dolphinkonseptet. Denne versjonen av kjøretøyet hadde motsatt hjul konfigurasjon av Dolphin Duo det vil si at den hadde ett hjul framme og to bak. Designet ble laget av David Lindebø Østby og løsningen tok hensyn til lav luftmotstand. [7]

Neste steg av utviklingen til Dolphin Family ble gjennomført av Jan-Fredrik Aasheim i 2011. oppgaven gikk ut på å utrede, designe og konstruere et forslag til kjøretøyet's bærende rammestruktur og bakhjulsoppheng. [8]

I 2012 utviklet Christoffer Faye Leandersson et nytt forslag til eksteriørdesignet på kjøretøyet. Løsningen var basert på det tidligere arbeidet gjort av Aasheim og Ottesen. Leandersson utviklet en formløsning på chassiset med fokus på å lage et fremtidsrettet og moderne design samt at det ble gjennomført en strømningsanalyse. [9]

### 1.2.3 Forbrenningsenheter til Dolphinkonseptet



Figur 5: Oversikt over oppgavene knyttet forbrenningsenheter for dolphinkonseptet. Nederst til venstre: Gassturbinmotor av Thue og Sundquist, Øverst: Varmegjenvinningsystem av Finnøy, Nederst til høyre: Dampsturbinløsning av Henriksen. [10] [11] [12]

I 2012 ble den første løsningen for drift av Dolphinkjøretøyet lagt frem av Alexander Moen Thue & Petter Sundquist. Oppgaven gikk ut på å utvikle, dimensjonere og legge konstruksjonsgrunnlag for en liten multifuel gassturbin med varmegjenvinning som kunne yte 30-40 kW, ha en effektivitet på over 25%, er kortere enn 500mm, ha en diameter på under 450mm, veie under 20kg og kan lett demonteres for vedlikehold. [10]

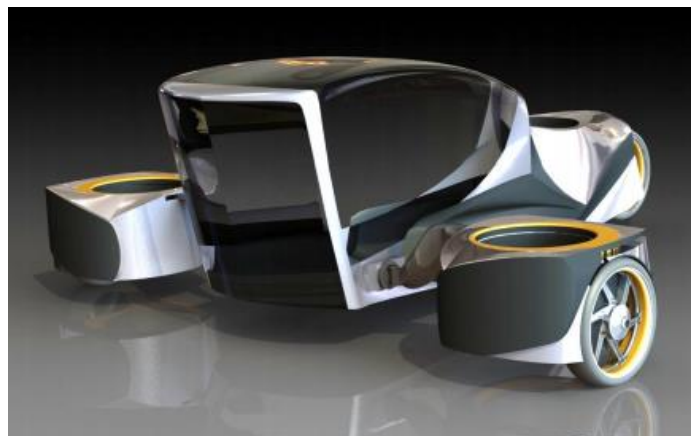


I 2014 ble neste oppgave knyttet til energiforbruk i motoren gjennomført av Sigve Eikrem Finnøy. Oppgaven bygget videre på Moen Thue & Sundquist sitt arbeid. Målet med oppgaven var å øke den termiske virkningsgraden av en gassturbin ved å gjenvinne varmen i eksosen. Finnøy undersøkte ulike metoder for varmegjenvinning og valgte deretter den mest egnende metoden og beregnet den og deretter ble det utviklet et systemforslag. Den endelige løsningen var en løsning som benyttet ekstern gjenvinning og besto av en gasskraftsyklus (Brayton) med verdier på bakgrunn av arbeidet til Moen Thue og Sundquist. Videre besto systemet av en dampkraftsyklus (Rankine) der trykk og temperaturverdier ble hentet fra relevant litteratur. Løsningen økte virkningsgraden med 19%. I figur 5 er det vist et forslag til hvordan de ulike komponentene kan plasseres med utgangspunkt i designløsningen til Lundheim og Brevik fra 2007. [11]

I 2016 ble det utviklet en ny dampturbinløsning for dolphinkonseptet av Vidar Giske Henriksen. Oppgaven bygget videre på tidligere arbeid utført av Finnøy, Moen Thue og Sundquist. Vedkommende utviklet en dampturbin som kunne gjenvinne varmeenergien fra en mirkoturbin på denne måten ble den totale virkningsgraden forbedret. Målsetningen ved oppgaven var å utvikle, dimensjonere og konstruere en dampturbinløsning som kunne yte 7,5 til 10 kW elektrisk effekt og er tilpasset driftsforholdene i et varmegjenvinningssystem. Resultatet ble en ettrinns dampturbinløsning basert på impulsprinsippet. Den yter 9,8 kW elektrisk effekt og har ytre dimensjoner på 184 x 209 x 92 mm. [12]

#### 1.2.4 Dolphin sky – Fra bakken til luft

I 2016 ble Dolphin konseptet utvidet ved å implementere en svevefunksjon på kjøretøyet. Et eksteriørdesign samt et konsept for sveveløsning ble utviklet av Kristoffer Ødegaard Rummelhoff dette året. Rummelhoff brukte tidligere arbeid knyttet til dolphinløsningene som grunnlag og utviklet et design med fokus på aerodynamikk, funksjonalitet, bruksegenskaper samtidig som at den hadde et innovativt og fremtidsrettet utseende. Løsningen fikk en Dolphin Family hjulkonfigurasjon og vil danne grunnlag fremtidig arbeid, men det vil måtte gjøres endringer med tanke på bærende rammekonstruksjon samt antall thrustere, plasseringen av dem og opphenget (pga at flyvningen vil bli ustabil og ikke tilstrekkelig trygg med nåværende thrusterløsning. Rammen som holder hjulene kan være noe underdimensjonert. en ny vurdering av hjuloppheng skal dermed også utføres). Et bilde av designløsningen er vist i figuren nedenfor. [13]



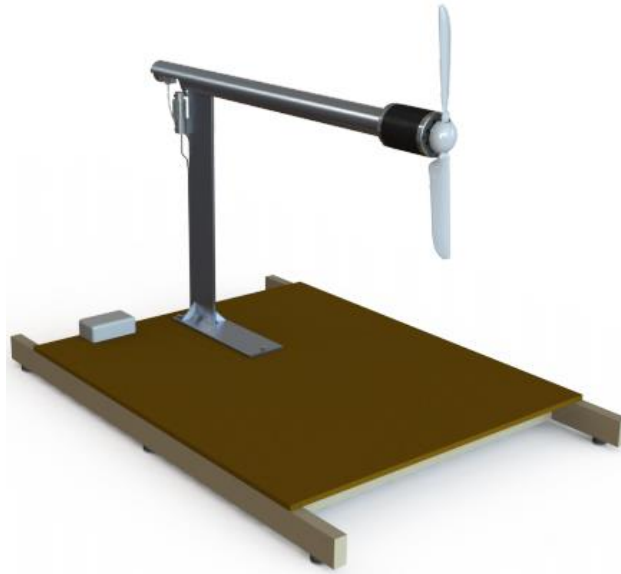
Figur 6: Dolphin Sky, Del A: Utvikling av integrert design- og helhetskonsept for sveveløsning av Kristoffer Ødegaard Rummelhoff fra 2016. [13]

I 2016 ble det i tillegg gjennomført en oppgave knyttet til Dolphin Sky av Karen Elise Røsandnes. Målene med denne oppgaven var å vurdere spesielle sikkerhets- og ergonomiske aspekter knyttet til sveveversjonen av dolphin, vurdere modellelementintegrasjon knyttet til cockpit, markeds-konkurransforhold for foretrukne konseptvarianter samt å utrede og foreslå løsninger og mulige realiseringsstrategier. Resultatet av oppgaven var at ergonomien vil være tilstrekkelig dersom cockpitten har en lengde på 2712 mm, bredde på 1006 mm og en høyde på 1265 mm for to voksne menn som sitter bak hverandre. Det ble konkludert at den beste sikkerhetsløsningen vil være en airbagløsning for hele konstruksjonen. Det ble estimert et effektbehov på 134,2 kW dermed vil man måtte ha førerkort klasse A for å kjøre på vei. Ved flyvning vil man sannsynligvis måtte ha privat flysertifikat. Ved produksjon av en enhet vil prisen på kjøretøyet ligge rundt 10,3 millioner kroner, dersom man produserer 1000 enheter vil den havne på ca 6,3 millioner kroner. Norsk lov tilsier at et luftfartøy ikke kan ferdes lavere enn 300 meter over tettbebyggelse og folkesamlinger. Det vil dermed kreves en lovendring for at Dolphin sky skal kunne brukes i den tiltenkte høyden. (Figur 7 er kun illustrativt med tanke på Røsandnes oppgave da Modellen er tegnet av Rummelhoff.) [14]



Figur 7: (CAD-modell av Rummelhoff) Dolphin Sky, Del B: Utredning av systemkonsept, sikkerhet, produksjon, markedsnisjer og økonomi av Karen Elise Røsandnes fra 2016. [14]

I 2017 gjennomførte Anders Christian Thømt en oppgave tilknyttet thrusterne til Dolphin Sky. I denne oppgaven ble det utredet kravspesifikasjoner for en thrusterbasert løsning for en persondrone. I tillegg har det blitt utviklet en testrigg for evaluering av skyvekraften til en thruster. Resultatene av oppgaven var: Gitt en bruttovekt på 450 kg vil en thruster med to koaksiale kontraroterende propeller kreve en effekt på 50 kW og et totalt sveipet areal på  $2,26 \text{ m}^2$ . Minste effekt som kreves for sveving er 18 kW for hver propell. Testriggen for thrusterne er 1500mm lang, 1000mm bred og 890 mm høy. Total vekt er 29kg. Riggeren er tilpasset en angitt motor på 1 kw og den konstruerte propellene på 600mm. Et bilde av testriggen er vist i figuren på øverst å neste side. [15]



*Figur 8: Investigation, Dimension and Development of Test Setup for Propulsion Function of a Personal Transport Drone av Anders Chrstian Thømt fra 2017. [15]*

### 1.3 Konseptbeskrivelse

Denne gradsoppgaven skal omhandle en videre utvikling av konseptet Dolphin Sky. Kjøretøyet Dolphin Sky skal kunne benyttes på vei og i luft.

Ved flyvning vil det også være gunstig at kjøretøyets propeller er mest mulig spredd. Dette vil sørge for god stabilitet i luften. Ved kjøring på vei og ved parkering vil det være ønskelig at propellene opptar så liten plass som mulig slik at de ikke kommer i veien for andre biler eventuelt hindrer kjøretøyet i å få plass i en garasje. Det vil derfor være nødvendig å utvikle et propelloppheng som lar seg sammenfolde eventuelt komprimere.

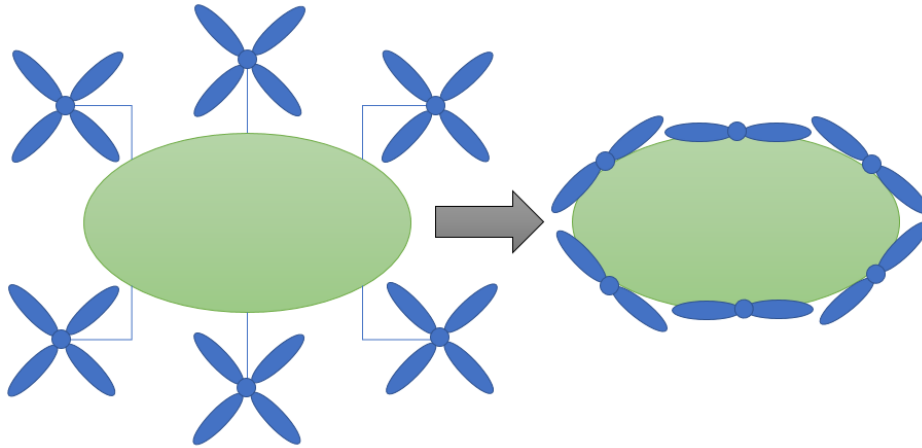
Effektbehovet til kjøretøyet ved flyving vil kunne utledes fra luftmotstanden som vil oppstå. Dette vil bli forklart i mer detalj i kapittel 4.

Sammenfoldingen av opphenget må skje på en måte slik at den ikke blokkerer dørene, frontruten eller andre deler av kjøretøyet der tildekking hemmer andre viktige funksjoner av bilen. Plasseringen av opphenget vil bli vurdert. I utgangspunktet vil toppen av kjøretøyet være ønskelig da denne plasseringen vil gi best stabilitet i luften. Opphenget vil også måtte kunne festes i rammekonstruksjonen av bilen da det ytre skallet av eksteriøret ikke vil kunne overføre tilstrekkelig kraft.

Det vil bli vurdert hvor mange propellblader og hvilken propell- og armkonfigurasjon vil være mest gunstig. I tillegg vil det bli vurdert om propellene lar seg sammenfolde, dersom det ikke skal brukes propellbeskyttere eller dyser for å forbedre skyvekraften. Det må dermed også avveies om fordelene med sikkerheten og den økte skyvekraften vil være viktigere enn plassbesparingen ved sammenfoldede propeller samtidig må det tas hensyn til at flyveevnen bevarer. Dersom propellene skal kunne sammenfoldes må det også utvikles en mekanisme for å sørge for at propellene holdes utbrettet under flyvning.

Det vil gjøres en vurdering over aktuelle materialer. I tillegg vil styrkeegenskapene av konstruksjonen beregnes og kontrolleres i et FEM-analyse program. Den endelige løsningen må også oppfylle gjeldene krav om sikkerhet og vekt.

Sammenfoldingsmekanismen kan gjøre at produktet skiller seg ut fra sine konkurrenter og vil dermed være mer attraktiv på markedet. Prisen på kjøretøyet må dermed også være konkurransedyktig i forhold til konkurrentene slik at Dolphin sky får ett ekstra fortrinn.



Figur 9: Skisse som illustrerer sammenfolding av propeller samt oppheng på Dolphin Sky sett ovenfra.

#### 1.4 Konkurrerende løsninger, markedsbehov og potensiale

Det har blitt utført en undersøkelse over konkurrerende løsninger, både kommersielle og konseptuelle. Hensikten med dette er å få oversikt over hvilke løsninger som allerede eksisterer for å se om noen av disse kan tilpasses Dolphin Sky. Det er også viktig å få kartlagt konkurrentene for å se om det er noen aspekter ved Dolphin Sky som skiller seg ut, eventuelt om det er noe forbedringspotensialer ved konkurrenters løsninger. På denne måten kan det etableres om Dolphin Sky kan ha sin egen nisje på markedet.

I undersøkelsen vil det fokuseres flyvende biler (med det så menes det kjøretøy som kan fly og kjøre på vei) ettersom at de har også måttet finne løsninger for sammenfolding av flyvemekansime. I tillegg er det tatt med et eksempel på en persondrone for å ha et bredere spekter av konsepter å sammenligne med. Konseptene vil bli presentert i korte trekk med oversikt over de viktigste egenskapene og spesifikasjoner dersom de er tilgjengelig. Ved hvert konsept vil løsningen på propell og thurstersystemet bli vektlagt da det er mest relevant med tanke på denne gradsoppgaven.

### 1.4.1 Konkurrerende løsninger

#### Terrafugia TF-X:



Figur 10: Terrafugia TF-X under kjøring på vei, letting og ved flyving. [16]

TF-X er et konsept av boston selskapet Terrafugia. Kjøretøyet er fortsatt under utvikling, men ventes å være klar for markedet innen 2025. TF-X har mulighet til å fly samt å kjøre på veien. Den har plass til fire personer og er i stand til å lette og lande vertikalt (VTOL, vertical take off and landing). Den har sammenfoldbare vinger med propeller på endene noe som gjør at den blir liten nok til å få plass i en garasje. I flyvemodus vil bilen være fullstendig autonom. I tillegg drives den av en hybridmotor. [16]

Tabell 1: Spesifikasjoner for Terrafugia TF-X. [16]

Spesifikasjon	Verdi
Rekkevidde (flyving)	800 km
Marsjfart	320 km/h
Kapasitet	4 personer
Drift	Hybrid Elektrisk
Effekt	2x 500 kW
Pris	Ca. 200000 Dollar

Det tar ca. 1 min å bytte mellom bil og flymodus. Og man må være parkert under denne prosessen. To elektriske drevene propeller som er plassert på enden av vingene brukes til letting og landing. Fremdriften under flyingen er en bensinmotor som driver en større propell med dyse ved bakenden av bilen. Bensinmotoren lader de elektriske motorene under flyingen og vingene sørger for oppdrift. Kjøretøyet innehar alle standard sikkerhetsaspekter ved en vanlig bil og har i tillegg en fallskjerm som utløses ved nødstilfeller i luften. [16]

Antageligvis vil kun to propeller for å lette fra bakken gjøre kjøretøyet litt ustabil i denne fasen. Utover det virker løsningen som god. Vingene vil sørge for at kjøretøyet bruker mindre energi på oppdrift og Plasseringen av propellene og vingene sørger for stabilitet. Vingene brettes ned på siden av kjøretøyet og inngangsdørene ser ut til å være plassert legger frem. Dette kan tyde på at TF-X er noe større enn Dolphin Sky (dimensjoner er ikke spesifisert på TF-X), så det er mulig at denne sammenfoldningsmetoden ikke er egnet for denne oppgaven. Dette vil bli vurdert på et senere stadiet i prosjektet.

**Pal V Liberty:**

Figur 11: Pal-V Liberty I flyvemodus til venste og kjøremodus til høyre. [17]

Pal-V Liberty er laget av et nederlandsk selskap ved navnet PAL-V. Kjøretøyet er tilgjengelig for salg pr dags dato og er dermed det første kommersielle flyvende bil konseptet til salgs for allmennheten. Bilen leveres allikevel ikke før i 2019. I likhet med Dolphin Sky kan Pal-V Liberty også kjøre på vei og fly, den har også tre hjul og kan krenge i svinger. Den har dermed ikke muligheter for vertikal letting og trenger en rullebane på 180-280 meter for å kunne ta av. Kjøretøyet har en rotor som kan foldes ned på taket. I tillegg har den en bakre propell som gir framdrift i luften. Flyvemodusen til bilen kan betegnes som en autogiro og ikke et helikopter. Dvs at luftgjennomstrømningen i rotorplaten får rotoren til å gå rundt (ikke en med motor slik som i et helikopter). Rotoren skaper da oppdrift og noe fremdrift. Dette kan sammenliknes med en gilder og er noe av grunnen til at den trenger en rullebane. [17] [18]

Tabell 2 spesifikasjoner for Pal-V Liberty. [17]

Spesifikasjoner	Verdi
Kapasitet	2 personer
Vekt (uten last)	664 kg
Dimensjoner (kjøremodus)	4 x 2 x 1,7 m
Dimensjoner (flyvemodus)	6,1 x 2 x 3,2 m
Rotor diameter	10,75 m
Drift	Bensinmotor
Effekt (kjøremodus)	100 hp
Rekkevidde (kjøremodus)	1315 km
Effekt (flyvemodus)	200 hp
Marsjfart (flyvemodus)	140-160 km/h
Rekkevidde (flyvemodus)	400-500 km
Nyttelast	246 kg
Pris	299000 Euro



Pal-V ser ut til å ha laget en innovativ løsning som fungerer. Den benytter en autogyromekansime for oppdrift. Dette er med på å spare energi. Ulempen med dette gjør at det bli vanskelig å implementere en eventuell fallskjerm løsning som ekstra sikkerhet, noe Pal-V Liberty heller ikke har. Det kan også være ugunstig at det er nødvendig med 180 meter rullebane for å lette. Bruksområde blir dermed noe mer begrenset i urbane miljø. I tillegg kan en rotor være et faremoment ved landing i befolkede områder. Utover det er det flere ting Dolphin Sky kunne benyttes seg av. Rotoren sammenfoldes fullstendig ned på taket uten å blokkere for sikt eller andre funksjoner. Dette virker å være den beste måten å folde en flymekanisme på. I tillegg sammenfoldes bakpropellen når den ikke er i bruk. En lignende løsning for Dolphin Sky kan være aktuelt dersom sammenfolding av propellene viser seg å være nødvendig.

#### AeroMobil Version 4.0:



Figur 12: AeroMobil version 4.0 i kjøremodus øverst og flyvemodus nederst. [19]

AeroMobil sin flyvende bil er utviklet i Slovakia. Bilen kan foreløpig kun forhåndsbestilles og forventes å være klar for levering rundt 2020. Bilen har plass til to personer og har en kjøremodus og flymodus. Den bruker ca. 3 min på bytte modus. Kjøretøyet er en hybrid. Den bruker en bensin i luft samt at batteriene lades. På bakken bruker den elektriske motorer. I likhet med Pal-V trenger den en rullebane for å lette fra bakken. [19]

Tabell 3: Spesifikasjoner for AeroMobil version 4.0. [19]

Spesifikasjoner	Verdi
Kapasitet	2 personer
Dimensjoner (kjøremodus)	5,9 x 2,2 x 1,5 m
Dimensjoner (flyvemodus)	5,8 x 8,8 x 1,4 m
Vekt (med maks last)	960 kg
Nyttelast	240 kg
Effekt (kjøremodus)	80 kW
Effekt (flyvemodus)	224 kW
Drift	Hybrid Elektrisk
Rekkevidde (kjøremodus)	700 km
Rekkevidde (flyvemodus)	750 km
Pris	1,2-1,6 mill dollar

AeroMobil har utviklet en mer eksklusiv variant av flyvebilen med fokus på et elegant design. Den har vinger som sørger for oppdriften og en propell bakerst som sørger for framdrift. Vingene foldes bakover ved endring til kjøremodus. I tillegg foldes propellen ved bakenden inn i bilen under beskyttende deksler noe som sørger for at de overhode ikke kan komme i veien for andre funksjoner eller utsette noen for fare. Dette er da absolutt noe som bør vurderes i løsningen for Dolphin Sky. I tillegg har Aeromobil en fallskjerm som utløses ved nødsituasjoner. Bilen er også avhengig av en rullebane noe som begrenser funksjonsområdet til en viss grad.

### Pop.Up:



Figur 13: Kjøretøyet Pop.up vist med tilhørende moduler. [20]

Konseptet Pop.up har blitt utviklet igjennom et samarbeid med Airbus og Italdesign. Konseptet skiller seg ut fra de andre på denne undersøkelsen ved at den er modulbasert. Kjøretøyet består hovedsakelig av en kapsel bestående av karbonfiber. Den har plass til to passasjerer og kan bytte mellom kjøremodulen og flygemodulen via en app. Det vil også bli tilrettelagt at kapselen kan festes på et tog, t-bane eller lignende. Konseptet er ment til å være fremtidens svar på transportmiddel i større byer. Kjøretøyet vil være elektrisk drevet, men det er derimot ikke sikkert om konseptet skal realiseres ved dette stadiet da det i utgangpunktet bare er en ide. Konseptet er allikevel designet på en måte slik at realisering er gjennomførbart. [20]

Tabell 4: spesifikasjoner for Pop.up. [20]

Spesifikasjoner	Verdi
Kapasitet	2 personer
Materialer	Karbonfiber
Drift	elektrisk
Dimensjoner (kapsel)	2,6 x 1,5 x 1,4 m
Dimensjoner (flyvemodul)	5 x 4,4 m (bredde x lengde)



Pop.up er et svært innovativt og originalt konsept. Utover egenskapene beskrevet ovenfor har den åtte propeller i flyvmodulen og har evne til å lette og lande vertikalt. Istedenfor å folde ned propellene er modulen avtakbar. Dette kan også vurderes til Dolphin Sky, men kan føre til logistiske problemer eventuelt nedsatt funksjon av kjøretøyet.

#### Volocopter 2X:



Figur 14: persondronen Volocopter 2X flyvende over et bylandskap. [21]

Volocopter 2X er en persondrone som er utviklet i Tyskland. Den er elektrisk drevet og har 18 rotorer. Den består hovedsakelig av fiberkompositt og har kapasitet til to personer. Den ble utviklet som en løsning på et alternativt transportmiddel da trafikkproblemer i større byer bare øker. Utviklerne ønsker at den skal kunne brukes som en flyvende taxi på sikt, der en tur med dronen vil kunne bestilles via en app. Den er ikke i salg per dags dato, men har gjennomgått flyveprøver senest i 2017. [21]

Tabell 5: Spesifikasjoner for Volocopter 2X. [21]

Spesifikasjoner	Verdi
Kapasitet	2 personer
Materialer	Fiberkompositt
Drift	elektrisk
totalhøyde	2,15 m
Dimensjoner cockpit	3,2 m x 1,25 m x 1,21 m
Diameter av propelloppheng inkl. propeller	9,15 m
Vekt (med maks last)	450 kg
Maks last	160 kg
Rekkevidde ved optimalfart (70 km/h)	27 km
Maks flyvetid ved optimalfart (50 km/h)	27 min
Maks hastighet	100 km/h

Volocopter er en løsning som ikke har kjøremodus. De har dermed ikke sett noe behov på å utvikle et sammenleggbart oppheng. Fokuset har deres har vært på sikkerheten ved flyging. Av denne grunnen har dronen endt opp med 18 rotorer, fordi at dersom en eller flere svikter har man flere andre til rådighet. Dronen har også en fallskjerm som utløses ved nødsituasjon. Volocopter har også mulighet til VTOL noe som vil være nyttig i urbane miljø, men på grunn av størrelsen til opphenget vil nok fartøyet måtte lande og ta av på en form for helipad og dermed vil funksjonsområdet svekkes. Med tanke på Dolphin Sky vil sikkerhetsløsningene til Volocopter være mest aktuelt å vurdere. [21]

### 1.4.2 Markedsbehov og potensiale

Dolphin Sky er i utgangspunktet ment som et utviklingsprosjekt for masterstudenter ved NMBU. Samtidig kunne det vært interessant å se om Dolphin Sky kunne hatt noen fortrinn sammenlignet med konkurrentene dersom den etter hvert skulle realiseres.

Flere og flere mennesker flytter til byer. Dette kan føre til et problem med transport da byene etterhvert kan bli veldig trafikkerte. En løsning på dette kan være å benytte luften bedre og ikke bare veiene. Dolphin Sky kan være med å løse dette problemet. I tillegg til å kjøre på veien vil Dolphin Sky kunne lette fra bakken å fly til den ønskede destinasjonen dersom veiene er for fylte. Det kan derfor være ønskelig at kjøretøyet kan lette vertikalt og ikke har behov for rullebane. Denne egenskapen er det kun to av de utvalgte konkurrentene som innehar.

Antatt størrelse på Dolphin Sky er også noe mindre enn konkurrentene. I tillegg er det større fokus på miljøvennlighet ved utviklingen av Dolphin Sky. Dette gir potensiale til at effektbehovet til Dolphin Sky vil være mindre. Samtidig har de fleste konkurrentene en løsning som sørger for oppdrift uten motorkraft (f.eks. vinger). Det bør dermed vurderes om Dolphin Sky kan adoptere en slik løsning for å senke effektbehovet ytterligere.

Prisen er også et aspekt der Dolphin Sky kan ha et fortrinn. Av konkurrentenes produkter der prisen var oppgitt, lå den billigste på ca. 200000 dollar noe som tilsvarer omtrent 1.54 millioner kroner. Det bør være mulig å produsere et billigere produkt.

## 1.5 Oppdragsbeskrivelse

Denne oppgaven kommer til å omhandle den seneste utgaven av Dolphinkonseptet ved navn Dolphin Sky. Den er en videreføring av de tidligere versjonene der de opprinnelige kjøretøyene gjøres om til en flyvende drone som skal ha muligheter til å frakte personer eller varer.

For å muliggjøre flyging vil kjøretøyet ha behov for propeller for å skape oppdrift samt et oppheng de er festet i. Ettersom at Dolphin Sky skal kunne kjøre på veien i tillegg til å fly vil det være nødvendig å finne en måte å sammenfolde propellopphengene på slik at det ikke skaper problemer under drift. Et sammenfoldet oppheng vil også være gunstig med tanke på parkering.

Hensikten med denne oppgaven er å utvikle et passende propelloppheng som oppfyller beskrivelsen ovenfor og kriteriene gitt i kapittel 5. Løsningen vil ses på som akseptabel når problemstillingene samt de teknologiske flaskehalsene gitt i del kapittel 1.6 er oppfylt.

## 1.6 Problemstillinger og teknologiske flaskehals

### 1.6.1 Problemstillinger

For å kunne oppnå hovedmålsettingen om å utrede og utvikle et sammenfoldbart propell- og thrustersystem er det blitt valgt ut fire problemstillinger som er listet opp nedenfor. Disse skal legges til grunn hvilket arbeid som skal utføres og hvilke spørsmål som skal bli besvart i denne gradoppgaven.

- Undersøke eksisterende løsninger, både konseptuelle og kommersielle. Kartlegge egenskapene og finne ut om løsningene kan tilpasses Dolphin sky.
- Sørge for at løsningen oppfyller nødvendige krav for Dolphin Sky når det gjelder vekt, sikkerhet, styrke o.l.
- Vurdere arm-, motor- og propellkonfigurasjon og skjerming for propellene.
- Vurdere armplassing.

- Vurdere aktuelle muligheter for teleskopering, sammenlegging og komprimering av armene og propellene, med vurderinger av materialer.
- Vurdere løsninger for supplering av oppdrift.
- Beregne og kontrollere styrkeegenskapene til systemet, og kontrollert ved hjelp av FEM-analyse.

### 1.6.2 Teknologiske flaskehalsar

Ved utvikling av propellopphenget vil det forekomme en rekke teknologiske flaskehalsar som det må tas hensyn til. Disse utfordringene må besvares for å sikre et tilfredsstillende resultat. For å utrede løsninger på flaskehalsene vil det bli benyttet metodene og utstyret beskrevet i kapittel 3. De teknologiske flaskehalsene er som følger:

- Velge en plassering på opphenget som sørger for god stabilitet og tillater en sammenfolding uten at den kommer i veien for nødvendige funksjoner til kjøretøyet.
- Velge en motorkonfigurasjon som vil sørge for tilstrekkelig sikkerhet.
- Velge en løsning som vil utligne drivmoment av propellene slik at kjøretøyet ikke vil spinne rundt seg selv.
- Sørge for at de valgte løsningene ikke vil være unødig kompleks, slik at det er mindre sannsynlig for at noe skulle gå galt.
- Sørge for at de valgte løsningene og komponentenes dimensjoner ikke vil gjøre konstruksjonen unødig tungt.
- Sørge for at ingen av løsningene som velges vil svekke flyegeegenskapene til kjøretøyet.
- Sørge for at sammenfoldingsløsningene som velges vil gi optimal plassbesparing.
- Velge materialer som innehar gode styrke egenskaper i forhold til vekt.
- Sørge for at opphenget er tilrettelagt for eventuelle sikkerhetstiltak.
- Sørge for at konstruksjonen er dimensjonert for å tåle den antatte lasten på 450 kg med eventuelle sikkerhetsfaktorer.
- Vurdere hvilke lastsituasjoner vil være dimensjonerende.
- Vurdere hvilke deler som er kritiske og utføre dimensjonerende beregninger på disse.
- Sørge for at resultatet av FEM-analysen er riktig ved å kontrollere opp mot håndberegninger.
- Sørge for at gjeldene forskrifter og standarder følges ved beregningene og rutinene angående overflatebehandling og vedlikehold.

## 2 Prosjektplan

I dette kapitlet vil målsetningene for prosjektet bli definert. En arbeidsplan vil bli satt med tidspunkter og milepæler som angir når de sentrale delene av prosjektet bør være ferdig. I tillegg vil en liste med begrensninger for oppgaven legges frem da enkelte områder av prosjektet må nedprioriteres ettersom at tidsrammen for oppgaven er begrenset til 900 timer.

### 2.1 Prosjektmålsettinger

Dette delkapitlet tar for seg hovedmålet med prosjektet og hvilke delmål som må oppnås for å nå hovedmålsettingen. Hensikten med dette er man skal få en bedre forståelse over hva som skal gjøres og hvordan resultatet av oppgaven kommer til å se ut.

#### 2.1.1 Hovedmål

Hovedmålsettingen for denne oppgaven er definert som følgende:

«Å utrede og utvikle et sammenfoldbart propell- og thrustersystem for Dolphin sky slik at propellene og thrusterne ikke opptar unødig plass ved parkering eller ved kjøring på vei.»

#### 2.1.2 Delmål

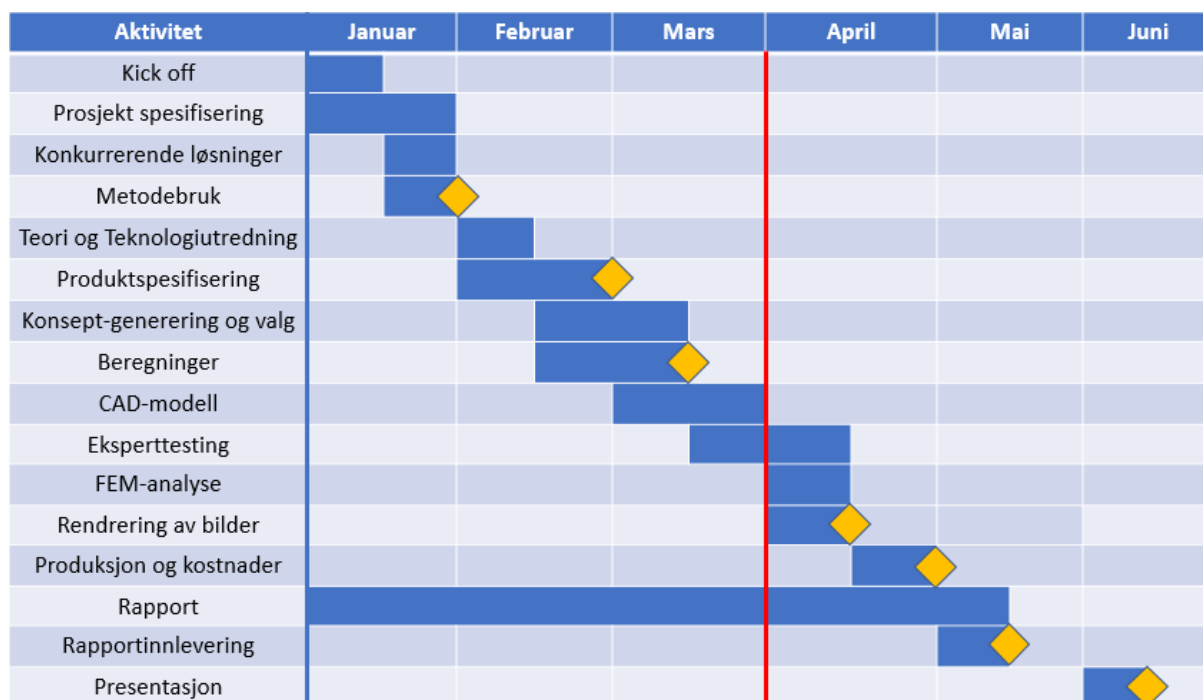
Delmålene som skal gjennomføres for å nå hovedmålsettingen er som følger:

- Definere og planlegge prosjektet samt klargjøre metodikk
- Fastsette produktets krav og utrede tilknyttet teori.
- Generering og valg av konsept.
- CAD-modellering og FEM-analyse.
- Produksjon og kostnader.
- Sluttstilling av rapport.

## 2.2 Tids og arbeidsplan med milepæler

Arbeidsplanen med samtlige deler av prosjektet og medhørende milepæler er illustrert i form av et Gantt diagram og en tabell med oversikt over sluttstilingsdatoene til milepælene. Gantt-diagrammet viser hvor lang tid er som er avsatt til de ulike delene av prosjektet og milepælene i skal indikere når et større delmål er skal være ferdigstilt.

Tabell 6: Gantt-diagram som viser hvordan arbeidsplanen er satt opp. de blå feltene viser tiden avsatt til hver aktivitet. Milepælene er indikert med en oransje rombe og viser når en overordnet aktivitet skal være gjennomført. Rød linje indikerer påskefri.



Tabell 7: Oversikt over milepæler med tilhørende dato.

Nr.	Milepæl	Dato
M1	Definere og planlegge prosjektet samt klargjøre metodikk	04.02.2018
M2	Fastsette produktets krav og utrede tilknyttet teori	25.02.2018
M3	Generering og valg av konsept	16.03.2018
M4	Påskefri (rød linje på gantt diagram)	29.03.2018-02.04.2018
M5	CAD-modellering og FEM-analyse	17.04.2018
M6	Produksjon og kostnader	30.04.2018
M7	Sluttstilling og innlevering av rapport	15.05.2018
M8	Presentasjon	07.06.2018

## 2.3 Begrensninger for arbeidet

Masteroppgaven skal gjennomføres innen en gitt tidsramme på omtrentlig 900 timer. For å ikke overskride denne vil det være nødvendig å avgrense arbeidet. Områdene som ikke skal berøres i denne oppgaven er som følger:

- Det vil ikke bli gjort noe arbeid direkte knyttet til kjøretøyets egenskaper som «bil».
- Prisen på produktet vil kun være et estimat.
- Det vil ikke bli produsert en prototype av produktet.
- Det vil ikke bli utført utmattingsberegninger for opphenget da den dynamiske lastfaktoren vil være dekkende.
- Det vil kun bli utført en forenklet eksperttest med hensyn på tiden tilgjengelig.
- CAD modellen vil kun være konseptuell, mer arbeid vil kreves før den er ferdigstilt.
- Dimensjoneringen vil utføres på bakgrunn av en vertikal dynamisk lastfaktor gitt av luftfartstilsynet.
- I noen beregninger benyttes en horisontal dynamisk lastfaktor som er utledet i samarbeid med veileder.
- Det vil kun utføres strykeberegninger på en hovedprofil av en propellarm og et rotasjonsledd.
- Det vil ikke bli utført beregninger for knekking eller vipping.
- Ved beregning vil luftfartstilsynets forskrifter vektlegges, det blir dermed ikke benyttet Eurokode 9 eller lignende.
- Det vil ikke bli utført noe arbeid knyttet til festepunktene mellom propellkonstruksjonen og bil-rammen annet enn at posisjonen bestemmes.
- Det vil ikke bli utført en stabilitetsberegning. Tyngdepunkt plasseringen er basert på en antagelse.
- Det vil ikke bli utført en egenfrekvensberegning.
- Det vil ikke bli utført noen effektberegninger eller dimensjonering av motorer eller propeller.
- Det vil ikke bli utført noen vurderinger om egnede motortyper eller propelltyper.
- Det vil kun bli utført en FEM-analyse på en forenklet modell av konstruksjonen.
- Det vil kun bli utført en FEM-analyse på rotasjonsleddet og en propellarm.
- Det vil ikke bli utført noen form beregning eller analyse av luftmotstand eller aerodynamikk.
- Det vil ikke bli utvalgt et konkret aluminiums slim og heller ingen beregninger tilknyttet limingen vil utføres.
- Det vil ikke bli gjort noe arbeid knyttet til elektronikken for motorene og bevegelsesmekanismene.
- Det vil ikke bli lagd noen form for styresystem til kjøretøyet.
- Det vil ikke bli utført noen beregninger knyttet til støy.
- Det vil ikke bli utført noen beregninger knyttet til kollisjon av kjøretøyet.
- Prisen for produksjon og tidsforbruket ved prototypen er basert på antagelser.
- Det vil ikke bli utført noe arbeid knyttet til demping av vibrasjoner grunnet propellene.
- Det vil ikke bli utført noe arbeid knyttet til en ballistisk fallskjerm annet enn at det tilrettelegges for at den skal få plass på konstruksjonen.
- CAD-modellen vil ikke modifiseres med hensyn på estetikken.
- Det er ikke utført noen form for patentsøk for å sjekke om konstruksjonen bryter noen rettigheter.
- Det er ikke gjort noen beregninger med tanke på flyveegenskaper.
- Det vil ikke blitt tatt hensyn til helning flyvehastigheter i beregningene.
- Miljøanalysen vil være forenklet og basert på noen antagelser.

### 3 Metodebeskrivelse

Dette kapitlet vil omhandle metodene som vil bli brukt i forbindelse med denne oppgaven. Den vil inneholde en liste med symbolene som brukes i rapporten og medfølgende SI-enhet samt betydning av gjeldende symbol. Betydningen av tekniske begreper vil bli definert og alle beregningsformler vil bli listet opp med tilhørende indeks slik at de enkelt kan bli slått opp.

Videre vil det bli gjort rede for hvilke løsningsverktøy som benyttes og det vil bli forklart hva de ulike verktøyene er og hva de brukes til. Gjeldene litteratur, programvare og standarder vil bli listet opp. De skal være med å sikre at løsningen oppnår nødvendig faglig kvalitet. Utviklingsprosessen i prosjektet vil bli framstilt i en skjematisk figur som viser rekkefølgen på de ulike prosessstrinnene.

#### 3.1 Symboler og terminologi

Kapittel 3.1 vil inneholde viktige begreper, symboler med tilhørende SI-enheter og samtlige beregningsformler som benyttes i rapporten.

##### 3.1.1 Forkortelser og viktige begreper

Tabell 8: Forkortelser benyttet i oppgaven med tilhørende definisjon.

Forkortelse	Betydning
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
REALTEK	Fakultet for realfag og teknologi
VTOL	Et akronym for "Vertical take-off and landing"
PDS	Produktdesign spesifikasjoner
SCAMPER	Se delkapittel 3.3.3
IPD	Integrated product development
RC	«Remote controlled» eller fjernstyrt/radiostyrt på norsk
TP	Tyngdepunkt
FEM	Finite element method
FEA	Finite element analysis
CAD	Computer aided design
FAA	Federal aviation administration
CAA	Civil aviation authority
EASA	European aviation safety agency
Co2	Den kjemiske formelen til karbondioksid
NOK	Norske kroner

Tabell 9: Viktige begreper benyttet i oppgaven med tilhørende definisjon.

Begrep	Betydning
Helipad	Landingsområde for helikoptre.
kantsteinklaring	Avstand mellom veikant og stein som settes for å avgrense veier
Mesh	«nett» med elementer som genereres ved en FEM-analyse
Hybrid	Kombinasjon av elektrisk motor og forbrenningsmotor
Hjul konfigurasjon	Sammenstilling/kombinasjon/plassering av hjul
Motor konfigurasjon	Sammenstilling/kombinasjon/plassering av motor
Arm konfigurasjon	Sammenstilling/kombinasjon/plassering av propellarm
Aerodynamisk	Lav luftmotstand

Bevegelsesmengde	Produktet av masse ganger hastighet
Drivmoment	Ekvivalente av bevegelsesmengde for rotasjon
Plastifisering	«Flyting» av materiale
Rendring	Fremstilling av et virkelighetsnært bilde ut fra en animert modell

## 3.1.2 Symboler og enheter

Tabell 10: Symboler benyttet i oppgaven.

Symbol	Betydning	Si-enhet
$F_R$	Rullestand	N
$\mu$	Friksjonskoeffisient	-
G	Tyngdekraft	N
$F_S$	Stigningsmotstand	N
$\alpha$	Stigningsvinkel	Grader
$F_A$	Akselerasjonsmotstand	N
$k_m$	Massetilleggsfaktor	-
$m_{bil}$	Bilens masse	Kg
a	Akselerasjon	$m/s^2$
$F_L$	Luftmotstand	N
$C_w$	Luftmotstandskoeffisient	-
A	Tversnittsareal	$m^2$
$\rho_1$	Lufttetthet	$kg/m^3$
v	hastighet	$m/s$
$v_L$	Relativ hastighet i forhold til vind	$m/s$
$P_{tot}$	Effektbehov	W
g	Tyngdeakselerasjon	$m/s^2$
TP	Tyngdepunkt	mm
$F_{FH}$	Fremre høyre opplager	N
$F_{FV}$	Fremre venstre opplager kraft	N
$F_{BH}$	Bakre høyre opplagerkraft	N
$F_{BV}$	Bakre venstre opplagerkraft	N
$F_{oppl.}$	Opplagerkraft	N
$F_a$	Aksialkraft	N
$\sigma_a$	Aksialspenning	MPa
$\tau_{BH}$	Skjærspenning ved bakre høyre opplagerkraft	MPa
$M_{BH}$	Moment grunnet bakre høyre opplagerkraft	Nm
x	Armlengde	m
$M_b$	Bøyemoment	Nm
$\sigma_{mb}$	Bøyepening	MPa
$y_0$	Tyngdepunktsavstand	m
$I_x$	Annet arealmoment	$mm^4$
$I_{x0}$	Annet arealmoment til delfigur	$mm^4$
$A_1$	Planareal	$mm^2$
$y_1$	Avstand i y-retning	mm
$\sigma_{til}$	Tillat spenning	MPa
$\sigma_f$	Flytegrense	MPa



$n$	Sikkerhetsfaktor	-
$M_T$	Torsjon	Nm
$\tau_v$	Torsjonsspennning	MPa
$W_p$	Polar tverrsnittsmodul	$mm^3$
$\sigma_{jf}$	Jevnførende spennning	MPa
$\sigma_x$	Spennning i x-retning	MPa
$\sigma_y$	Spennning i y-retning	MPa
$\tau_{xy}$	Skjærspennning i xy-retning	MPa
$y$	Nedbøying	m
$L$	Bjelkelengde	m
$E$	Elastisitetmodul	MPa
$F$	Punktlast	N
$M$	Moment	Nm
$I$	Annet arealmoment	$mm^4$
$\phi$	Rotasjon om global x-akse	Grader
$\theta$	Rotasjon om global y-akse	Grader
$\psi$	Rotasjon om global z-akse	Grader
$k$	Fjærkonstant	N/mm
$\omega_0$	Egenfrekvens	Rad/s
$m_f$	Masse fra påført last	Kg
$D$	Delskade (miner palmgren)	1/s
$n_i$	Vekslinger	-
$N_i$	Vekslinger til brudd	-
$\eta$	Utnyttelsesgrad	-
$B$	Utvendig tverrsnittsbredde	mm
$H$	Utvendig tverrsnittshøyde	mm
$b$	Innvendig tverrsnittsbredde	mm
$h$	Innvendig tverrsnittshøyde	mm
$W_b$	Motstandsmoment	$mm^3$

\*MPa = N/mm<sup>2</sup>

## 3.1.3 Beregningsformler

Tabell 11: Formler benyttet i oppgaven.

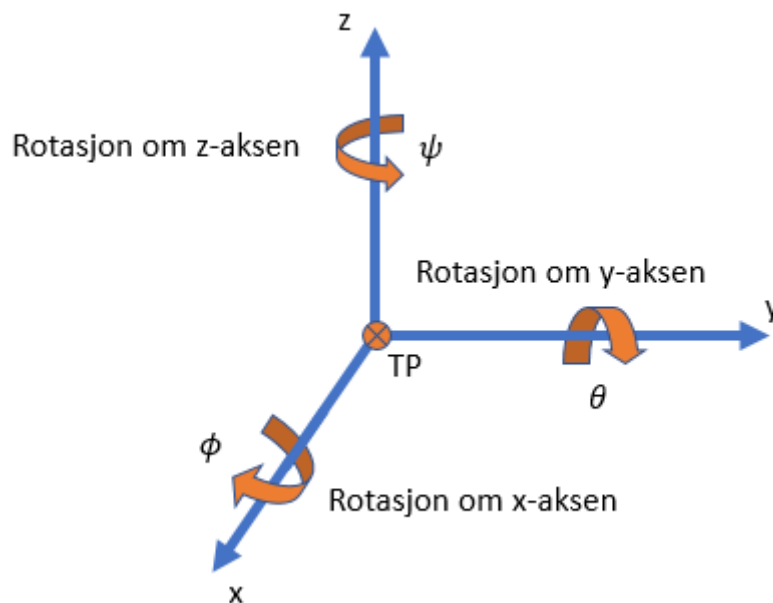
Betydning	Formel	Indeks
Rulle motstand	$F_R = \mu \cdot G$	(4.1)
Stignings motstand	$F_S = G \cdot \sin \alpha$	(4.2)
Akselerasjons motstand	$F_A = k_m \cdot m_{bil} \cdot a$	(4.3)
Luft motstand	$F_L = 0.5 \cdot C_w \cdot A \cdot \rho_1 \cdot v^2$	(4.4)
Effekt behov	$P_{tot} = (F_R + F_S + F_A + F_L) \cdot v$	(4.5)
Opplager beregning	$F_{oppl.} = \frac{G}{4}$	(4.6)
Aksial spenning	$\sigma_a = \frac{F_a}{A}$	(4.7)
Skjær spenning	$\tau_{BH} = \frac{F_{BH}}{A}$	(4.8)
Bøyemoment	$M_{BH} = F_{BH} \cdot x$	(4.9)
Bøyespenning	$\sigma_{mb} = \frac{M_b}{I_x} \cdot y_0$	(4.10)
Steiners formel	$I_x = I_{x0} + A \cdot y_0^2$	(4.11)
tyngdepunktsavstand	$y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2}$	(4.12)
Tillat spenning	$\sigma_{til} = \frac{\sigma_f}{n}$	(4.13)
Spenningskrav	$\sigma_{tot} \leq \sigma_{til}$	(4.14)
Torsjon	$M_T = F_{BH} \cdot x$	(4.15)
Torsjonspenning	$\tau_v = \frac{M_T}{W_p}$	(4.16)
Von mises	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$	(4.17)
Nedbøyning for innspent bjelke med punktlast på motsatt ende	$y = \frac{F \cdot L^3}{3EI}$	(4.18)
Macauleys metode (elastisk linje)	$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$	(4.19)
Miner Palmgren	$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq \eta$	(4.20)
Egenfrekvens	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_f}}$	(4.21)
Motstandsmoment for hul rektangulær profil	$W_b = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H}$	(8.1)
Avskjæring av nagle	$\tau_{nagle} = \frac{F_{hori}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_h^2}$	(8.2)
Hullkanttrykk	$P_h = \frac{F_{hori}}{t \cdot d_h}$	(8.3)
Utrivning av grunnmaterialet	$\tau_{grunn} = \frac{F_{hori}}{2 \cdot l_{eff} \cdot t}$	(8.4)
Brudd/varig deformasjon i grunnmaterialets nettotversnitt	$\sigma_n = \frac{F_{y,hori}}{t \cdot (b - n \cdot d_h)}$	(8.5)

Motstand moment med rektangulært tverrsnitt	$W_{b_{ledd}} = \frac{B \cdot H^2}{6}$	(8.6)
---	--	-------

### 3.2 Globalt koordinatsystem

Nedenfor er en figur som viser positive akseretninger samt rotasjonsretninger. Origo er plassert i tyngdepunktet av konstruksjonen og X-aksen peker langsgående i kjøreretningen til bilen. Det medfører at y-aksen peker sideveis og z-aksen vertikalt oppover.

Rotasjon om aksene x, y og z er henholdsvis representert av symbolene  $\phi$ ,  $\theta$  og  $\psi$  og Positiv dreieretning er definert etter høyrehåndsreglen.



Figur 15: Globalt koordinatsystem som indikerer positive akseretninger og dreieretninger der x-aksen peker langsgående i kjøreretningen til bilen.

### 3.3 Metodebruk og løsningsverktøy

Dette underkapittelet vil ta for seg hvilke metoder og programvare som benyttes i oppgaven. Det forklares mer i detalj hva de ulike metodene innebærer og hva de brukes til.

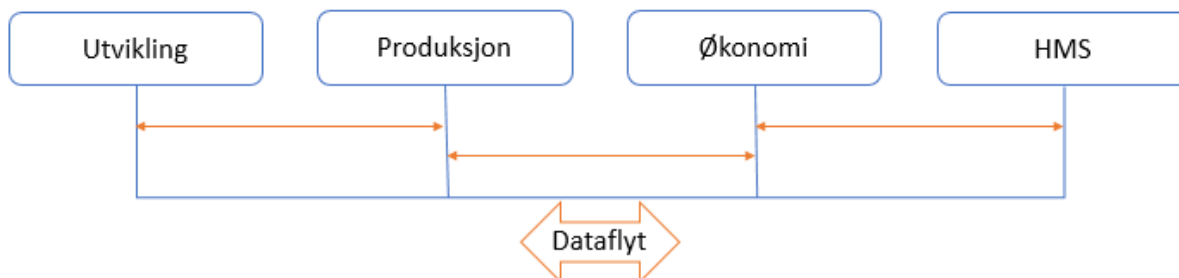
#### 3.3.1 IPD (Integrated Product Development)

IPD er en produktutviklingsmetodikk som er ment til å korte ned gjennomføringstiden til et prosjekt og effektivisere prosessen. Grunnlaget for metodikken er integrering og bruk av datateknologi, prosedyrer og rutiner for organisering av prosjektarbeidet. I tillegg inkorporerer IPD en rekke forskjellige fagfelt som skal være med å bedre resultatet av prosjektet samt at det gir en økt læring slik at man kontinuerlig bedrer utviklingsprosessen. Fagene innebærer blant annet psykologi, miljø og bærekraftensyn. Integrasjon er spesielt viktig når det gjelder IPD. Med det så menes det at informasjon flyter mellom ulike fagfelt. Disse skal være med å gi ulike perspektiv på «problemet» slik at sluttproduktet oppfyller behovene gitt av samtlige relevante områder.

Ressursbruken er også et viktig moment i metodikken. Kostnadene styres helt fra starten av prosjektet. På denne måten vil man få et bedre grunnlag til å vurdere kostandene for å utvikle

produktet samt at man får en forståelse av hva prisen til sluttproduktet kan ligge på og dermed kan man fange opp kostnadsbesparende ideer og sette mål på hvordan man kan komme dit.

Utviklingsmetodikken er basert på fire hovedelementer som vist i figuren nedenfor. HMS er også inkludert i IPD i motsetning til tradisjonelle interiørmessige utviklingsmetoder. HMS innebærer at områder som ergonomi, regelverk om sikkerhet og miljøhensyn inkluderes i utviklingsprosessen fra starten av. [22]



Figur 16: bilde som viser de fire hovedelementene i IPD og illustrerer dataflyten i mellom dem.

IPD skal også fungere som den slags huskeliste for alle utviklingstrinnene og sørge for at alt blir gjort i riktig rekkefølge og at ingenting glemmes. Valg av delmålene beskrevet tidligere er tatt på bakgrunn av utviklingstrinnene i IPD. Samtlige utviklingstrinn er listet opp nedenfor. [22]

- Kartlegging av kundens behov og markedets krav.
- Planlegging og styring av produktutviklingsprosessen.
- Bruk av produktutviklingsgrupper og teamarbeid.
- Integrasjon av prosessdesign.
- Styring av prosjektkostnadene fra starten.
- Involvering av leverandører og underleverandører tidlig i prosessen.
- Utvikling av robuste design.
- Integrasjon av CAE, CAD, CAM og relevante dataverktøy i utviklingsprosessen.
- Datasimulering av produktets egenskaper og framstillingsprosessen.
- Generering av en mest mulig effektiv tilnærming til utviklingsarbeidet.
- Kontinuerlig forbedring av utviklingsprosessen.

### 3.3.2 Pughs metodikk

Pughs metodikk er en metode utviklet av Stuart Pugh på 1980-tallet. Metoden brukes til å velge ut designløsninger ut fra flere kriterier. Til å begynne med velger man ut noen kriterier som løsningen skal bedømmes ut ifra. Og så gir man en poengsum etter hvor godt den gjeldene løsningen oppfyller det gitte kriteriet. Man summerer deretter opp poengene for hver løsning og den med høyest poengsum velges så til videre vurdering.

Senere i utvelgelsesprosessen kan man velge å vekte kriteriene etter hvor viktig en mener de er. Man gir så en poengsum slik som tidligere, men denne gangen multipliseres vektningen med den gitte poengsummen. Summen av poengene vil indikere den beste løsningen. Med vektet vurdering vil man få et mer korrekt resultat ved at en subjektiv vurdering utføres på en mest mulig objektiv måte.

Et annet viktig element til Pughs metodikk er PDS eller produktdesign spesifikasjoner. Dette er et dokument som skal inneholde samtlige krav og behov til produktet satt av kunden. Produktet skal etter hvert steg i utviklingsprosessen kontrolleres opp mot kravene satt i dette dokumentet. Dersom

noe ikke oppfyller det gitte kravet skal man gå tilbake å gjenta dette steget i prosessen slik at man oppnår et mer ønskelig resultat. For å vite om man har tilstrekkelig oppfylt et krav er det viktig at samtlige kriter er kvantifiserbare, men samtidig må man sørge for at kravene ikke for strengt spesifisert slik at oppnåelse fremdeles er mulig. [23]

### 3.3.3 Osborns SCAMPER

SCAMPER er metode som brukes til å som brukes innen produktutvikling for å komme på løsningsalternativer. Hensikten med metoden er at man skal se om produktet kan settes sammen på en annen måte enn det som er tradisjonelt. På denne måten kan man komme fram til kreative løsninger som tidligere har vært oversett eventuelt at man for en bedre forståelse over hvorfor noe er satt sammen slik det er. SCAMPER er akronym og hver bokstav representerer et trinn i utviklingsprosessen som man følger for å få med alle mulige alternative løsninger på problemet. [24]

Disse trinnene er som følger:

Tabell 12: forklaring på de ulike trinnene i produktutviklingsmetoden SCAMPER. [24]

Initial	Trinn (Engelsk)	Trinn (Norsk)	Betydning
S	Substitute	Substituere	Bytte ut deler av produktet for å få lik eller bedre funksjon.
C	Combine	Kombinere	Kombinere flere produkter for å skape et nytt konsept med økt funksjon. Eventuelt få en komponent til å utføre flere handlinger for å forenkle produktet.
A	Adapt	Tilpasse	Tilpasse produktet etter en idemyldringsprosess for å se om det kan forbedres.
M	Modify	Modifisere	Modifisere produktets fysiske mål eller egenskaper.
P	Put to another use/purpose	Hensikt	Endre hensikten til produktet ved å bruke en komponent eller produkt som er laget til et annet formål til noe nytt.
E	Eliminate	Eliminere	Fjerne overflødige elementer av produktet for å forenkle det.
R	Reverse, Rearrange	Reversere, omorganisere	Reverser eller omorganiser hvordan elementene av produktet er satt sammen for å se om det finnes en bedre måte å sette sammen produktet på.

### 3.3.4 FEM-analyse

For å sørge for at konstruksjonen er tilstrekkelig dimensjonert eventuelt for å se om deler av den kan optimaliseres benyttes det FEM-analyse.

FEM er en forkortelse for finite element method og er numerisk beregningsmetode som brukes ved hjelp av dataverktøy. Metoden fungerer ved at konstruksjonen brytes opp i mange små elementer. Elementene settes deretter inn i en stivhetsmatrise. Videre løses matrisen ut fra lastene og andre satte betingelser. Løsningen vil da gi bevegelse i elementene. Ut fra denne bevegelsen kan spenninger og deformasjoner utledes. [25]

I dette prosjektet benyttes det av Ansys workbench for å kjøre FEM -analyse.

### 3.3.5 Programvare

- Word 2016 er brukt til å skrive rapporten.
- Powerpoint 2016 er brukt til å lage figurer.
- Solidworks 2016 er brukt til å lage CAD modell og tekniske tegninger
- Ces Edupack 2017 er brukt til å hente materialdata og til miljøanalyse.
- Ansys Workbench er brukt til FEM-analyse.
- Excel er brukt til kostnadsberegninger.

### 3.4 Kvalitetssikring

For å sikre kvaliteten produktet har det blitt benyttet anerkjent faglitteratur samt standarder og forskrifter gjeldene for det aktuelle temaet. Det har også blitt foretatt en eksperttest for å kontrollere at den valgte løsningen og arbeidet knyttet til den er forenelig med hvordan det ville blitt utført i en tenkt utviklingsprosess i arbeidslivet.

Følgende faglitteratur, standarder, forskrifter og ekspertbruk blitt benyttet i oppgaven.

#### Faglitteratur:

- Integrated Product and Process Design and Development av Edward B. Magrab. [22]
- Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering av Stuart Pugh. [23]
- Applied imagination: principles and procedures of creative problem solving av Alex F. Osborn. [24]
- Tekniske tabeller av Jarle Johannessen. [26]
- Kompendier fra TMP301 og TIP 271 av Geir Terjesen. [27] [28]
- Statikk og fasthetslære av Øystein vollen. [29]
- Konstruksjonselementer av Gunnar Dahlvig, Sigmund Christensen, Gunnar Strømsnes. [30]
- Materials and Design: the art and science of material selection in product design av Michael F. Ashby, Kara Johnson. [31]
- Produksjonsteknikk av Johann Andersen, Eyolf Herø, Kjell Reiersen og Odd Solheim. [32]
- Konstruksjonsmaterialer av Øivind Husø. [33]

#### Standarder:

- ISO 128 Technical product documentation (TPD)—General principles of presentation. [34]
- ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. [35]
- NS-EN 485-2:2008: Aluminium og aluminiumlegeringer - Plater og bånd - Del 2: Mekaniske egenskaper. [36]

#### Forskrifter, Føringer og håndbøker:

- Luftfartstilsynets regelverk for norsk sivil luftfart, Flytekniske bestemmelser (BSL B). [37]
  - Forskrift om selvbygde luftfartøy, (BSL B 3-1). [38]
  - Forskrift om kontinuerlig luftdyktighet, (BSL B 1-2). [39]
- Statens veivesen, Håndbok N100 veg og gateutforming. [40]
- FAA, Aviation Maintenance technician airframe handbook volume 2 (FAA-H-8083-31), chapter 8: Aircraft painting and finishing. [41]

**Eksperttest:**

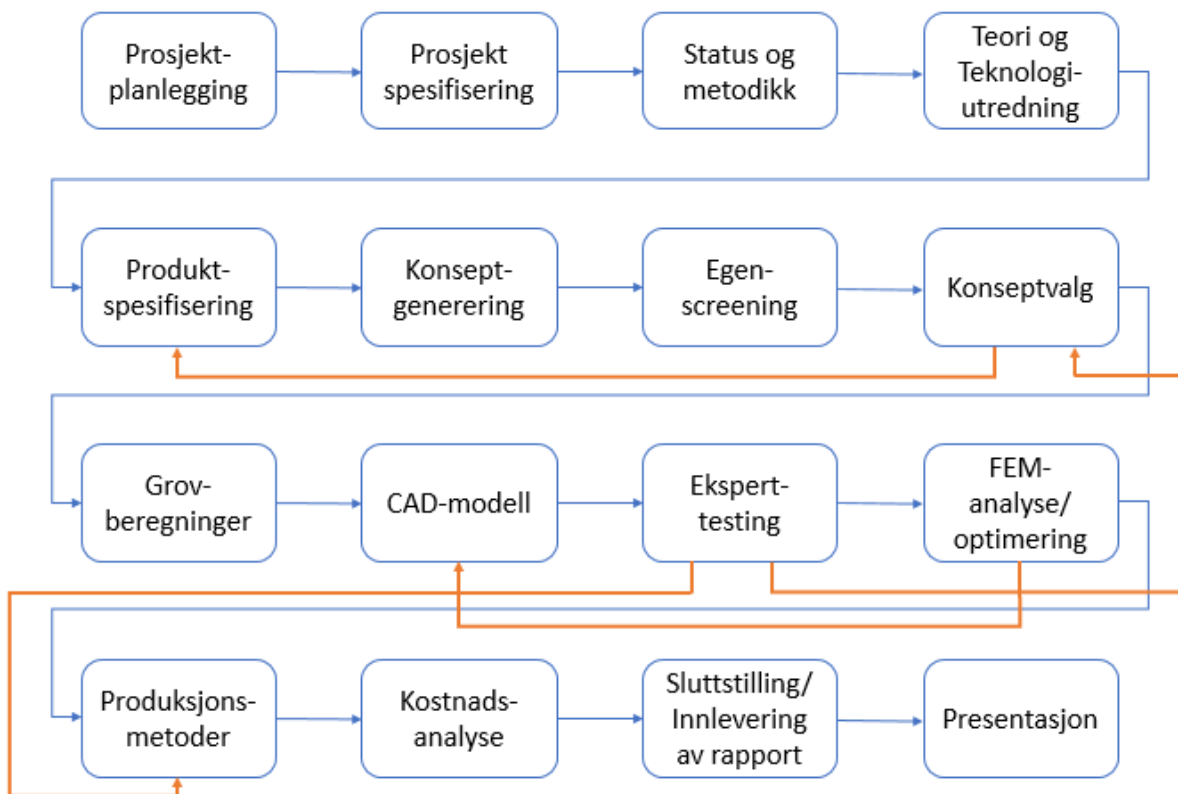
- Overingeniør Gunnar Torp, (spørsmål knyttet til produksjon)
- Industrimekaniker Bjørn Tenge, (spørsmål knyttet til produksjon)
- Senioringeniør Egil Stemsrud, (kontroll av valgte løsninger)

**3.5 Litteratursøk**

Til litteratursøk er det blitt vektlagt å finne hvilke standarder og forskrifter som er gjeldene for prosjektet. Der standardene ikke strekker til er det blitt benyttet faglitteratur samt anerkjente nettkilder.

Til litteratursøk er følgende søkemotorer og databaser blitt benyttet:

- Google
- Bing
- BIBSYS brage

**3.6 Prosesstrinn**

Figur 17: Skjematisk fremstilling av utviklingsprosessen i prosjektet. De oransje pilene skal illustrere at etter enkelte trinn i prosessen er gjennomført skal de sjekkes opp mot tidligere steg for å sørge at de er gjennomført på en tilfredsstillende måte.

## 4 Teori og teknologiutredning

Dette kapitelet vil inneholde teori som legger grunnlaget for utviklingen av propellopphenget samt evaluering en av sentral teknologi. Det blir gjennomgått grunnleggende dimensjoneringsmetoder, forskrifter som er relevant for produktet og fysiske faktorer som det må tas hensyn til. Videre vil ulike sammenfoldningsmetoder for opphenget og propellene bli gjennomgått og vurdert.

### 4.1 Fysiske begrensninger

Enten man kjører på veien eller flyr i luften vil et kjøretøy alltid oppleve motstand. Denne motstanden er gitt av egenskapene til kjøretøyet og omgivelsene den befinner seg i. Energien som utøves for å overvinne denne motstanden vil tilsvare nødvendig energibehov. Motstanden samt energiforbruket forklares nærmere nedenfor.

Det vil alltid oppstå en rullemotstand når en bil kjører på en vei på grunn av friksjon. Denne kan beregnes ved formel 4.1 vist nedenfor.  $F_R$  står rullemotstand og  $\mu$  for friksjonskoeffisient. Dersom man antar at friksjonskoeffisienten er konstant vil rullemotstanden halveres dersom  $G$  som representerer tyngden av bilen halveres.

$$F_R = \mu \cdot G \quad (4.1)$$

Når kjøretøyet kjører opp en bakke vil det også oppstå en motstand. Denne kan beregnes ved hjelp av formel 4.2. På samme måte som med  $F_R$  vil stigningsmotstanden  $F_S$  halveres når  $G$  halveres. Man bruker  $\sin \alpha$  her for å dekomponere kraften slik at  $F_S$  opptrer horisontalt med kjøretøyet.  $\alpha$  representerer stigningen til den tenkte bakken i grader.

$$F_S = G \cdot \sin \alpha \quad (4.2)$$

En annen faktor som vil påvirke effektbehovet i noen grad er akselerasjonsmomentet  $F_A$ . Denne motstanden oppstår som en konsekvens av  $e$  til bilens vekt samt en rekke roterende deler der bevegelsen er omregnet slik at den blir translatorisk.. Faktoren  $k_m$  ivaretar denne translatoriske massen samt hjulradius og utvekslingsforhold. Når den samlede massen akselereres oppstår det en motstand. Denne vil også direkte påvirkes av bilens vekt  $m_{bil}$  når man antar at de andre verdiene forblir konstanter.

$$F_A = k_m \cdot m_{bil} \cdot a \quad (4.3)$$

Når bilen kjører gjennom luft vil vinden skape friksjon og trykk mot karosseriet av bilen dette kalles luftmotstand. Den er representert ved  $F_L$  og vil også kunne påvirke effektbehovet til bilen.  $C_w$  er en koeffisient som representerer hvor aerodynamisk form det er på bilen.  $\rho_1$  er tettheten til luft og  $v_L$  er kjøretøyetets relative hastighet i forhold til vinden.  $A$  representer tversnittarealet til bilen. Formelen nedenfor tilsier at ved samme forhold så vil  $A$  direkte påvirke motstanden. Ettersom at kun denne motstanden vil være dimensjonere ved flyving er den spesielt viktig med tanke på denne oppgaven og formelen for den er derfor fremhevet med en stiplet linje.

$$F_L = 0.5 \cdot C_w \cdot A \cdot \rho_1 \cdot v_L^2 \quad (4.4)$$

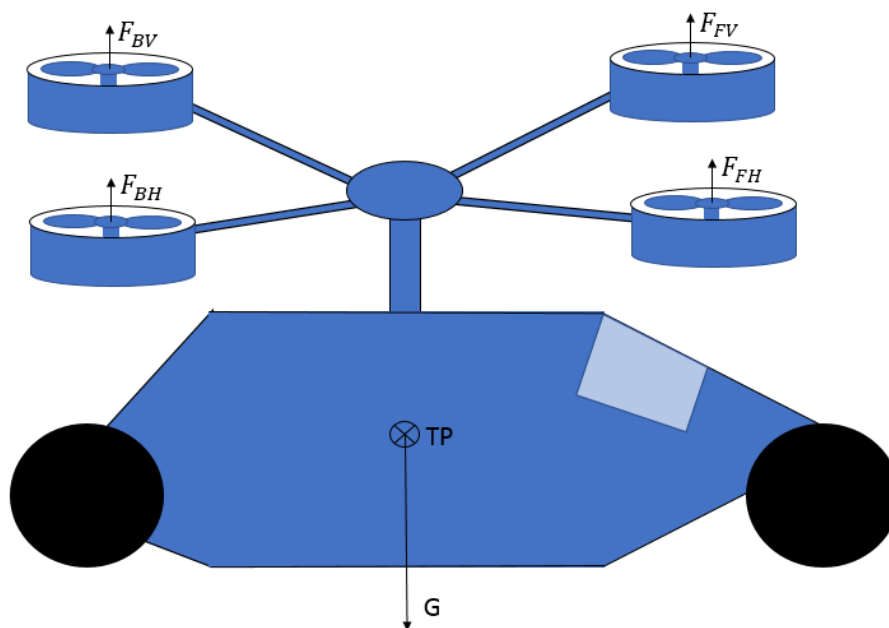


Summen av alle motstandene beskrevet ovenfor multiplisert med kjørehastigheten vil utgjøre effektbehovet til bilen vist i formel 4.5. Som en konsekvens av mindre tverrsnittsareal og vekt på kjøretøyet vil bilen ha et langt mindre effektbehov. Dette legger også til grunn hovedprinsippet bak formålet med å utvikle et nytt kjøretøy. [27]

$$P_{tot} = (F_R + F_S + F_A + F_L) \cdot v \quad (4.5)$$

## 4.2 Statiske krefter

Ettersom at denne oppgaven vil omhandle propellopphenget vil konstruksjonen bli dimensjonert etter en tenkt flyvesituasjon. Propellnavene vil dermed fungere som opplager i beregningene og totalvekten regnes om dimensjoneringslasten. Senterpunktet til opphenget vil fortrinnsvis festes til resten av kjøretøyet slik at det sammenfaller med konstruksjonens tyngdepunkt. Av denne grunnen vil kreftene fordele seg likt i hver arm av opphenget.



Figur 18: Figur som illustrerer de statiske kreftene som påvirker kjøretøyet under flyging.

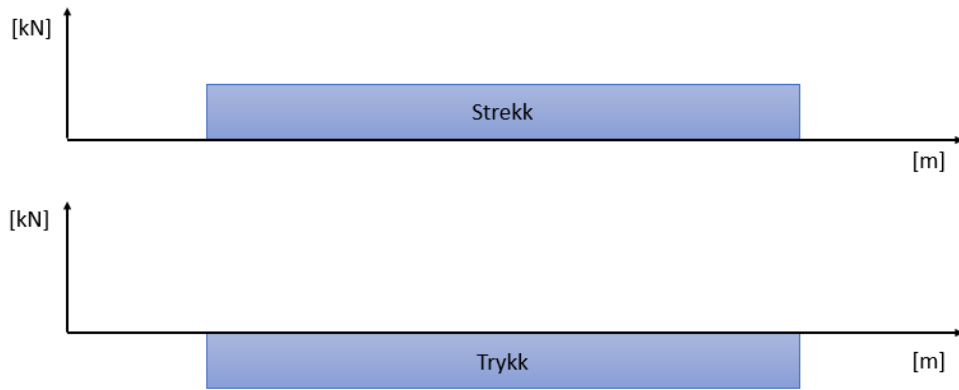
Ettersom at kreftene i opplagerne antas å være like store vil følgende forenkling av beregning av opplagerkreftene være akseptabel:

$$F_{oppl.} = \frac{G}{4} \quad (4.6)$$

### 4.2.1 Aksialkraft

På hver komponent som skal dimensjoneres vil det være nødvendig å kartlegge hvilke aksiale krefter som virker på delen. Dette vil være med på å fastslå hvor det er størst belastning og dermed hvor store krefter komponenten skal dimensjoneres etter. Størrelsen på kraften vil bli beregnet etter en likevektsbetraktning.

Aksialkraften i en komponent vil legges frem ved hjelp av et aksialkraftdiagram. Ved trykkraft i aksialretning vil verdien være negativ og det vil illustreres ved at kraften blir tegnet på nedsiden av midtstreken på diagrammet og ved strekkraft vil det være positivt og vil dermed tegnes på oversiden av midtstreken på diagrammet. [29]



Figur 19: Eksempel på aksialkraftdiagram som viser strekk og trykk.

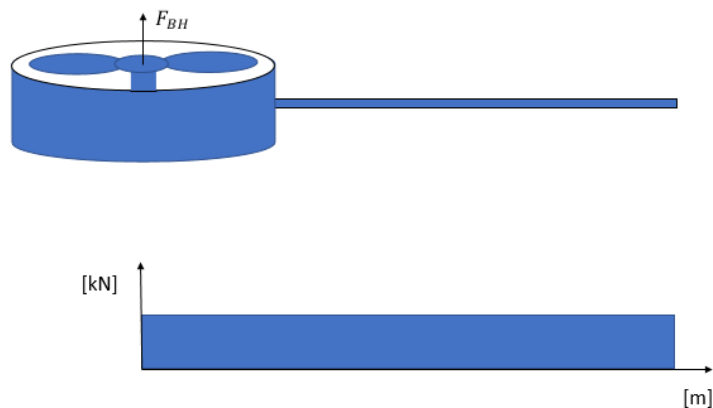
Spenningen kan deretter beregnes ved å dele kraften på tverrsnittsarealet av komponenten. Videre vil den beregnede spenningen kunne brukes til å finne en total spenningsverdi som kan sammenlignes med en gitt grenseverdi avhengig av valgt materialet og sikkerhetsfaktor.

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \quad (4.7)$$

#### 4.2.2 Skjærkraft

Dersom det påføres last på en komponent vil det også oppstå en skjærkraft som virker på tverrsnittet av komponenten. Denne kraften vil resultere i en spenning som vil være med å påvirke det totale lastbildet. Skjærkraften finnes ved å summere opp normalkreftene på en komponent i et bestemt snitt. Positiv retning defineres ved at kreftene som peker oppover på venstre siden av det gitte snittet regnes som positive. Motsatt retning gjelder som positivt på høyresiden av snittet. [29]

På samme måte som ved aksialkraften kan skjærkraften i komponenten vises ved hjelp av et diagram. Ved å bruke en av propellarmene som eksempel vil diagrammet være som følger.



Figur 20: Eksempel på et skjærkraftdiagram for en propellarm.

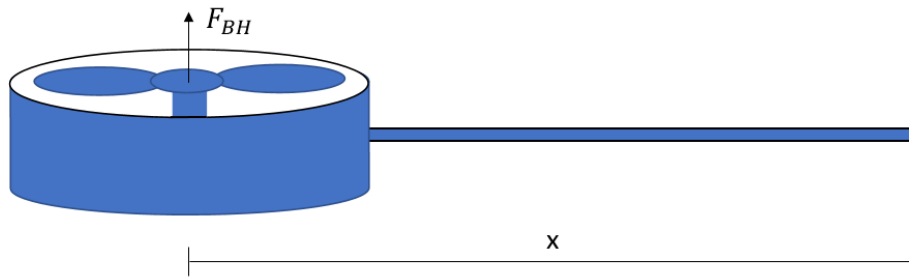
Skjærkraftspenningen kan regnes ut ved å dele skjærkraften på tverrsnittsarealet i det gjeldene snittet i komponenten.

$$\tau_{BH} = \frac{F_{BH}}{A} \quad (4.8)$$

### 4.2.3 Moment

For å kunne finne bøyepeningen i en komponent vil man først måtte finne momentet. Dette gjøres ved hjelp av en likevektsbetraktning. Det største momentet vil være i tverrsnittet som er lengst unna den påførte lasten. Denne vil som regel være dimensjonerende, men ettersom at lastbildet kan være sammensatt av flere ulike laster kan det lønne seg å finne momentet ved flere ulike steder da skjærkraften kan også ha en betydelig innvirkning på hvor den dimensjonerende lasten er. Dersom det er en tverrsnittsending i komponenten vil det også ha en innvirkning på den maksimale spenningen. [29]

Momentberegningen for en av propellarmene vil kunne utføres på følgende måte:

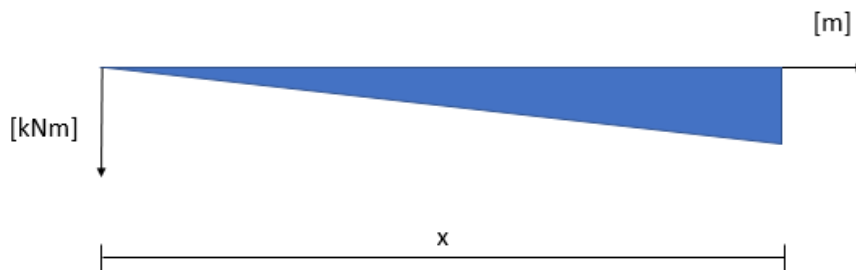


Figur 21: Eksempel på momentberegning for en propellarm.

$$M_{BH} = F_{BH} \cdot x \quad (4.9)$$

I dette tilfelle vil det være enklest å anse propellen som en påført last og definere positiv retning med urviseren.

Momentkraften kan deretter uttrykkes ved hjelp av et momentkraftdiagram. Diagrammet kan brukes til å finne momentet i et bestemt tverrsnitt på komponenten samtidig som det indikerer hvilken vei komponenten bøyes. En positiv verdi tegnes på undersiden av senterlinjen og en negativ verdi tegnes på oversiden.



Figur 22: Eksempel på momen kraftdiagram for en propellarm.

Bøyepeningen kan deretter finnes ved å dele på annet arealmoment og gange opp med avstanden til tyngdepunktet til tverrsnittet av armen.

$$\sigma_{mb} = \frac{M_b}{I_x} \cdot y_0 \quad (4.10)$$

Formlene til annet arealmoment og avstanden til tyngdepunktet kan leses ut fra tekniske tabeller dersom geometrien til tverrsnittet ikke er for komplekst. I det tilfelle at formlene ikke er tilgjengelig vil man kunne bruke steiners formels for å beregne arealmomentet og formelen til tyngdepunkt til sammensatte flater for å finne tyngdepunkts avstand. Disse vil kunne brukes dersom tverrsnittsgeometrien kan brytes ned til en figur satt sammen av flere enkle figurer. De generelle formlene er vist nedenfor. [29]

Steiners formel:

$$I_x = I_{x0} + A \cdot y_0^2 \quad (4.11)$$

Der A er arealet på delfiguren,  $I_{x0}$  er arealmoment for delfiguren og  $y_0$  er avstanden fra delfigurens tyngdepunkt til den sammensatte figurens tyngdepunkt.

Formel for tyngdepunktsavstand:

$$y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} \quad (4.12)$$

A er arealet på delfiguren og y er avstanden fra endekanten av totalfiguren til tyngdepunktet delfiguren. Indeksen forteller hvilken delfigur verdien tilhører.

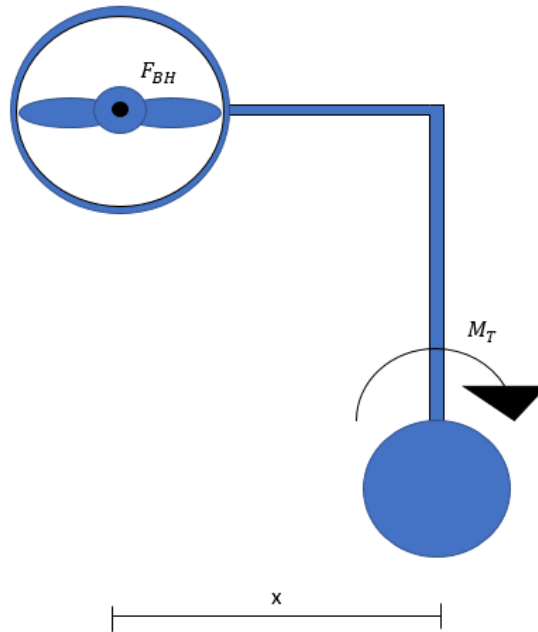
#### 4.2.4 Total spenning, torsjonsspenning og von mises

Dersom alle spenningene opptrer i samme akseretning vil totalspenningen kunne finnes ved å summer spenningene. Denne totalspenningen vil deretter kunne brukes til å dimensjonere komponenten. Det gjøres ved at den samlede spenningen sammenlignes med kriteriet satt på bakgrunn av materialvalget og sikkerhetsfaktor. Dersom totalspenningen er lavere enn kravet vil den valgte dimensjonen være akseptabel.

$$\sigma_{til} = \frac{\sigma_f}{n} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{tot} \leq \sigma_{til} \quad (4.14)$$

Ettersom at hver arm har to propeller med motroterende propeller vil armene i utgangspunktet ikke utsettes for torsjon, men dersom geometrien er slik at armene blir bøyd ut mot en side vil det allikevel oppstå en torsjonsspenning i den innerste delen av armen. I dette tilfellet og grunnet skjærspenningen vil Von mises formelen måtte benyttes for å finne dimensjonerende spenning.



Figur 23: bilde av propellarm sett ovenfra som viser hvordan en torsjonsspenning kan oppstå dersom det er en knekk/bøy på propellarmen.

Torsjonsmomentet bregnes ved å multiplisere kraften fra ett propellsett med armen « $x$ ». deretter kan torsjonsspenningen finnes ved å dele momentet med det polare tverrsnittsmodulet til komponenten. Formelen for den avhenger av geometrien på tverrsnittet og er vanligvis å finne i tekniske tabeller. [29]

$$M_T = F_{BH} \cdot x \quad (4.15)$$

$$\tau_v = \frac{M_T}{W_p} \quad (4.16)$$

Når man beregnet alle spenningstypene settes de inn i Von mises formelen for å finne en jevnføringspenning som komponenten kan dimensjoneres etter. Generelt kan den skrives på følgende måte. [30]

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (4.17)$$

Indeksen indikerer hvilken retning i spenningsplanet det gjeldene spenningen opptrer.

#### 4.2.5 Nedbøying

En annen faktor som vil kunne påvirke dimensjonen på komponentene er nedbøyingen den utsettes for. Det vil bli satt et makskrav til deformasjonen grunnet det må man sørge for at tykkelsen på materialet er tilstrekkelig slik at komponenten ikke bøyes mer enn det kravet tilsier.

Ved antagelse av at propellarmene er innspent innerst og at armen er en rett uniform bjelke vil man kunne finne nedbøyningen ved hjelp av formler fra en tabell. Følgende formel vil da kunne benyttes. [29]

$$y = \frac{F \cdot L^3}{3EI} \quad (4.18)$$

Dersom det viser seg at lastbildet er mer komplisert enn beskrevet ovenfor vil Macauleys metode benyttes. Den tar utgangspunkt i at momentet på bjelken beskrives ved hjelp av en rekke uttrykk der hvert enkelt ledd i ligningen beskriver en enkelt last på bjelken. Det totale uttrykket integreres to ganger og deles deretter på elastisitetsmodulen og annet arealmoment. Man står da igjen med et uttrykk som beskriver nedbøyningen. [42]

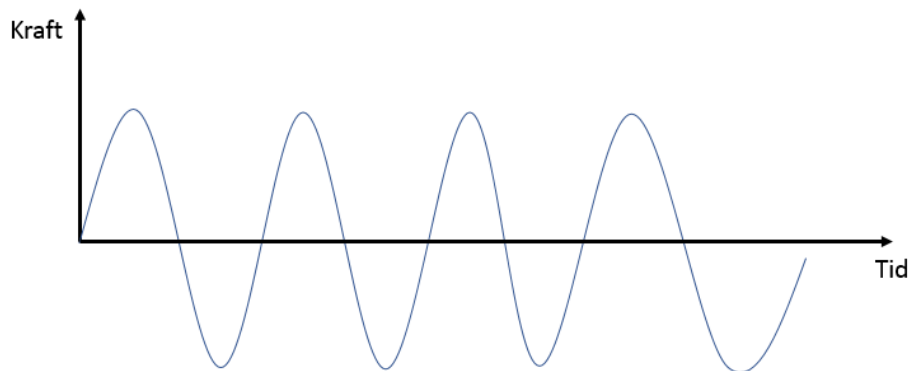
Hvilke uttrykk som beskriver de forskjellige lasttypene finnes i en tabell.

Grunnlaget til Macauleys metode:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (4.19)$$

### 4.3 Dynamiske krefter

Kjøretøyet vil også kunne utsettes for dynamiske krefter under flyving. Disse kreftene kan oppstå som en konsekvens av endring i akselerasjon, flyving over ulike overflater som kan påvirke effektiv skyvekraft eventuelt rotasjon av hvert propellblad. Disse faktorene forårsaker at opphengets opplevde kraft er kontinuerlig i endring. Denne kraftendingen kan bedre forstås ved hjelp av et bølgediagram som viser at kraften vil ha topppunkter og bunnpunkter ettersom at faktorene som påvirker kjøretøyet endres over tid.



Figur 24: Forenklet bølgediagram som illustrerer dynamiske krefter.

Som følge av dette vil konstruksjonen bli utsatt for utmatting. Opphenget må dermed være tilstrekkelig dimensjonert for å kunne motstå utmattingen samt hver enkelt av de dynamiske kreftene.

#### 4.3.1 G-krefter grunnet manøvrering

Ved manøvrering av kjøretøyet vil de opplevde kreftene øke utover de statiske på grunn av akselerasjon. Det må sørges for å dimensjonere opphenget til å tåle disse økte kreftene.

Samferdselsdepartementet har fastsatt i forskriften om selvbygde luftfartøy at rotorluftfartøy må kunne tåle minst 3,5 G i positiv retning og minst  $-1,5$  G i negativ retning for å kunne erklæres tilstrekkelig trygg. [38]

En G regnes i dette tilfelle som kraften forårsaket av tyngden til kjøretøyet.

I utviklingsfasen antas det at Dolphin Sky kan klassifiseres som et selvbygd rotorluftfartøy og det velges derfor å følge denne forskriften.

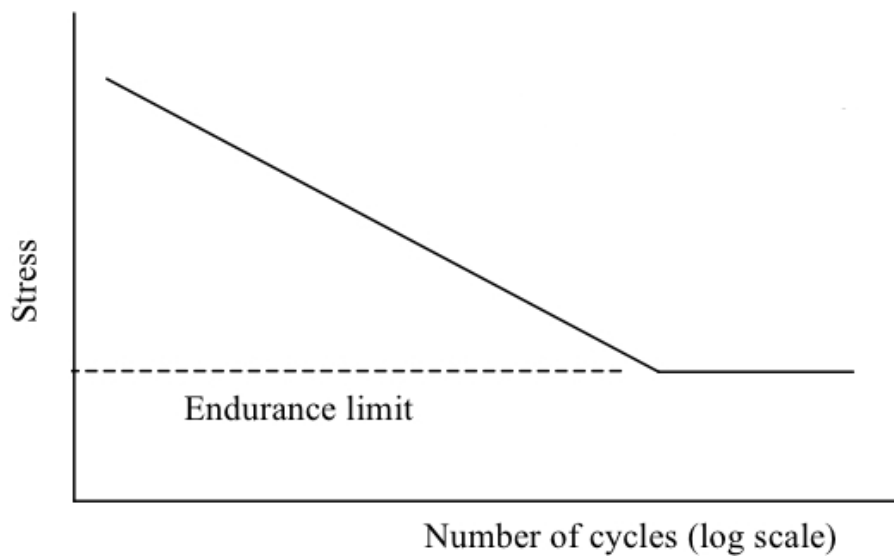
Jan kåre Bøe estimerer at sikkerhetsfaktoren i horisontal retning vil være 0.5-0.6 G.

#### 4.3.2 Utmatting

Ved gjentatte belastninger på en komponent vil kunne oppstå sprekker som etter hvert kan føre til brudd. Disse vil vanligvis oppstå der det er svakheter eller spenningskonsentrasjoner materialet. For å unngå dette er det viktig at man har tatt høyde for utmattingen ved dimensjonering av en gitt komponent.

Ved dimensjonering av komponenter tilknyttet Dolphin sky vil høysyklusutmatting gjelde grunnet rotasjon av propellene. Det vil si at spenningsnivået befinner seg under flytegrenser til materialet og det kreves over  $10^4$  sykluser før en komponent går til brudd. I slike situasjoner er det mest vanlig å benytte S-N kurver.

En S-N kurve viser hvor mye et material av den typen man vil beregne tåler. Kurven viser antall sykluser før en komponent går til brudd ved en gitt spenning. S-N Kurvene er utledet empirisk ved å teste prøvestaver av et bestemt materiale til de går til brudd. Gjennomsnittet av bruddverdiene danner så S-N kurven for materialet. En typisk S-N kurve kan se ut som den på figuren nedenfor.



Figur 25: Eksempel av en S-N kurve som viser utmattingsgrensen som et forhold mellom spenning og antall sykler før det går til brudd. [43]

For å sørge for at en komponent er tilstrekkelig dimensjonert sammenligner man belastningsdata til komponenten med S-N kurven og passer på at spenningen havner under utmattingsgrensen. Da kan man si at komponenten har tilnærmet uendelig levetid. [30]

Dersom man har symmetriske lastbilder kan man også benytte seg av Haigh eller Smith diagrammer for å estimere utmatingsgrensen, men hvis man har en mer variabel lastsituasjon slik som i Dolphin Sky kan man benytte seg av Miner-palmgrens metode.

Miner-palmgrens metode fungerer man deler de forskjellige lastene i blokker. Deretter teller man opp hvor mange vekslinger hver last har ( $n_i$ ) og finner antatt vekslinger til brudd ( $N_i$ ) ved hjelp av S-N kurven for den gitte lasten. Man deler deretter antall lastvekslinger på antall bruddvekslinger for hver lastblokk. Summen av denne verdien brukes da til å utlede antall sekvenser til brudd som igjen viser antatt levetid. Generell formel for Miner-palmgren er vist nedenfor. [28]

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq \eta \quad (4.20)$$

$\eta$  er utnyttelsesgraden og settes vanligvis til å være 1, men regelverk og standarder kan ha andre verdier for  $\eta$  avhengig av ønsket sikkerhet eller inspeksjonsintervall.

#### 4.3.3 Egenfrekvens

Som tidligere nevnt vil konstruksjonen bli utsatt for en dynamisk belastning som en konsekvens av blant annet roterende propellblader. Ved konstant rotasjonsfrekvens og ytre påkjenning vil denne belastningen kunne uttrykkes ved hjelp av en sinuskurve med konstant amplitude ved hvert bølgeytterpunkt. Amplituden holdes konstant siden det blir tilføyd like mye energi som det blir avgitt ved hver rotasjon av propellene.

I likhet med denne kurven vil konstruksjonen også ha sin egen frekvens som også vil komme frem ved tilføyning av energi. Dette kan eksempelvis illustreres ved at en pendel slippes. Den vil da svinge frem og tilbake med en konstant frekvens, noe som vil tilsvare egenfrekvensen til pendelen. Siden det ikke blir tilføyd noe ekstra energi underveis vil den svinge mindre og mindre for hver syklus og vil etter hvert stoppe, men dersom man skulle gitt den fart i samme frekvens som den svinger vil amplituden på svingningen øke drastisk utover vanlig svingningshøyde.

Dette fenomenet vil være viktig å ta hensyn til når propellkonstruksjonen skal utvikles. For dersom frekvensen av propellene skulle sammenfalle med konstruksjonens egenfrekvens er det mulig at amplituden på svingene øker så drastisk at konstruksjonen havarerer.

Det må dermed sørge for at svingene fra propellene dempes eventuelt at valg av geometri, masse, utforming og materialer sørger for at den naturlige egenfrekvensen til konstruksjonen ikke havner i nærheten av antatt propellfrekvens.

Egenfrekvensen uttrykkes ved hjelp av formelen nedenfor der  $k$  er en konstant som representerer stivheten til systemet (fjærkonstanten),  $m_f$  representer massen av den påførte lasten og  $\omega_0$  er konstruksjonens egenfrekvens. [44]

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_f}} \quad (4.21)$$

#### 4.4 Luftfartstilsynets regelverk for design og konstruksjon av fly

Ved design og konstruksjon av Dolphin Sky vil man måtte føye seg til luftfartstilsynets regelverk for norsk sivil luftfart. Dette gjøres fordi at på sikt så vil kjøretøyet kunne benyttes i norske luftområder når en prototype er blitt produsert ettersom at den vil overholde norske regler.



Under utviklingsprosessen vil forskriftene under temaet «Flytekniske bestemmelser (BSL B)» være mest relevant for dimensjoneringen og valg av komponenter. [37]

Forskriften om selvbygde luftfartøy (BSL B 3-1) opplyser eksempelvis at rotorluftfartøy skal minst tåle +3,5/-1,5G. Og stigevenen i standardatmosfære ved havoverflaten når kjøretøyet er lastet med høyest tilatt masse skal være minst 300 for i minuttet. [38]

Forskriften om tekniske krav mv. for sivile luftfartøy med startmasse (MTOM) inntil 495 kg (BSL B 2-5) opplyser om at luftfartøy skal ha en vekttoppgave, tyngdepunktberregning og lasteinstruksjon. Og veing av kjøretøyet skal utføres hvert 10 år. [45]

Dersom det norske regelverket ikke skulle være dekkende, kan man bruke regelverk av følgende institutter som føringer.

- Civil aviation Authority i Storbritannia.
  - Relevant standard:
    - CAP 482: British Civil Airworthiness Requirements - Section S - Small Light Aeroplanes. [46]
- Federal Aviation Administration i USA.
  - Relevante standarder:
    - 23-19A - Airframe Guide for Certification of Part 23 Airplanes. [47]
    - 23-13A - Fatigue, Fail-Safe, and Damage Tolerance Evaluation of Metallic Structure for Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes. [48]
- European Aviation Safety Agency
  - Relevant standard:
    - Certification Specifications for Small Rotorcraft CS-27. [49]

#### 4.5 Plassering av propeller og oppheng

For å oppnå en mest mulig stabil kjøreopplevelse i luften bør det samlede tyngdepunktet på kjøretøyet være lavt. Det vil også ha en positiv innvirkning på effektbehovet da hastigheten på propellene ikke ville måtte reguleres i like stor grad for å konstant rette opp kjøretøyet. For å oppnå dette vil propell opphenget måtte plasseres over resten av kjøretøyet, fortrinnsvis på taket.

Plasseringen av propellene vil også ha en innvirkning på stabiliteten. Jo lengere utover propellene befinner seg desto mer stabil vil kjøretøyet bli ved flyging. Samtidig må det sørges for at opphenget ikke tar for stor plass når det sammenfoldes slik at samtlige funksjoner til kjøretøyet blir ivaretatt.

Propellene bør også ha en symmetrisk plassering der senterpunktet sammenfaller med tyngdepunktet til kjøretøyet i xy-planet. Dette vil sørge for at kjøretøyet er mest mulig rett når samtlige propeller går ved samme hastighet. Samtidig vil det muliggjøre forenklinger ved utviklingen av opphenget da alle armene dimensjoneres etter samme kraft.

#### 4.6 Tekniske prinsipper

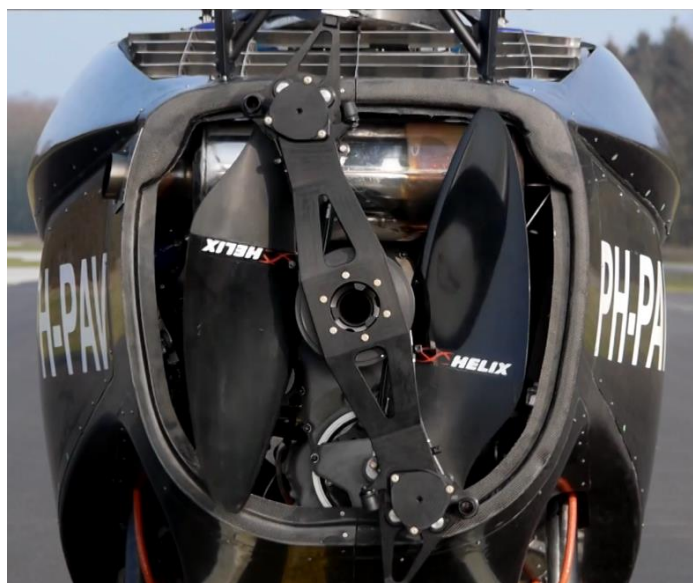
Eksisterende sammenfoldingsmetoder for propeller og opphengsarmer vil bli gjennomgått i dette delkapittelet. hensikten med dette er å få oversikt over hva som eksisterer for å se om noen av løsningene kan anvendes til Dolphin sky. Løsninger fra flyvende biler, persondroner, radiostyrte droner og andre luftfartøy vil bli vurdert. Løsningene legges frem med et bilde samt forklarende tekst og fordeler og ulemper ved den gitte løsningen.

#### 4.6.1 Sammenfoldingsmetoder for propellene

Det er tatt med fem løsninger for sammenfolding av propeller. Alle løsningene er forskjellige og har sine fordeler og ulemper. Det finnes flere løsninger enn det som er presentert nedenfor, men det har måtte blitt tatt en vurdering av hvilke som er mest relevant samt at det ikke er nødvendig å presentere mange utgaver av lignende løsninger.

##### Pal-V Liberty bakpropell:

Pal-V Liberty er utstyrt med en bakpropell som sammenfolder seg. Hvert av de to bladene er hengslet slik at utstrekningen av bladene halveres når den ikke er i bruk. Den vil ha behov for en type mekanisme som bretter inn propellene, men kan bruke sentrifugalkraft til å brette de ut.



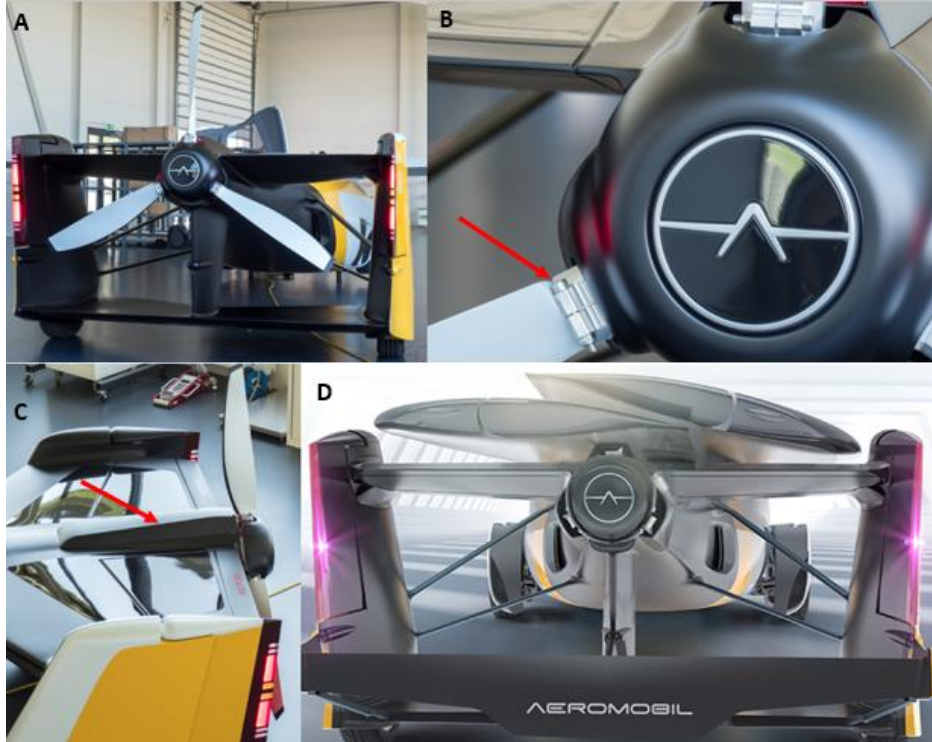
Figur 26: bilde som viser sammenfoldet bakpropell på Pal-V Liberty. [17]

Tabell 13: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til Pal-V libertys sammenfoldingsmetode for bakpropellen.

Fordeler
Meget plassbesparende i langsgående retning
Relativt like komplisert innbrettingmekanisme, kan løses ved hjelp av fjærer
Robust i propellens skyveretning
Kostnadseffektiv løsning
Veier lite
Ulemper
Ikke optimalt plassbesparende i horisontal og vertikal retning
Stiller større krav til leddene ettersom at de blir lastoverførende
Krever en mekanisme for å holde propellene i riktig posisjon under flyving
Hengslene gjør at det effektive skyveområdet på propellene minkes, Total lengden på propellene må være lengere

### Aeromobil 4.0 bakpropell:

Aeromobil har en bakpropell der hvert av bladene er hengslet og foldes innover i karosseriet av bilen. Bilen har tre luker (en til hvert propellblad) som åpnes opp når propellene foldes innover. Propellene brettes inn under lukene og lukkes dernest slik at Propellene blir fullstendig bortgjømt under disse lukene.



Figur 27: Bilder av Aeromobil 4.0 bakpropell Som viser utslått propell på bilde A, deretter hengsel indikert av rødpil på bilde B, bilde C viser en av lukene og bilde D viser sammenslått propell. [19] [50]

Tabell 14: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til Aeromobil 4.0 sin sammenfoldingsmetode for bakpropellen.

Fordeler
Propellene blir fullstendig bortgjømt
Estetisk appellerende
Ulemper
Krever motorer/elektriske komponenter for folding av propeller og luker
Dyr løsning
Veier mye
All skyvekraften overføres i hengslene
Komplisert løsning

### Propeller fra radiostyrte droner:

Sammenleggbare radiostyrte droner er vanligvis utstyrt med propeller der bladene er hengslet slik at de kan foldes inn over propellarmen. Bladene må manuelt utbrettes og utbrettes. I flyvetilstand holdes de utbrettet ved hjelp av sentrifugalkraft. Dersom denne type løsning skal benyttes på dolphin sky vil det kreves en mekanisme som låser bladene i riktig posisjon da rotasjons hastigheten og kreftene involvert vil kunne riste løs propellene hvis vekten ikke er korrekt fordelt. Det vil også være fordelaktig om det tilføyes en form for fjære-mekanisme som hjelp til å sammenfolde bladene etter endt flyving.



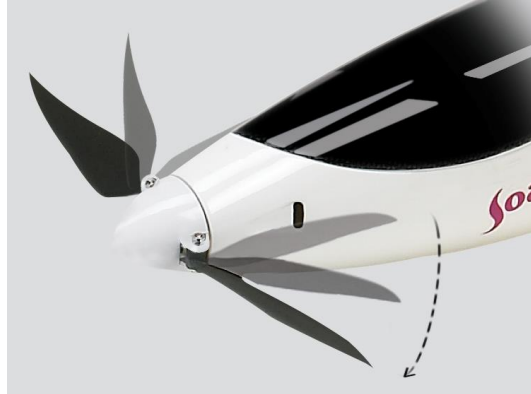
Figur 28: sammenleggbare propeller fra radiostyrte droner med to blader vist på bilde A og tre blader vist bilde B. [51] [52]

Tabell 15: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til sammenfoldingsmetoden for propeller på radiostyrte droner.

Fordeler
Plassbesparende
Billig
Relativt lite komplisert
Lav vekt
Ulemper
Hengslene må overføre krefter
Må implementere to nye mekanismer
Kan være risikabelt ettersom at konstruksjonen i utgangspunktet ikke har lik avstand mellom propellene

### Propell fra Thunder Tiger Soaring Star II:

Thunder Tiger Soaring Star II er et radiostyrt seilfly med en sammenleggbar propell som fungerer på lik måte som Aeromobil ved at det er hengslede blader som foldes innover mot karosseriet. Løsningen har derimot ikke luker og må justeres manuelt. Dersom en variant av denne skal benyttes til dolphin sky vil det måtte implementeres en mekanisme som justerer sammenfoldingen av bladene.



Figur 29: Propell fra seilflyet Thunder tiger soaring star II. Bilde viser hvordan propellbladene foldes inn og ut fra karosseriet. [53]

Tabell 16: tabell med oversikt over fordelene og ulemperne til sammenfoldingsmetoden for propellen på Thunder tiger soaring star II.

<b>Fordeler</b>
Plassbesparende
Estetisk appellerende
<b>Ulemper</b>
Må implementere mekanismer for sammenfolding og utfolding av propellblader
Vil sannsynligvis kreve egen motorkraft for justering av propellene
Hengslene blir kraftoverførende

### Propell fra Carat motorseilfly:

Motorseilflyet Carat har en lignende løsning som Soaring star II bortsett fra et propellbladene foldes utover. Dette kan være gunstig dersom det ikke er plass til at bladene plasseres langs karosseriet. Løsningen har tilsynelatende en justeringsmekanisme som krever en form for motorkraft. Denne sammenfoldingsmekanismen vil også kreve en låsemekanisme slik at propellene ikke klappes sammen under flyving.



Figur 30: Sammenleggbar propell fra motorseilflyet Carat. Propellen sammenfoldedes utover. [54]

Tabell 17: tabell med oversikt over fordelene og ulemperne til sammenfoldingsmetoden for propellen på Carat motorseilfly.

Fordeler
Meget plassbesparende i horisontal og vertikal retning
Gunstig dersom karosseriet eller propellarmen viser seg å være tykt
Ulemper
Opptar mye plass i langsgående retning
Vil sannsynligvis kreve motorisert justeringsmekanisme
Dyr løsning
Veier antageligvis for mye
Krever låsmekanisme
Minst estetisk løsning

#### 4.6.2 Sammenfoldningsmetoder for Propelloppheng.

For å se hvilke løsninger som eksisterer for sammenfolding av propelloppheng er det tatt med syv ulike løsninger. Løsningene er hentet fra andre konsepter for flyvende biler, persondroner samt radiostyrte droner ettersom at sammenfolding er svært utbredt i slike luftfartøy. De utvalgte løsningene skal være unike og skal alle ha sine fordeler og ulemper.

### Opphengsammenfolding fra Terrefugia TF-X:

TF-X har en type vingekonstruksjon med propeller på endene. Vingene er hengslet slik de kan foldes ned på sidene når de ikke er i bruk. Vingeeendene med propellene plasseres under luker når vingene sammenfoldes. Dolphin sky kommer til å ha flere opphengsarmer enn denne løsningen, så det kan være komplisert å benytte denne uten at den dekker til dører, vindu osv. I tillegg gjør lukene løsningen unødvendig komplisert.



Figur 31: Bilde som viser sammenfolding av opphengsarmer på flyvebilkonseptet Terrefugia TF-X. [16]

Tabell 18: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til sammenfoldingsmetoden for propelloppenget på Terrefugia TF-X.

<b>Fordeler</b>
Relativt enkel sammenfoldingsmekanisme
God plassbesparing
Tillater plass for nød-fallskjerm
<b>Ulemper</b>
Unødvendig komplisert lukefunksjon
Trenger motorkraft til lukene, dyrere, veier mer
Kan være vanskelig å benytte dersom kjøretøyet har flere propellarmer
Hengsler i armene blir lastoverførende



**Pal-V Liberty rotorløsning:**

Pal-V Liberty har en rotor som foldes ned på taket av kjøretøyet når den ikke er i bruk. Mekanismen er noe komplisert satt sammen, men til gjengjeld er den meget plassbesparende og vil ikke komme i veien for dører. Denne løsningen er riktignok laget for en rotor men det kan tenkes at det er mulig å tilpasses den for et oppheng med flere armer.



Figur 32: Sammenfolding av rotoren til flyvebilen Pal-V Liberty. [55]

Tabell 19: tabell med oversikt over fordelene og ulemene til sammenfoldingsmetoden for rotoren på Pal-V Liberty.

<b>Fordeler</b>
Meget god plassbesparing
kommer ikke i veien for andre funksjoner
<b>Ulemper</b>
Komplisert løsning
Må tilpasses for å kunne fungere med flere propellarmar
Flere ledd og hengsler som må overføre last
Må tilpasses for å få plass til nød-fallskjerm



### Sammenfolding av oppheng for Workhorse Surefly:

Workhorse Surefly er en persondrone med fire propellarm og to motroterende propeller på hver arm. Hver arm er hengslet og foldes ned på siden slik som Terrefugias løsning. Den har derimot ingen luker som propellene kan oppbevares i. Ut i fra bildene å bedømme kan dekker propellene for dørene når de er foldet ned. Dette tilsier passasjerene må forlate kjøretøyet før armene kan nedfoldes noe som antyder at det må gjøres manuelt. Dette forenkler riktignok løsningen ettersom at det ikke kreves motorkraft for nedfoldning, men det går på bekostning av funksjonen. Dersom løsningen skal anvendes på Dolphin sky må den tilpasses slik at man kan lettere folde ned propellene slik at man kan kjøre på veien og parkere i en garasje uten å måtte forlate bilen.



Figur 33: Persondronen Workhorse Surefly med propelloppheng som foldes ned på siden av kjøretøyet. [56]

Tabell 20: Tabell med oversikt over fordelene og ulempene til sammenfoldingsmetoden for opphenget på Workhorse Surefly.

Fordeler
Lite komplisert løsning
Billig
Veier lite
Plassbesparende
Tillater plass for nød-fallskjerm
Ulemper
Vanskelig å anvende på kjøretøy med bil- og flyvefunksjon
Blokkerer for dører
Hengsler blir lastoverførende

**Keyshare Kimon:**

Keyshare Kimon er en radiostyrt drone med fire armer som hvert har en propell. Dronen har en sammenfoldingsmekanisme som gjør at den kan komprimeres for å lettere fraktes. Hver arm har ett ledd på undersiden av dronen slik at armene kan roteres mot en side og opptar dermed mindre plass. Ved anvendelse av denne løsningen på dolphin sky vil det måtte implementeres en låsmekanisme for å sørge for at armene holder seg ved riktig posisjon under flyving. Løsningen vil også kunne flyttes til toppen av kjøretøyet dersom det er ønskelig.



Figur 34: Bilde viser sammenfolding av propellarmene til RC-dronen Keyshare Kimon. [57]

Tabell 21: Tabell med oversikt over fordelene og ulempene til sammenfoldingsmetoden for propellarmene på Keyshare kimon.

Fordeler
Enkel løsning
Estetisk appellerende
Tillater plass for nød-fallskjerm
Ulemper
Opptar for mye plass i sammenfoldet tilstand
Krever låsmekanisme
Hengsler tar opp last

**Zerotech Dobby:**

Zerotech Dobby er en RC-drone som har en litt annen løsning på sammenlegging av propellarmene. Den har hengsler slik som Kimon dronen men armene foldes istedenfor innover mot midten og blir fullstendig gjemt bort under en kant. Denne løsningen vil muligens kunne tilpasses Dolphin Sky, men det avhenger av nødvendig lengde på propellarmene. Dersom lengden viser seg å være for stor kan det hende at armene ikke lar seg sammenfolde på denne måten.



Figur 35: Bildet viser sammenfolding av propellarmene til RC-dronen Zerotech doobby. [58]

Tabell 22: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til sammenfoldingsmetoden for propellarmene på Zerotech doobby.

<b>Fordeler</b>
Propellarmene blir fullstendig bortgjemt
Armene vil ikke tildekke dører o.l.
Relativt enkel løsning
Tillater plass for nød-fallskjerm
<b>Ulemper</b>
Kan bare brukes dersom propellarmene ikke er for lange
Hengsler overfører krefter

**Nine Eagles Mola X 1.0:**

Mola X 1.0 er en RC-drone utviklet av Nine Eagles. Dronen har en unik løsning på sammenfolding. Den har fire propeller der en propell er montert i hver ende av armene. Det er to armer en øverst og en nederst. Ved utfolding roteres en av armene slik at de står vinkelrett i forhold til hverandre og når de er sammenfoldet ligger de i flush på hverandre. Det kan tenkes at ettersom at propellene ikke ligger i samme høyde vil dette gå ut over stabiliteten i luften. I tillegg vil det kreve en form for låsmekanisme som holder propellene i riktig posisjon dersom denne type løsning skal brukes i Dolphin sky. Totallengden på konstruksjonen vil sannsynligvis også måtte være noe lengere selv i sammenfoldet stilling på grunn av utformingen til løsningen.



Figur 36: Bildet viser Nine Eagles mola X 1.0 sin unike sammenfoldingmetode. [59]

Tabell 23: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til sammenfoldingmetoden for Nine Eagles mola X 1.0.

Fordeler
Estetisk appellerende
Unikt design
Muliggjør robust armkonstruksjon
Tillater plass for nød-fallskjerm
Lite komplisert sammenfoldingmetode
Ulemper
Potensielt ustabil i luften
Gjør totallengden på bilen større
Halve skyvekraften overføres gjennom ett ledd
Krever låsmekanisme

**Pop.up modulløsning:**

Pop.up har en løsning som er modulbasert. Den er strengt tatt ikke sammenfoldbar, men er også et alternativ som kan benyttes for å spare plass når kjøretøyet er i bilmodus. Når bilen ikke skal fly kan hele proppelloppenget tas av. Dette vil da kreve en meget robust låsmekanisme slik at opphenget ikke kommer løs når bilen flyver. I tillegg vil dette kunne by på logistiske problemer dersom man ikke har propelloppenget ikke er tilstede når føreren vil benytte flyve funksjonen. Det vil dermed også kreve noe teknologi som gjør at opphengsmodulen kan fly til bilens posisjon på egenhånd. Denne løsningen vil også være problematisk ved parkering i en garasje.



Figur 37: bilde som viser flyvebilkonseptet Pop.up sin modulløsning. [60]

Tabell 24: tabell med oversikt over fordelene og ulempene til modulløsningen for Pop.up.

<b>Fordeler</b>
Opphenget er avtakbart og opptar dermed ingen plass under kjøring
Tillater plass for nødsfallsskjerm
<b>Ulemper</b>
Krever meget robust låsmekanisme
Krever at opphengsmodulen er selvkjørende og kan spore bilens posisjon
Dyr løsning
Opptar for mye plass dersom bilen parkeres med påmontert oppheng

## 4.7 Oppsummering og tidlig vurdering av tekniske prinsipper

Hensikten med å undersøke andre løsninger er for å se hva som eksisterer for å vurdere om noen av løsningene kan anvendes Dolphin sky.

For å gjennomføre denne evalueringen benyttes det innledede av første fase i Pughs metodikk. Det innebærer at det etableres noen kriterier som de ulike løsningene skal vurderes etter. Og deretter gis de en karakter etter hvor godt de oppfyller kriteriene. Skalaen for bedømmingen vil være +1, 0 eller -1. Der +1 betyr godt, 0 vil være middels god og -1 vil være lite godt.

Kriteriene løsningene skal bedømmes etter vil være som følger:

**Kompleksitet:** Løsninger med få deler, enkle mekanismer og ikke krever ekstra komponenter for å fungere vil få et godt resultat.

**Bruk:** Løsninger som utfører hovedfunksjonen sin på en god måte og løsninger som ikke kommer i veien andre nødvendige funksjoner vil få et godt resultat.

**Gjennomførbarhet:** Løsninger som benyttes i virkelige luftfartøy eller løsninger som kan lett anvendes til Dolphin sky vil få et godt resultat.

Løsningene som kommer godt ut av bedømmingen vil være med videre i en senere utvelgelsesprosess.

Tabell 25: Tidlig vurdering av aktuelle løsninger

Sammenfoldingsmetoder for propeller				
Løsning	Kompleksitet	Bruk	Gjennomførbarhet	Sum
Pal-V Liberty bakpropell	+1	+1	+1	3
Aeromobil 4.0 bakpropell	-1	0	+1	0
Propell fra radiostyrte droner	0	+1	0	1
Propell fra Thunder Tiger soaring starr II	-1	-1	+1	-1
Propell fra Carat motorseilfly	-1	-1	+1	-3
Sammenfoldingsmetoder for propelloppheng				
Løsning	Kompleksitet	Bruk	Gjennomførbarhet	Sum
Opphengsammenfolding for Terrefugia TF-X	-1	+1	0	0
Pal-V Liberty rotorløsning	-1	+1	0	0
Oppheng for Workhorse Surefly	+1	-1	+1	1
Keyshare kimon	+1	0	0	1
Zerotech doobby	+1	+1	0	2
Nine Eagles mola X 1.0	-1	-1	-1	-3
Pop.up	-1	+1	-1	-1

## 5 Produktspesifisering

Dette kapitlet tar for seg hvilke krav og egenskaper opphenget skal utvikles etter. Hensikten med dette er å få oversikt over alle nødvendige krav samt ønsker fra kunder slik at produktet kan lettere utvikles med disse målsetningene i grunn. På bakgrunn av PDS i pugh's metodikk er det også ønskelig at kravene som stilles er kvantifiserbar dersom det er mulig. På denne måten vil det være lettere å avgjøre om produktet har oppfylt kravene i ettertid.

### 5.1 Produktmålsetting

Hovedmålsettingen for produktet er som tidligere nevnt å utvikle et sammenfoldbart propell- og thrustersystem for Dolphin sky slik at propellene og thrusterne ikke opptar unødig plass ved parkering eller ved kjøring på vei. Dolphin Sky ble opprinnelig utviklet som et svar på et mer miljøvennlig kjøretøy. Det vil derfor være viktig å ivareta dette fokuset ved utviklingen av propellsystemet.

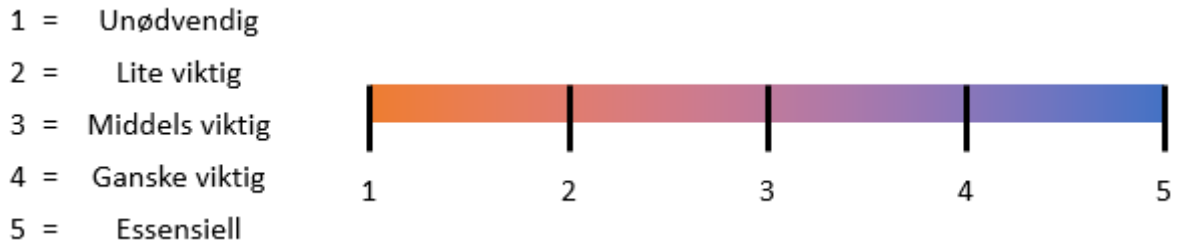
For å kunne oppnå hovedmålsettingen for produktet vil det være viktig å definere noen delmål og krav som opphenget bør oppfylle. Disse er listet opp i tabellen nedenfor.

Tabell 26: oversikt over produktets delmål og krav.

Sikkerhet
Konstruksjonen skal være tilstrekkelig dimensjonert
Det skal tilrettelegges for nødvendig sikkerhetsutstyr
Opphenget skal utstyres med ekstra propeller og motorer slik at den holder seg i luften selv om noe svikter
Opphenget skal festes til rammekonstruksjonen på en sikker måte
Teknologi
Opphenget skal la seg sammenfolde slik at det opptar lite plass ved kjøring og parkering
Opphenget skal tilrettelegges for montering av propeller, motorer og alt annet av nødvendig utstyr
Opphenget skal ikke unødvendig stort eller komplisert
Opphenget skal være lav av vekt
Bruk
Konstruksjonen skal være aerodynamisk
Opphenget skal tilrettelegges for god stabilitet samt effektforbruk i luften
Økonomi
Produktet skal ha en rimelig pris
Produksjon
Det skal benyttes rimelige, lette og miljøvennlige materialer
Det skal benyttes kostnads- og energieffektive produksjonsmetoder
Estetikk
Opphenget skal ha et appellerende utseende slik at det blir mer attraktivt for kunder

### 5.2 Rangering av viktige produktegenskaper

Ut fra målsetningene i delkapitlet 5.1 velges det noen produktegenskaper som det er ønskelig at opphenget skal ha. Disse egenskapene rangeres mellom 1-5 etter hvor viktig de er. Der 1 er minst viktig og 5 er mest viktig. Dette blir gjort fordi det kan tenkes at produktet ikke nødvendigvis kan oppfylle alle målsetninger og dermed må man vite hvilke som skal prioriteres. Rangeringen av egenskapene vil også bli brukt til å velge mellom ulike mulige løsninger senere i prosjektet. Til å forklare hva de ulike graderingene betyr er det lagt ved en målestokk.



Figur 38: Målestokk som illustrerer de ulike graderingene for vektning.

I tabellen nedenfor er de ulike målsetningene for produktet som ble definert i del kapittel 5.1 vektet etter grad av viktighet. Egenskapene er vektet etter skalaen gitt av målestokken ovenfor.

Tabell 27: Rangering av viktige produktegenskaper

Egenskap	Vekting
Sikkerhet	5
Teknologi	4
Bruk	5
Økonomi	2
Produksjon	3
Estetisk	1

### 5.3 Metriske grensespesifikasjoner

For å kunne fastsette grensespesifikasjonene for opphenget er det først måtte blitt kartlagt relevante spesifikasjoner på lignende løsninger fra konkurrenter for å se hva som er vanlig for en slik konstruksjon. Der relevante mål ikke er tilgjengelig fra konkurrenter vil det bli benyttet en rekke andre avgjørende faktorer slik som vanlig veibredde/parkeringsplassbredde, garasje- eller tunnelhøyde og resultater fra andre masteroppgaver tilknyttet Dolphin sky for å bestemme grensespesifikasjonene.

Noen av grensespesifikasjonene er basert på tidlige estimat på målene for rammen fra Thomas andre møller Magnussen sin masteroppgave. Dette gir en ekstra usikkerhet da det kan forekomme endringer i løpet av prosjektet.

Seleksjon av antall propellarmer samt motor konfigurasjon vil forekomme i kapittel 6 og 7, men det antas at sluttresultatet vil ha 4-6 armer. Det velges derfor å kun benytte grensespesifikasjoner fra konkurende løsninger med en tilsvarende sammenstilling og omtrentlig samme personkapasitet som Dolphin sky.


Propelldimensjon vil på dette stadiet ikke bli evaluert da det avhenger av antall propellblader, antall propeller, propelltype, bærelast og nødvendig effekt. Flere av disse faktorene bestemmes eller beregnes ved et senere stadiet noe som da vil gi grunnlag for å bestemme dimensjonen på propellene.

Ettersom at løsningene er noe forskjellig sammensatt vil den samlede dataen inneha en grad av usikkerhet. Resultatet av innsamlingen vil dermed kun brukes som et grovt estimat for å bestemme grovspeksifikasjonene til Dolphin Sky.


Det har blitt innhentet data fra fire ulike konsepter. Data fra hver av disse presenteres i tabellene nedenfor.




Tabell 28: innhentede grensespesifikasjoner fra persondronen Ehang 184. [61]

Ehang 184	
	
Lengde	Bredde
3989 mm	4024 mm

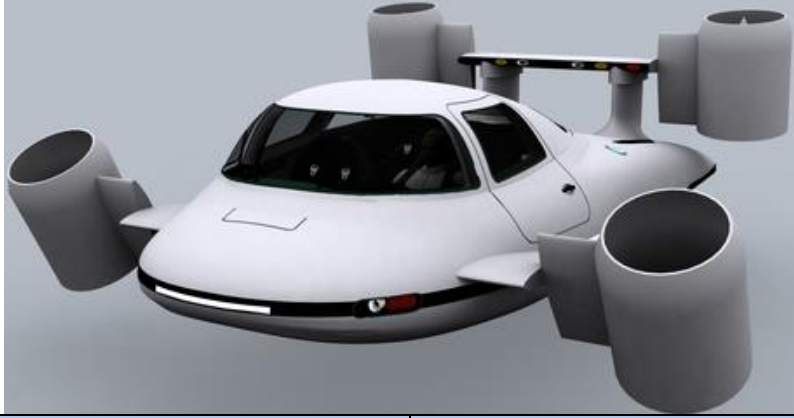
Tabell 29: innhentede grensespesifikasjoner fra konseptet Pop.up. [62]

Pop.up	
	
Lengde	Bredde
4400 mm	5000 mm

Tabell 30: innhentede grensespesifikasjoner fra konseptet Bartini. [63]

Bartini	
	
Lengde	Bredde
5200 mm	4500 mm

Tabell 31: innhentede grensespesifikasjoner fra konseptet SkyRider X2R. [64] [65]

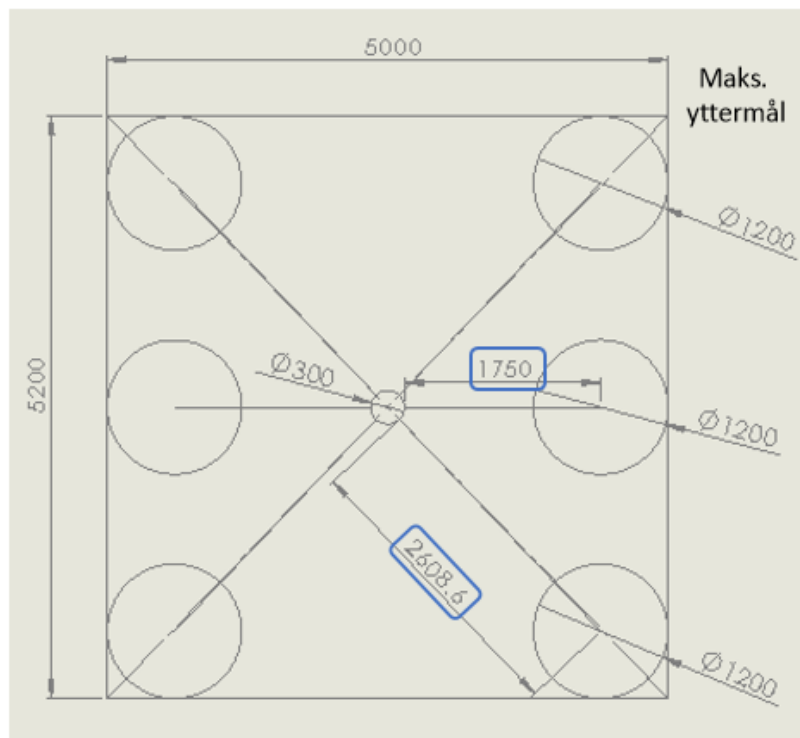
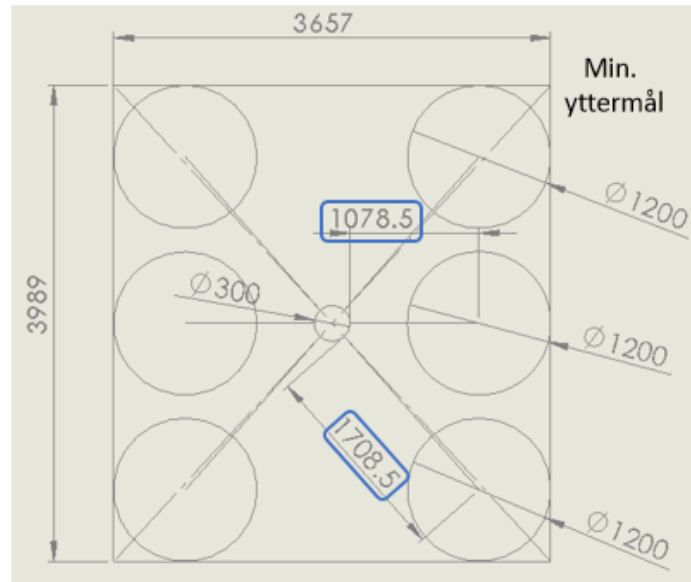
SkyRider X2R	
	
Lengde	Bredde
4257 mm	3657 mm

For å kunne estimere omtrentlige mål på propellarmene ble det først tegnet to rektangler med målene funnet fra konkurrerende løsninger. Disse rektanglene skulle representere det ytterste målet konstruksjonen eller noen av dens tilhørende komponenter kunne strekke seg til. For å forenkle estimatet ble det bestemt at alle relevante komponenter skulle ligge i XY-planet slik de tar mest plass i horisontal retning.

Det ble antatt at kapselen til en ballistisk fallskjerm vil være omtrentlig 300 mm i diameter og at denne skulle plasseres i senterpunktet av konstruksjonen.

Ut fra beregningene i Anders Thømts oppgave konkluderte han at diameteren på propellene skulle være 1,2 m. Dette tallet er selvsagt avhengig av en rekke faktorer som er mulig at endres i denne oppgaven, men det velges allikevel å bruke denne for å bestemme grensespesifikasjonene til propellarmene da det er presist nok ved dette stadiet. [15]

Propellene ble plassert i hjørnene og sentret ved hver av sidekantene. På denne måten vil de være mest mulig utstrakt uten at de overtrer yttermålene. Denne plasseringen vil også vise antatt armlengde ved både 6 og 4 armer. For å finne armlengde ble det tegnet inn streker fra senterpunktene av propellene og til ytterkant av fallskjermkapselen i midten og de ble deretter målt opp. Lengden av disse vil utgjøre maksimum og minimumsverdier for armene når de er utfoldet. Tegningene samt verdiene fremhevet med blå ramme er vist i figuren nedenfor.



Figur 39: Tegninger av utredning av grovspefisikasjoner for utfoldede propellarmer. Armens grovspefisikasjoner er fremhevet med blå ramme.

Estimatet av armlengde er svært grovt og avhenger av hvilken løsning som velges i kapittel 7. I tillegg er flere av løsningene som yttermålene er hentet i fra noe større bærekapasitet enn Dolphin Sky. Det er derfor rimelig å anta at kjøretøyene sannsynligvis også er noe større enn det Dolphin sky bør være. En for stor armlengde vil også påvirke vekten og vil gjøre sammenfolding mer komplisert. Dermed bør sluttverdien for armlengde som velges være i den lavere enden av skalaen. Det bør gjøres en stabilitetsberegning for å fastsette målene mer presist ved et senere stadiet.

Grensespesifikasjonene for området konstruksjonen kan oppta i høyderetning bestemmes ut fra standard innkjøringshøyde på en vanlig garasjeport og høydemålene for rammen til Dolphin sky samt estimert høyde for bakkeklaring og understell. Igland garasjen opplyser at standard innkjøringshøyde på deres garasjer er 202 cm, men anbefaler å beregne 4-5 cm mindre i høyden for å sørge til tilstrekkelig klaring. Thomas Andre Møller Magnussen har utredet at høyden på rammen for kjøretøyet vil være på 1300 mm i tillegg estimeres det at bakkeklaringen og understellet vil utgjøre en høyde på omtrentlig 300 mm. Resultatet av disse tallene er at propellkonstruksjonen kan maksimalt oppta 370mm i høyderetning. [66] [67]

For minimumshøyden estimeres det at det vil kreves omtrentlig 300 mm for å få plass til konstruksjonen samt nødvendig utstyr.

Restriksjonene ovenfor gjelder kun i sammenfoldet stilling. Det er dermed ingen konkrete grenser for hvor høy konstruksjonen kan være utfoldet. Totalhøyden til løsningene som ovenfor kan ikke brukes siden tre av løsningene er kun ment som persondroner og har dermed ikke tatt hensyn til nødvendige bilkomponenter. Den siste løsningen oppgir heller ikke totalhøyde ettersom at den er tidlig i konseptfasen. Høydemålene utredet ovenfor velges derfor å bruke til både sammenfoldet og utfoldet stilling.

Når kjøretøyet er i «bilmodus» vil det være nødvendig å sammenfolde propellarmene. Området armene kan oppta i bredderetning begrenses av vanlig veibredde, men først å fremst vanlig parkeringsplassbredde da dette målet er mindre. Statens vegvesen opplyser at vanlige parkeringsplasser bør være 2,5 x 5 meter, men ved parkering langs en veikant er bredden 2 meter inklusivt kantsteinklaringen. Propellkonstruksjonen vil dermed maksimalt være 2 meter i bredden når den er sammenfoldet. [40]

Minste bredden på konstruksjonen settes til å være lik maksbredden til rammen på kabinen. Det vil si 1000 mm. [67]

Lengden av en parkeringsplass er noe lengere enn det som tenkes at Dolphin sky kommer til å bli. Grensespesifikasjonene for lengden når armene er sammenfoldet bestestemmes da ved hjelp av utredningene om rammemålene for Dolphin Sky av Thomas Andre Møller Magnussen. Han kom fram til at kabinen på bilen ville være 2050 mm lang der de fremste 800 mm var avsatt til frontruten. Tyngdepunktet til bilen ble estimert til å være 1200 mm fra fronten. [67]

Ut fra disse opplysningene blir total lengden av bilen inklusivt propellkonstruksjonen i sammenfoldet stilling estimert til å være ca 2400 mm. Tyngdepunktet av bilen vil da kunne bli mest mulig sentrert gitt at massetettheten til bilen er tilnærmet homogent. Ettersom at konstruksjonen ikke må tildekke frontruten, trekke 800 mm fra total lengden. Dette gir at samlet lengde på propellkonstruksjonen i sammenfoldet stilling bør være omtrentlig 1600 mm. Ettersom bilen sannsynligvis ikke har homogen massetetthet gjennom hele, settes det et slingringsmonn på +/- 350 mm med tanke på tyngdepunkts plasseringen. Det vil si at lengden blir 1250-1950 mm.

---

For å estimere vekten er det antatt at det benyttes rektangulære aluminiumprofiler på 100x100 mm som er hule innvendig og har en tykkelse på 5 mm. Armlengdene er som utredet tidligere i delkapittelet. Denne informasjonen benyttes sammen med hjelp av Astrups materialkalkulator for å utrede et grovt vektestimat. [68]

For maksvekten ble bestemt at det skulle være totalt seks propellarmer, to på 1750 mm og fire på 2600 mm. Dette utgjorde en vekt på ca 74 kg ifølge materialkalkulatoren. For å ta diverse andre deler av konstruksjonen med i betraktningen legges det til 25 kg. Det resulterer i at maksvekten vil være ca. 99kg. [68]

Minstevekten ble utredet ved å gå ut i fra at det ville være fire propellarmer der alle var 1708 mm. Vekten dette utgjorde i materialkalkulatoren ble da 36,36 kg. Igjen ble det lagt til 25 kg for å kompensere for div andre konstruksjonsdeler. Resultatet ble da ca. 61 kg. [68]

(motrorer, propeller osv. er ikke tatt med i vektestimat)

Tabell 32: Oppsummering av metriske grensespesifikasjoner

Spesifikasjon	Enhet	Minimum	Maksimum
Antall armer	-	4	6
Maks lengde (inkludert propeller)	mm	3989	5200
Maks bredde (inkludert propeller)	mm	3657	5000
Armlengde utfoldet i xy-plan (hjørne)	mm	1708,5	2608,6
Armlengde utfoldet i xy-plan (side)	mm	1078,5	1750
Høyde sammenfoldet og utfoldet	mm	300	370
Bredde sammenfoldet	mm	1000	2000
Lengde sammenfoldet	mm	1250	1950
Vekt	kg	61	99

#### 5.4 Metriske grovspeifisering for produkttypen

Under dette delkapittelet vil grovspeifiseringene for konstruksjonen bli etablert. Hensikten med dette er å ha et utgangspunkt man kan begynne å Modellere og beregne etter. I tillegg tvinges man tidlig til å sette seg inn i hvordan konstruksjonen skal settes sammen slik at man kan begynne å tenke på mulige løsninger for sammensetningen. Målene vil bli satt på bakgrunn av grensespeifiseringene som ble utredet i forrige delkapittel og ut fra begrunnelse som spesifiseres nedenfor.

Det antas konstruksjonen vil være tilstrekkelig sikker med fire propellarmer og for å forenkle beregninger velges armvinkelen til å være 45 grader. Armlengden settes til 1750 mm da kjøretøyet vil være blant de mindre sammenlignet med konkurrentene. Antatt sveipeområde er satt til 1200 mm slik som utredet i Anders Thømts masteroppgave og den ballistiske fallskjermen er antatt til å være omtrentlig 300 mm i diameter. Disse opplysningene gir at lengden og bredden i utfoldet tilstand vil være ca. 3887 mm. [15]

Bredden og lengden på konstruksjonen sammenfoldet vil sannsynligvis være nært maksimum og settes derfor til 2000 mm og 1950 mm. Høyden på konstruksjonen settes til 350 mm, noe som er i den høyere enden av skalaen men gir allikevel litt klaring dersom man skulle parkere i en standard garasje. Antatt vekt på konstruksjonen settes til 70 kg. Denne verdien velges ettersom at den er litt høyere enn vekten som ble utredet for armer på 1708 mm i grensespeifiseringene.

Antatt bærelast for konstruksjonen vil være 450 kg og er bestemt i samarbeid med Jan Kåre Bøe. Festepunktene mellom propellkonstruksjonen og rammen er satt til 830 x 830 mm. Disse er bestemt valgt etter enighet med Thomas Andre Møller Magnussen. [67]

Samtlige grovspesifikasjoner er samlet i tabellen nedenfor.

Tabell 33: Oversikt over metriske grovspesifikasjoner.

Spesifikasjon	Enhet	Verdi
Antall armer	-	4
Maks lengde (inkludert propeller)	mm	3887*
Maks bredde (inkludert propeller)	mm	3887
Bredde sammenfoldet	mm	2000
Lengde sammenfoldet	mm	1950
Høyde	mm	350
Ballistisk fallskjerm	mm	300
Propelldiameter	mm	1200
Armlengde	mm	1750
Vinkel på propellarmer	Grader	45
Vekt	Kg	70
Festepunktslengde	mm	830
Festepunktsbredde	mm	830
Bærelast	kg	450

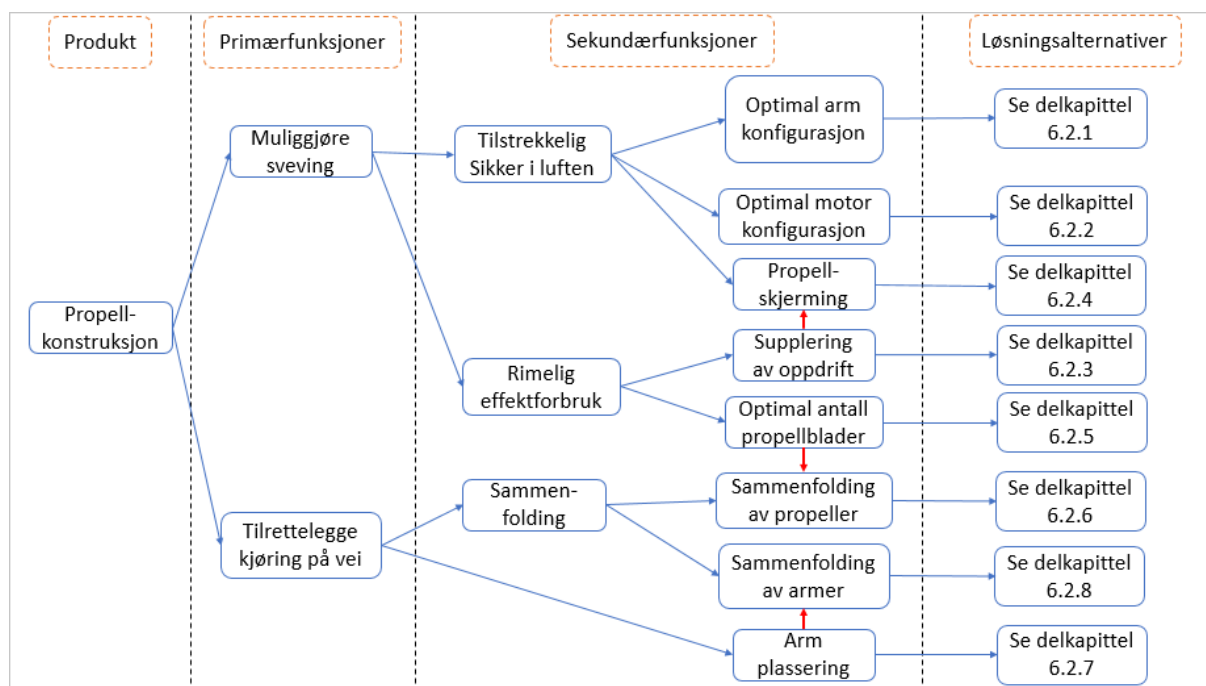
\*spesifikasjonen befinner seg utenfor grensespesifikasjonene gitt av konkurrerende løsninger men anses allikevel å være akseptabel.

## 6 Konseptgenerering

I dette kapitlet vil produktets hensikt bli evaluert og på bakgrunn av det vil det genereres mulige konsepter. Det vil bli satt opp en skjematisk oversikt over hvilke funksjoner produktet bør ha. Disse funksjonene blir deretter brutt ned i sekundærfunksjoner og ved hjelp av SCAMPER blir det generert mulige løsninger på funksjonene.

### 6.1 Funksjonsanalyse for produkttypen

Skjemaet nedenfor er visuell fremstilling av propellkonstruksjonens funksjoner som er utarbeidet etter en funksjonsanalyse. Hensikten med denne analysen er å få fullstendig oversikt over hvilke funksjoner produktet må inneha for å fungere slik som tiltenkt. Analysen er ment til å hjelpe å se hvordan og hvorfor funksjonene satt sammen som de er, noe som skal hjelpe produktutvikleren med å komme på nye alternative løsninger for å dekke funksjonen.



Figur 40: Skjema over funksjonsanalysen for propellkonstruksjonen som viser primær- og sekundærfunksjoner. Skjemaet leses fra venstre mot høyre. Rød pil indikerer at valget av en løsning for en funksjon påvirker hvilke av løsningsalternativene som er mulig å velge for en annen funksjon. Dette medfører at enkelte funksjoner må gjennomgås før andre og dermed presenteres løsningsalternativene i rekkefølgen som vises på skjema. Løsningsalternativene vil bli lagt frem i delkapittel 6.2 ettersom at det ikke er tilstrekkelig plass til alle mulige løsninger på foreliggende skjema.

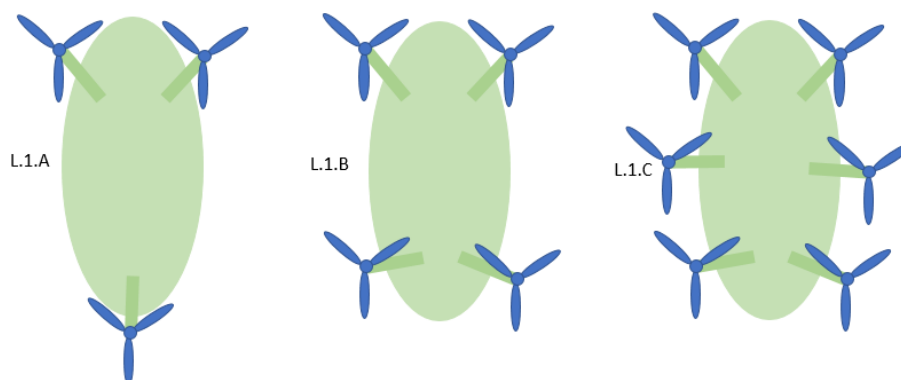
## 6.2 Funksjonsalternativer med skisser

Etter at funksjonsbehovene for propellkonstruksjonen ble etablert ble det benyttet SCAMPER metoden slik som beskrevet i delkapittel 3.3.3. Metoden hjalp til med å bryte ned hver funksjon å prøve å sette det sammen på en ny måte. Ut av dette kom det fram nye løsningsalternativ på funksjoner. I noen tilfeller så man at nye sammensetninger ikke var gjennomførlig og dermed var man nødt til å ty til mer kjente løsninger, men fikk bedre forståelse over hvorfor enkelte funksjoner var satt sammen på den måten de var.

Resultatet av dette var at funksjonene som ble etablert i funksjonsanalyse fikk alle noen løsningsalternativ. Disse alternativene presenteres nedenfor. Alle løsningene er delt opp i hver sitt delkapittel som tilhører en spesifikk funksjon.

Alternativene legges frem ved hjelp av enkle skisser og en tabell som beskriver kort fordelene og ulempene ved hver løsning.

### 6.2.1 Arm konfigurasjon



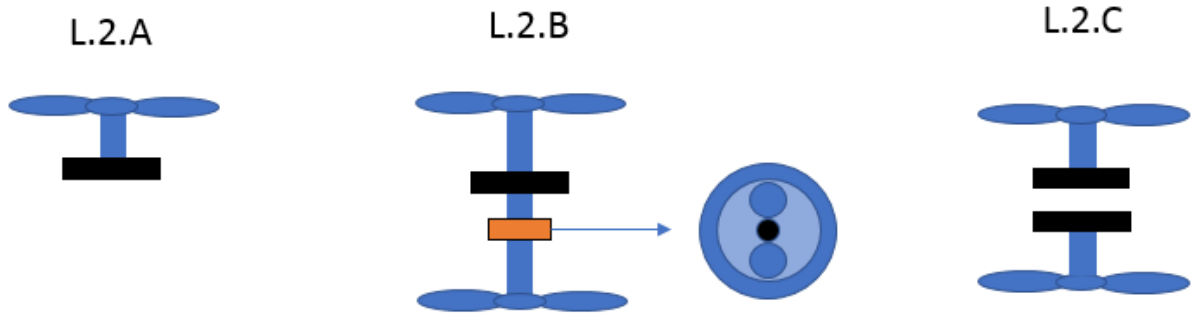
Figur 41: Løsningsalternativ for arm konfigurasjon. L.1.A: tre armer, L.1.B: fire armer, L.1.C: seks armer.

Tabell 34: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for armkonfigurasjon

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.1.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lite kompleks, mekanisk</li> <li>• Gir god plass for sammenfoldingsmekanismer</li> <li>• Gir plass til ballistisk fallskjerm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen løftekraft dersom en propellarm svikter</li> <li>• Usymmetrisk</li> <li>• Krever propeller med stort sveipeområde</li> </ul>
L.1.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Symmetrisk</li> <li>• Relativt lite kompleks mekanisk</li> <li>• Gir plass til ballistisk fallskjerm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubalansert løftekraft dersom en arm svikter</li> </ul>
L.1.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Symmetrisk</li> <li>• Ivaretar løftekraft selv om en arm svikter</li> <li>• Gir plass til ballistisk fallskjerm</li> <li>• Propeller krever mindre sveipeområde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompleks løsning</li> <li>• Mindre plass for sammenfoldingsmekanismer</li> </ul>



## 6.2.2 Motor konfigurasjon

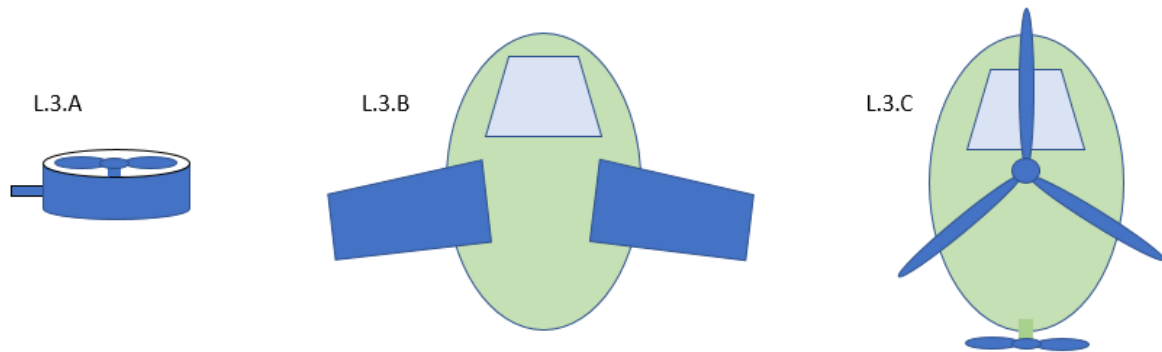


Figur 42: Løsningsalternativ for motorkonfigurasjon. L.2.A: En propell med en motor, L.2.B: Mot-roterende propeller med en motor og planetgir, L.2.C: Mot-roterende propeller med to motorer.

Tabell 35: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for motorkonfigurasjon

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.2.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lite kompleks løsning</li> <li>• Lav vekt</li> <li>• Lav pris</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gir ingen løftekraft dersom motoren svikter</li> <li>• Krever stor motor og propell</li> </ul>
L.2.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever propeller med mindre sveipeområde</li> <li>• Lite kompleks elektrisk</li> <li>• Mot roterende propeller vil utligne torsjon grunnet drivmomentet som vil opptre i armene</li> <li>• Ivaretar løftekraft dersom en propell svikter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gir ingen løftekraft dersom motoren svikter</li> <li>• Krever stor motor</li> <li>• Noe kompleks mekanisk</li> </ul>
L.2.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever propeller med mindre sveipeområde</li> <li>• Ivaretar løftekraft dersom en motor svikter</li> <li>• Mot roterende propeller vil utligne torsjon grunnet drivmomentet som vil opptre i armene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noe kompleks elektrisk</li> <li>• Dyr løsning</li> </ul>

## 6.2.3 Supplering av oppdrift

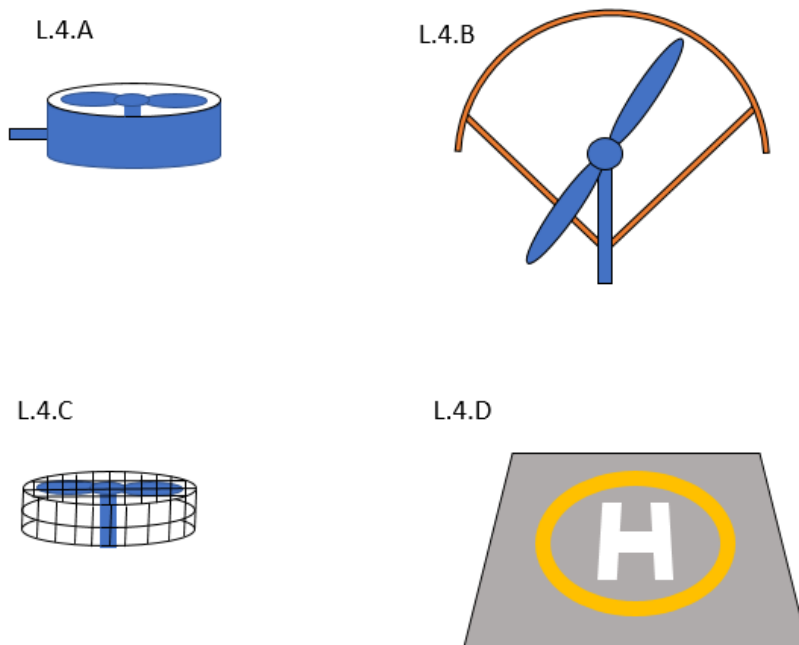


Figur 43: Løsningsalternativ for supplering av oppdrift. L.3.A: Dyser, L.3.B: vinger, L.3.C: autogyro.

Tabell 36: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for supplering av oppdrift.

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.3.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skjerner propellene samtidig som løftkraften økes</li> <li>• Relativt enkel løsning</li> <li>• Krever ingen ekstra motor</li> <li>• Minker støy fra propellene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil skape problemer under horisontal flyging, luftmotstand, dysene vil trekke kjøretøyet ut av balanse da oppdrift vil forekomme langs endekantene av dysen.</li> <li>• Dysene vil måtte kunne sammenlegges</li> </ul>
L.3.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muligheter for å kombinere med propellarmer</li> <li>• Krever ingen ekstra motorkraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil kunne skape luftmotstand ved vertikal flyging</li> <li>• Må kunne sammenlegges</li> <li>• Kan muligens føre til ubalansert løftkraft ved kombinerings av armene ettersom at angrepsvinkelen mot luftstrømmen blir forskjellig</li> </ul>
L.3.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan muligens kombineres med propellene og vil dermed bare kreve en motor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil kreve en motor som sørger for fremdrift</li> <li>• Kompleks løsning</li> <li>• Ingen effektiv løftkraft dersom fremdriftsmotoren svikter</li> </ul>

## 6.2.4 Propellskjerming



Figur 44: Løsningsalternativ for propellskjerming. L.4.A: Dyser, L.4.B: Beskyttende halvsirkel, L.4.C: bur, L.4.D: Avsatt landing/lettings-område (helipad).

Tabell 37: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for propellskjerming.

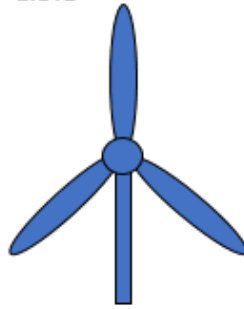
Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.4.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skjermer propellene samtidig som løftekraften økes</li> <li>Relativt enkel løsning</li> <li>Minker støy fra propellene.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vil skape problemer under horisontal flyging, luftmotstand, dysene vil trekke kjøretøyet ut av balanse da oppdrift vil forekomme langs endekantene av dysen.</li> <li>Dysene vil måtte kunne sammenlegges</li> <li>Ingen skjerming under/over</li> </ul>
L.4.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vil skape mindre problem under flyging sammenlignet med dyser</li> <li>Lav vekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skjermer bare på en side</li> <li>Vil også kreve sammenleggingmekanisme</li> </ul>
L.4.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gode skjermingsegenskaper</li> <li>Vil ikke skape problemer ved flyving</li> <li>Lav vekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vil kreve sammenlegging noe som kan være problematisk ettersom at buret er heldekkende</li> </ul>
L.4.D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Krever ingen ekstra mekaniske eller elektriske komponenter på kjøretøyet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nedsatt funksjonsområde da kjøretøyet må lande og lette på en bestemt plass</li> </ul>

## 6.2.5 Antall propellblader

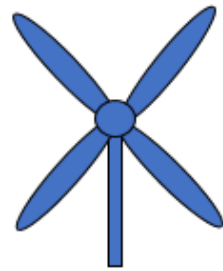
L.5.A



L.5.B



L.5.C

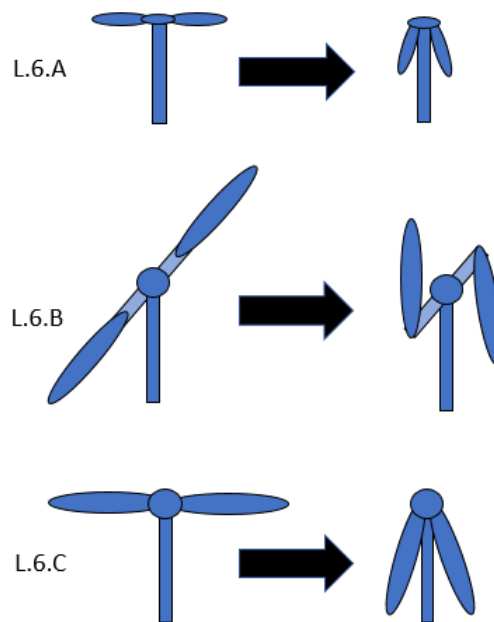


Figur 45: Løsningsalternativ for propellskjerming. L.5.A: To blader, L.5.B: Tre blader, L.5.C: Fire blader.

Tabell 38: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for antall propellblader.

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.5.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompatibel med samtlige sammenleggingsmetoder</li> <li>• Lav kompleksitet</li> <li>• Lav pris</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever større sveipeområde (eventuelt større rotasjonshastighet) for å yte samme effekt</li> </ul>
L.5.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mer robust enn to propeller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noe problematisk å sammenfolde</li> </ul>
L.5.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever lite sveipeområde</li> <li>• lav rotasjonshastighet</li> <li>• robust løsning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil kreve motor med stort moment</li> <li>• Problematisk å sammenfolde</li> <li>• Kompleks</li> <li>• Dyr løsning</li> </ul>

## 6.2.6 Sammenfolding av propeller

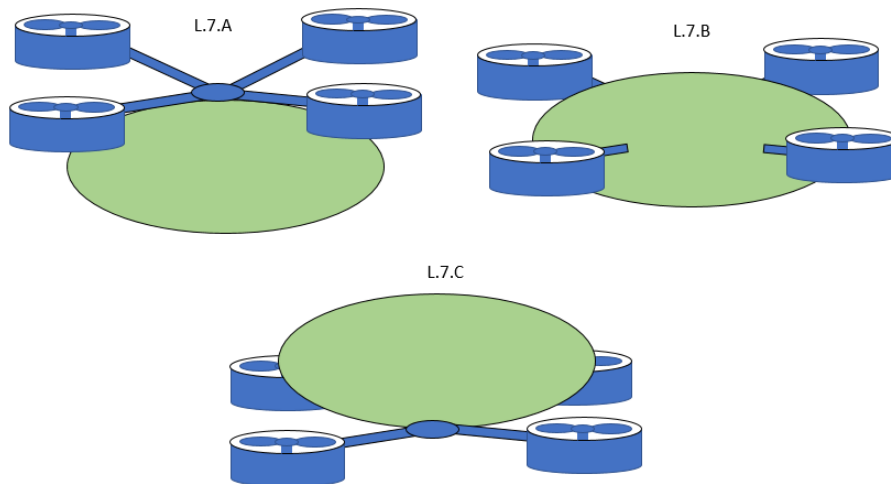


Figur 46: Løsningsalternativ for sammenfolding av propeller. L.6.A (sett fra siden): Sammenfolding nedover, L.6.B (sett ovenfra): blader med ledd, L.6.C (sett ovenfra): blader med viftelignende sammenfolding.

Tabell 39: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for sammenfolding av propeller.

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.6.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meget plassbesparende</li> <li>• Kan muligens bruke sentrifugalkraft for utfolding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil kreve lang aksellengde for å ikke kollidere med motor</li> <li>• Problematisk dersom det skal benyttes mot- roterende propeller</li> <li>• Vil muligens kreve låsmekanisme</li> </ul>
L.6.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utfoldingsmekanismen kan være fullstendig mekanisk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever større sveipeområde</li> <li>• Mindre plassbesparende enn alternativene</li> </ul>
L.6.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lite komplisert løsning</li> <li>• Også kompatibel med tre propellblader</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil muligens kreve låsmekanisme</li> <li>• Vil kreve elektrisk sammenfoldingsmekanisme</li> </ul>

## 6.2.7 Arm plassering

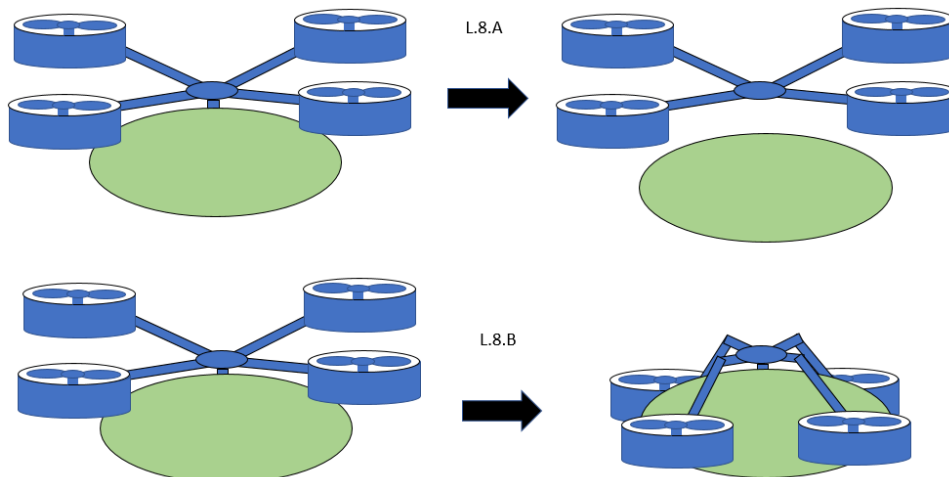


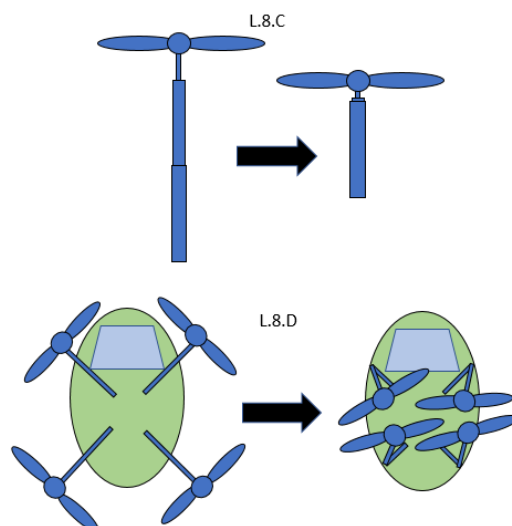
Figur 47: Løsningsalternativ for armplassering. L.7.A: Plassering på toppen, L.7.B: plassering på midten, L.7.C: plassering på bunnen.

Tabell 40: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for arm plassering.

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.7.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• God stabilitet under flyving</li> <li>• Gir god plass for sammenfolding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festepunktene til rammen er mer belastet</li> </ul>
L.7.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estetisk appellerende</li> <li>• Totalhøyden på konstruksjonen bil lavere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armene kan komme i veien for dører</li> <li>• Festepunktene til rammen er mer belastet</li> <li>• Færre muligheter for sammenfolding</li> </ul>
L.7.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• God plass til sammenfolding</li> <li>• Festepunktene til rammen er mindre belastet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ustabil flyving</li> <li>• Kan være vanskelig å kombinere med understell til bil</li> </ul>

## 6.2.8 Sammenfolding av Armer





Figur 48: Løsningsalternativ for armplassering. L.8.A: avtakbar modul, L.8.B: sammenfolding langs sidene, L.8.C: Teleskopering, L.8.D: sammenfolding innover.

Tabell 41: Fordeler og ulemper ved løsningsalternativene for arm plassering.

Løsn.alt.	Fordeler	Ulemper
L.8.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lite komplisert mekanisk</li> <li>• Meget plassbesparende</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan føre til logistiske problemer</li> <li>• Vil muligens kreve komplisert programvare</li> <li>• Kan føre redusert bruksområde</li> </ul>
L.8.B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plassbesparende</li> <li>• Estetisk appellerende</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplisert mekanisk løsning</li> <li>• Kan føre til at dører blokkeres</li> <li>• Krever elektriske motorer for sammenfolding</li> <li>• Vil kreve låsemekanisme</li> </ul>
L.8.C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plassbesparende</li> <li>• Kan kombineres med andre sammenfoldingsløsninger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noe komplisert mekanisk</li> </ul>
L.8.D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plassbesparende</li> <li>• Armene vil ikke komme i veien for andre funksjoner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vil kreve elektriske motorer for sammenfolding</li> <li>• Vil kreve låsemekanisme</li> </ul>




### 6.3 Form- og estetikkalternativer

Valget av form på konstruksjonen vil avhenge av tre faktorer: Luftmotstand, bæreflate og estetikk.

For å sørge for lav luftmotstand vil det være hensiktsmessig å velge en form som er dråpelignede. Dersom formen som velges i tillegg har stort flateareal vil dette være med på å gi ekstra løftekraft. Det vil også være ønskelig å sørge for at konstruksjonen vil inneha en appellerende estetikk slik produktet blir mer attraktivt for potensielle kunder.

Inspirasjon for mulige form og estetikk alternativ kan eksempelvis hentes fra flyvende dyr, insekter eller andre flyvende objekter. Noen av disse samt egenskapene deres er presentert nedenfor.

Tabell 42: Tabell som viser mulige form- og estetikkalternativer med tilhørende egenskaper til hver løsning. Bilde A viser en øyestikker, bilde B viser et flygeekorn og bilde C viser en person i en vingedrakt. [69] [70] [71]

Alternativer		Egenskaper
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Svever</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lav vekt i forhold til styrke</li> <li>Lav luftmotstand</li> <li>Lavt tyngdepunkt</li> <li>Organisk form</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Glider</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stor bæreflate</li> <li>Lav luftmotstand</li> <li>Organisk form</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Glider</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stor bæreflate</li> <li>Lav luftmotstand</li> <li>Uorganisk form</li> </ul>



## 7 Egenscreening og konseptvalg

Løsningene som ble presentert i kapittel 6. vil bli overveid i dette kapitlet. Ved hjelp av pughs metode vil de mulige alternative for hver funksjon bli sammenlignet opp imot hverandre og løsningen som best oppfyller de ønskede kriteriene vil bli valgt. Samtlige valgte løsninger vil deretter bli oppsummert i en tabell hvor det blir forklart kort om egenskapene til den valgte løsningen.

### 7.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

For å velge ut hvilken løsning som er mest egnet benyttes det pughs metode slik som beskrevet i delkapittel 3.2.2. Det vil si at det velges ut noen kriterier som er ønskelig til hver funksjon. Disse kriteriene blir deretter vektet ut fra hvor viktig de er for den gitte funksjonen. Deretter blir hver alternativ løsning bedømt ut fra hvor godt de oppfyller kriteriene.

Utvelgelsen foregår ved at hver løsning får en egen seleksjonsmatrise som inneholder kriteriene samt vektningen. Løsningene blir gitt en poengsum for hvor godt de oppfyller hvert av kriteriene. Poengene blir multiplisert sammen med vektningen og summen av poengene for hver løsning vil da vise hvilken som gir best resultat.

Kriteriene og vektningen er valgt på bakgrunn rangeringen av viktige egenskaper fra delkapittel 5.2, men verdiene kan avvike noe da det kan være ulike behov for ulike funksjoner. Skalaen for poenggivning forblir også det sammen slik som i kap 5.2. der 1 er dårligs og 5 er best.

### 7.2 Egen konseptscreening

Løsningene er delt opp i hver sine delkapittel og har hver sin seleksjonsmatrise. Før hver matrise presenteres kriteriene de skal bedømmes etter og vektningen deres. Det medfølges også en kort forklaring om hva de ulike kriteriene innebærer og eventuelt hvorfor de er vektet som de er.

#### 7.2.1 Arm konfigurasjon

##### **Valgte kriterier og vektning:**

**Sikkerhet:** vektes 50%. Antall armer vil ha en stor innvirkning på sikkerheten til kjøretøyet og vektes derfor høyt. Med ekstra armer vil løftekraften kunne bli ivaretatt selv om noe skulle svikte. Under dette kriteriet inngår også muligheten for å inkorporere en ballistisk fallskjerm.

**Kompleksitet:** vektes 30%. Ved valg av arm konfigurasjon vil kompleksiteten være en bestemmende faktor. kompleksitet inkluderer propellstørrelse samt antall festepunkter og komponenter som løsningene vil inneha. Ved færre armer vil propellstørrelsen øke for å få tilstrekkelig løftekraft, men samtidig vil festepunktene og antall deler selvsagt minke. lavere kompleksitet vil høy poengsum.

**Funksjon:** vektes 20%. Dersom det er færre armer vil dette gi rom for sammenfoldingmekanismer. Det vil dermed øke funksjonspotensialet armene.

Tabell 43: Seleksjonsmatrise for arm konfigurasjon.

Arm konfigurasjon							
		L.1.A		L.1.B		L.1.C	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Sikkerhet	50%	2	1	4	2	5	2,5
kompleksitet	30%	4	1,2	3	0,9	2	0,6
Funksjon	20%	5	1	4	0,8	2	0,4
<b>Vektet sum</b>	100%	3,2		3,7		3,5	
<b>Valgt løsning</b>		Nei		ja		Nei	

### 7.2.2 Motor konfigurasjon

#### Valgte kriterier og vektning:

**Sikkerhet:** vektet 60%. På samme måte som ved armkonfigurasjon vil ekstra propeller og motorer sørge for løftekraft hvis noe skulle svikte. I tillegg vil mot-roterende propeller utligne torsjon i armene noe vil gi lavere belastning å føre til økt sikkerhet. Sikkerheten vil også hær være avgjørende for valg av løsning.

**Kompleksitet:** vektet 30%. Ved flere motorer og andre deler vil kompleksiteten øke. I tillegg vil det sørge for økt vekt. Ved færre propeller vil sveipeområdet til propellene øke. Det vil føre til at de er vanskeligere å legge sammen og dermed mer kompleks.

**Pris:** vektet 10%. prisen på konstruksjonen vil øke som en konsekvens av flere motorer og diverse andre deler.

Tabell 44: Seleksjonsmatrise for motor konfigurasjon.

Motor konfigurasjon							
		L.2.A		L.2.B		L.2.C	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Sikkerhet	60%	1	0,6	3	1,8	5	3
Kompleksitet	30%	5	1,5	3	0,9	2	0,6
pris	10%	4	0,4	3	0,3	2	0,4
<b>Vektet sum</b>	100%	2,5		3,5		4	
<b>Valgt løsning</b>		Nei		Nei		Ja	

### 7.2.3 Supplering av oppdrift

#### Valgte kriterier og vektning:

**Sikkerhet:** vektet 40%. Ved supplering av oppdrift er det viktig at flyveegenskapene er ivaretatt. Dersom kjøretøyet fly som det skal anses den som sikker.

**Kompleksitet:** vektet 40%. Denne funksjonen vil også være avhengig av kompleksitet til løsningen. Med kompleksitet så menes det løsningens antall deler og komponenter samt vektøkningen og mulighetene for sammenlegging.

**Funksjon:** vektet 20%. Med funksjon så menes det effektbidraget. Denne settes lavt fordi det er uvisst hvor mye løsningene bidrar til effekt i forhold til hverandre og bidratt effekt vil være avhengig av en del ukjente faktorer. De andre kriteriene er lettere å vurdere da man kan tenke seg hva som vil gi gode egenskaper. De vil dermed være mer avgjørende for valg løsning.

Tabell 45: Seleksjonsmatrise for supplering av oppdrift.

Supplering av oppdrift							
		L.3.A		L.3.B		L.3.C	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Sikkerhet	40%	1	0,4	4	1,6	5	2
Kompleksitet	40%	3	1,2	3	1,2	1	0,4
Funksjon	20%	3	0,6	4	0,8	4	0,8
<b>Vektet sum</b>	100%	2,2		3,6		3,2	
<b>Valgt løsning</b>		Nei		Ja		Nei	

#### 7.2.4 Propellskjerming

##### Valgte kriterier og vektning:

**Sikkerhet:** vektet 50%. Ved valg av løsning for propellskjerming vil sikkerheten utgjøre den viktigste faktoren. Med dette kriteriet så menes det løsningens evne til å skjerme propellen og at den bevarer flyveegenskapene.

**Kompleksitet:** vektet 30%. kompleksiteten vil også være bestemmende for valg av løsning. Antall deler, intrikate mekaniske sammensetninger samt vekt og muligheter for sammenlegging vil inngå i dette kriteriet.

**Funksjon:** vektet 20%. Dersom løsningen påvirker funksjonsområdet til kjøretøyet i noen grad vil det påvirke poenggivningen for dette kriteriet.

Tabell 46: Seleksjonsmatrise for propellskjerming.

Propellskjerming									
		L.4.A		L.4.B		L.4.C		L.4.D	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Sikkerhet	50%	1	0,5	2	1	5	2,5	5	2,5
Kompleksitet	30%	2	0,6	3	0,9	1	0,3	5	1,5
Funksjon	20%	5	1	5	1	5	1	1	0,2
<b>Vektet sum</b>	100%	2,1		2,9		3,8		4,2	
<b>Valgt løsning</b>		Nei		Nei		Nei		Ja	

## 7.2.5 Antall propellblader

**Valgte kriterier og vektning:**

**Sikkerhet:** vektet 20%. Dersom en løsning har flere propellblader vil sikkerheten øke.

**Kompleksitet:** vektet 40%. kompleksiteten er på samme måte som tidligere avhenigng av antall komponenter og mekaniske løsninger. I tillegg vil mulighetene for sammenlegging, resulterende propellstørrelse samt vekt være med å påvirke resultatet.

**pris:** vektet 40%. Dersom propellene er mindre vil det kreves en motor som kan yte større moment noe som vil være mer kostbart. I tillegg vil selve propellen koste mer dersom det er flere armer.

Tabell 47: Seleksjonsmatrise for antall propellblader.

Antall propellblader							
		L.5.A		L.5.B		L.6.C	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Sikkerhet	20%	3	0,6	4	0,8	5	1
Kompleksitet	40%	5	2	3	1,2	1	0,4
Pris	40%	4	1,6	3	1,2	2	0,8
<b>Vektet sum</b>	<b>100%</b>	4,2		3,2		2,2	
<b>Valgt løsning</b>		Ja		Nei		Nei	

## 7.2.6 Sammenfolding av propeller

**Valgte kriterier og vektning:**

**Funksjon:** vektet 40%. Ved dette kriteriet vil løsningens plassbesparing og størrelsen den utgjør utfoldet være bestemmende med tanke på poenggivningen.

**Kompleksitet:** vektet 50%. Dersom en løsning krever få deler, enkel mekanikk, har lav vekt og gode muligheter for sammenlegging samt lar seg lett kombinere med løsninger for andre funksjoner vil den få høy poengsum. I tillegg vil løsninger som har mulighet til å drives fullstendig mekanisk foretrekkes.

**Pris:** vektet 10%. motoriserte løsninger vil være mere kostbar samt løsninger med komplisert mekanikk.

Tabell 48: Seleksjonsmatrise for sammenfolding av propeller.

Sammenfolding av propeller							
		L.6.A		L.6.B		L.6.C	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjon	40%	5	2	3	1,2	5	2
Kompleksitet	50%	1	0,5	5	2,5	3	1,5
Pris	10%	2	0,2	5	0,5	3	0,3
<b>Vektet sum</b>	<b>100%</b>	2,7		4,2		3,8	
<b>Valgt løsning</b>		Nei		Ja		Nei	

## 7.2.7 Arm plassering

**Valgte kriterier og vektning:**

**Funksjon:** vektes 30%. funksjonen til løsningen vurderes etter hvor bra løsningene tilrettelegger mulighet for sammenfolding samt at de ikke blokker for andre funksjoner.

**Sikkerhet:** vektes 50%. sikkerheten vil være mest bestemmende for armplassering. Med sikkerhet menes det at armplasseringen sørger for god stabilitet i luften samt at belastningen på festepunkter ikke blir for stor.

**Kompleksitet:** vektes 20%. Med kompleksitet i dette tilfelle menes det om det lett lar seg kombinere med understell eller om det øker totalhøyden på kjøretøyet nevneverdig.

Tabell 49: Seleksjonsmatrise for arm plassering.

Arm plassering							
		L.7.A		L.7.B		L.7.C	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjon	30%	5	1,5	1	0,3	5	1,5
Sikkerhet	50%	4	2	3	1,5	2	1
Kompleksitet	20%	4	0,8	5	1	1	0,2
<b>Vektet sum</b>	100%	4,3		2,8		2,7	
<b>Valgt løsning</b>		Ja		Nei		Nei	

## 7.2.8 Sammenfolding av armer

**Valgte kriterier og vektning:**

**Funksjon:** vektes 40%. Dersom en løsning vil gi god plassbesparing samt at den ikke hemmer funksjonsområdet vil kjøretøyet vil den få en høy poengsum.

**Kompleksitet:** vektes 50%. Slik som tidligere vil løsningens kompleksitet innfatte antall deler, grad av avansert mekanikk og mulighet for å kombinere med andre løsninger.

**pris:** vektes 10%. dersom det kreves avansert teknologi eller komponenter og motorer vil dette øke prisen.

Tabell 50: Seleksjonsmatrise for sammenfolding av armer.

Sammenfolding av armer									
		L.8.A		L.8.B		L.8.C		L.8.D	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjon	40%	3	1,2	3	1,2	5	2	4	1,6
Kompleksitet	50%	2	1	3	1,5	2	1	3	1,5
Pris	10%	2	0,2	3	0,3	3	0,3	4	0,4
<b>Vektet sum</b>	100%	2,4		3		3,3		3,5	
<b>Valgt løsning</b>		Nei		Nei		Kanskje		Ja	

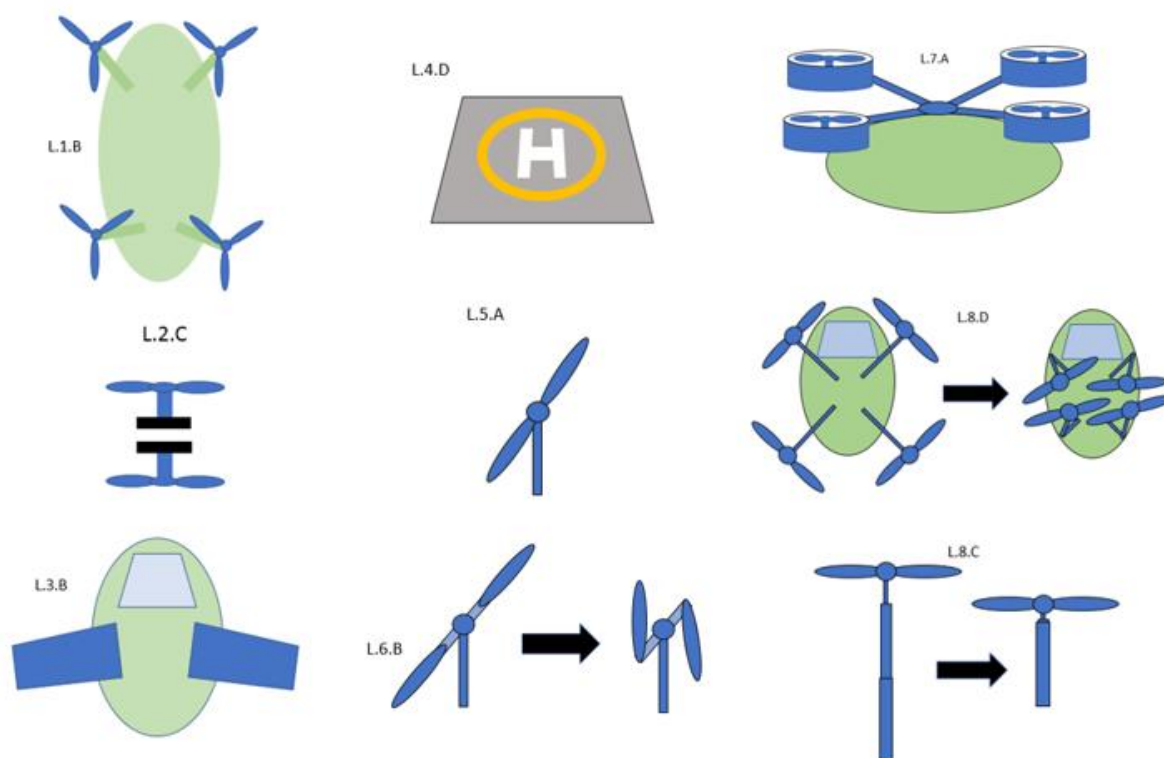
### 7.3 Foretrukne løsningsalternativer

Ut fra hver seleksjonsmatrise ovenfor ble det valgt ut en løsning som oppfylte kriteriene til funksjonsbehovene på best mulig måte. De utvalgte løsningene presenteres i tabellen nedenfor. Ved hver løsning er det en kort kommentar som forklarer hvorfor løsningen ble valgt ut og på hvilket grunnlag. Det beskrives også i korte trekk om hva som eventuelt er svakheten til løsningen noe som gir grunnlag til et eventuelt videre arbeid.

Tabell 51: Resultat av seleksjonsmatrisene

Funksjon	Valgt løsning	Kommentar
Arm konfigurasjon	L.1.B: Fire armer	Løsningen ble valgt fordi den er lite kompleks og gir god plass til sammenfoldingmekanismer. I tillegg er den symmetrisk noe som gjør at løftekraften er balansert. Den ivaretar sikkerheten til konstruksjonen da den gir plass til ballistisk fallskjerm og vil sørge for noe løftekraft selv om en propellarm skulle svikte.
Motor konfigurasjon	L.2.C: Mot-roterende propeller med to motorer	Ved valg av motor konfigurasjon er sikkerheten essensiell noe som er grunnen til at mot-roterende propeller med to motorer ble valgt. Den vil sørge for at løftekraften blir ivaretatt selv om en motor eller propell skulle svikte. Samtidig er det fordelaktig med mot-roterende propeller ettersom at torsjonen grunnet drivmomentet vil bli utlignet. I tillegg vil det nødvendige sveipeområdet til enkeltpropellene bli mindre da det kan fordeles på dobbelt så mange propeller.
Supplering av oppdrift	L.3.B: Vinger	Ettersom at propeller er en lite energieffektiv fremdriftsmetode var det nødvendig å velge ut en suppleringsmetode for å bedre effektiviteten. Vinger ble da valgt ut da det ikke krever ekstra motorkraft og vil være relativt enkelt å kombinere med armene og kan lett sammenfoldes. Det er derimot litt usikkert om de vil gi balansert løftekraft ettersom vinkelen mot luftstrømmen vil være forskjellig. Det er også noe usikkerhet i hvordan vingene vil påvirke vertikal flyging, men disse problemstillingene kan tas i et senere arbeid.
Propellskjerming	L.4.D: Avsatt landing/lettings-område (helipad)	Når kjøretøyet skal lande i befolkede områder vil det være nødvendig å skjerme propellene slik at ingen blir skadet. Samtidig må skjerme løsningen kunne sammenfoldes eller fjernes når Dolphin sky skal kjøre på veien. Det vil også være nødvendig at mekanismen ikke påvirker flyveegenskapene til kjøretøyet i negativ forstand. Det er kun helipaden som oppnår alle disse kriteriene. Ved valg av helipaden vil kjøretøyet få nedsatt funksjonsområde så det vil lønne seg å undersøke om noen av de andre løsningene kan tilpasses ved et senere stadiet.
Antall propellblader	L.5.A: To blader	Propeller med to blader har blitt valgt ettersom at de vil være compatible med samtlige sammenfoldingsmekaismer og er lite kompleks. Samtidig vil prisnivået være lavere og de anses som tilstrekkelig sikker.

Sammenfolding av propeller	L.6.B: Blader med ledd	Til sammenfolding av propellene er blader med ledd valgt ut. Denne løsningen vil være noe mindre plassbesparende enn konkurrentene, men fordelene med denne er at sammenfolding/utfoldings-mekanismen kan være fullstendig mekanisk noe som gjør at man unngår ekstra elektriske motorer som fører til økt vekt og pris.
Arm plassering	L.7.A: Plassering på toppen	Armene skal plasseres på toppen av kjøretøyet. Dette er først å fremst for at denne plasseringen vil gi best stabilitet i luften. I tillegg vil plasseringen tilrettelegge for god plass for sammenfoldingsmekanismer og sørge for at armene ikke vil komme i veien for dører.
Sammenfolding av armer	L.8.D: Sammenfolding innover, kanskje mulighet for å kombinere med L.8.C: Teleskopering	For å sammenfolde armene ble sammenfolding innover valgt som den beste løsningen. Det er fordi at løsningen tar opp lite plass og sørger for at armene kan plasseres på taket slik at de ikke kommer i veien for andre funksjoner. Løsningen vil være relativt lite kompleks og vil være enkel å sammenfolde. Ettersom at teleskopering lar seg kombinere med andre løsninger vil det vurderes om denne skal brukes sammen med sammenfoldingen for å minke utstrekningen av armene i sammenfoldet posisjon ytterligere. Teleskopering er riktignok noe mer kompleks, men har større potensial for å spare plass.



Figur 49: Bilde som viser skisser av alle valgte løsninger. Navn og beskrivelse av løsningene er å finne i tabellen ovenfor.

## 8 Grunnlagsberegninger

I dette kapitlet vil det bli utført grunnlagsberegninger. Hensikten med det er å sørge for at kritiske deler på konstruksjonen blir tilstrekkelig dimensjonert. Ved dimensjonering av komponentene vil man også få et grunnlag til å konstruere en CAD-modell.

Det vil utføres dimensjonering og beregninger på propellarmens hovedprofil samt rotasjonsleddet. For beregningene benyttes det av de dynamiske lastfaktorene som er nevnt tidligere. Disse faktorene er satt så høye for å kompensere for eventuell helning og utmatting. Beregningene for disse tas dermed ikke med. I tillegg vil disse lastene være lavfrekvente og dermed vil det ikke være fare for utmatting. Propellens rotasjon vil være høyfrekvente, men vil skape liten kraft i forhold til de dynamiske lastene som vil kunne oppstå på grunn av manøvrering og dermed vil de ikke nærme seg utmattingsgrensen.

For å dimensjonere hovedprofilen vil det beregnes bøyespenning og eventuelle skjær- og trykkspenninger. Deretter vil von mises spenningen beregnes og det vil bli valgt en tilstrekkelig profildimensjon.

Profilen som velges bør ha god evne til å motstå gjennomplastifisering. Det vil si at tverrsnittetsbredden ikke bør minke i retningen materialet flyter. Profilen bør også være motstandsdyktig for bøyespenninger. En hul rektangulær profil kan dermed være et godt valg.

Leddberegningen vil bli utført som en nagle beregning. Det vil si at følgende beregninger vil bli utført.

- Avskjæring av nagle
- Hullkantrykk
- Utrivning av grunnmaterialet
- Brudd/varig deformasjon i grunnmaterialets nettotversnitt

I tillegg vil det velges en dimensjon for øvre del av leddbrakketen ut fra bøymomentet som vil oppstå ved vertikal last.

Følgende forutsetninger benyttes i beregningene.

Tabell 52: tabell med oversikt over beregningsforutsetningene.

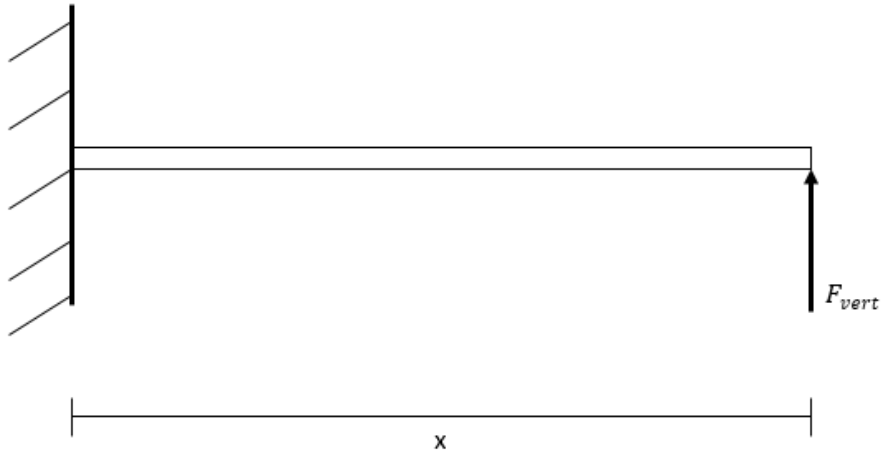
Forutsetning	Verdi
Bærelast	450 kg
Vertikal dynamisk lastfaktor	+3,5/-1,5 G
Horisontal dynamisk lastfaktor	0,5-0-6 G
Armlengde	1750 mm
Armvinkel	45 grader
Flytegrense	460 MPa



## 8.1 Brukspåkjenninger, materialer og tverrsnittvalg

### 8.1.1 Vertikale krefter og momenter

Armene dimensjoneres etter høyest tenkelig belastning. I dette tilfelle vil dimensjonskravet settes etter sikkerhetskravet for dynamisk belastning som er på +3,5 G/-1,5 G. Ettersom at profilen er symmetrisk vil den tåle like stor kraft i begge retninger. Det vil derfor være unødvendig å beregne etter -1,5 G. Det vil si at armene dimensjoneres etter 3,5 G i begge retninger.



Figur 50: figur som viser vertikal lastsituasjonen for en arm.

Figuren ovenfor viser antatt lastsituasjon.

Kreftene armen vil dimensjoneres etter vil være som følger:

$$F_{vert} = 3,5 \cdot G_{arm}$$

$$F_{vert} = 3,5 \cdot \frac{450}{4} \cdot 9,81 = \mathbf{3862,68 \text{ N}}$$

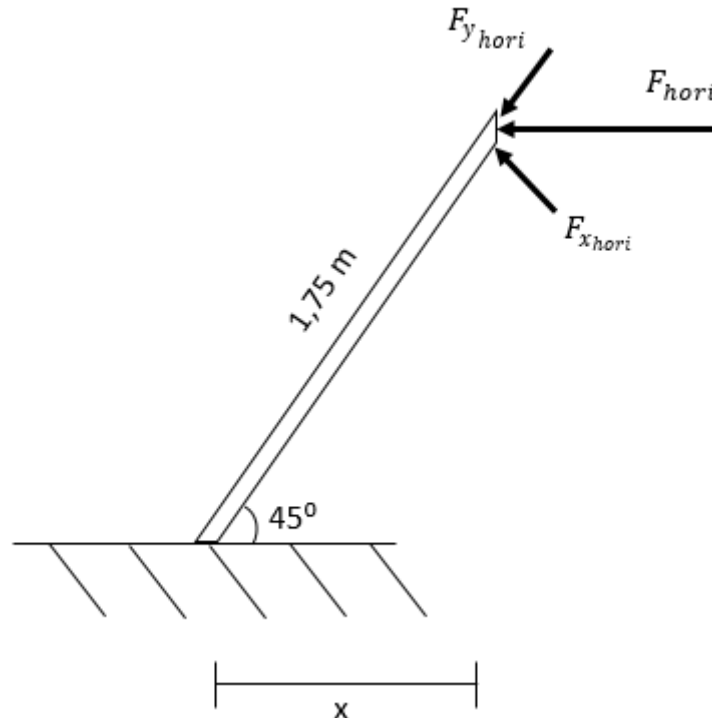
Momentet innerst ved armen vil da bli:

$$M_{B_{vert}} = F_{vert} \cdot x$$

$$M_{B_{vert}} = 3862,68 \cdot 1,75 = \mathbf{6759,7 \text{ Nm}}$$

## 8.1.2 Horisontale krefter og momenter

Maksimale horisontale krefter antas av være ca. 0,5-0,6 G. og vil oppstå som en konsekvens av manøvrering av kjøretøyet. 0,6 G vil bli brukt for å dimensjonere armen for horisontal belastning. Figuren nedenfor er med å vise belastningssituasjonen ser ut.



Figur 51: figur som viser horisontal lastsituasjonen for en arm.

Kreftene armen vil dimensjoneres etter i horisontal belastningssituasjon etter vil være som følger:

$$F_{\text{hori}} = 0,6 \cdot G_{\text{arm}}$$

$$F_{\text{hori}} = 0,6 \cdot \frac{450}{4} \cdot 9,81 = \mathbf{662,175 \text{ N}}$$

Kreftene som opptrer vinkelrett og aksialt på armen vil bli:

$$F_{x_{\text{hori}}} = F_{y_{\text{hori}}} = \frac{F_{\text{hori}}}{\sqrt{2}} = \frac{662,175}{\sqrt{2}} = \mathbf{468,23 \text{ N}}$$

Momentet innerst ved armen vil bli:

$$M_{B_{\text{hori}}} = F_{\text{hori}} \cdot x$$

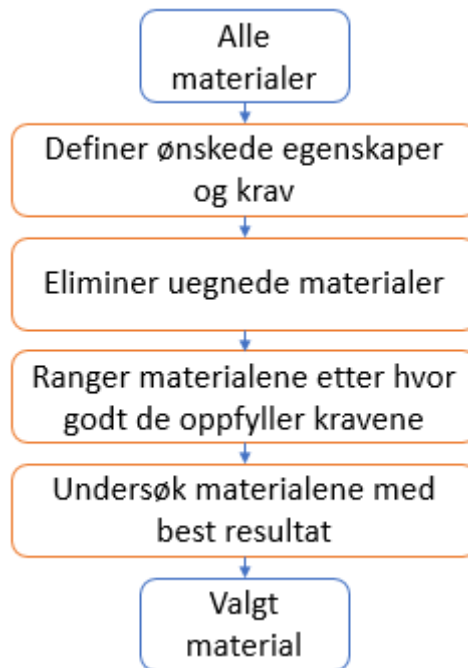
$$M_{B_{\text{hori}}} = 662,175 \cdot \frac{1,75}{\sqrt{2}} = \mathbf{819,4 \text{ Nm}}$$

### 8.1.3 Materialvalg

For å velge ut hvilket materiale er mest egnet til konstruksjonen benyttes det av en utviklet av Michael Ashby og Kara Johnson. Metoden baserer seg på Pughs metodikk.

Den går ut på at man først skal få generell oversikt over alle mulige materialtyper. Deretter skal man definere noen krav og ønskede egenskaper for materialet som skal velges for konstruksjonen. Videre skal eliminere materialer som ikke er egnet. Materialtypene som gjenstår skal deretter rangeres etter hvor godt de oppfyller de ønskede egenskapene. Materialet som kommer best ut av denne rangeringen skal da undersøkes videre for å se hvilke typer brukes i lignende konstruksjoner og for å se hvilken type vil være best egnet for oppgaven ut fra hvilke egenskaper den innehar. [31]

Metoden som benyttes er illustrert ved hjelp av figuren nedenfor.



Figur 52: Ashby og Johnsons metode for materialutvelgelse.

I denne utvelgelsen vil det kunne omhandle materialet til selve propellkonstruksjonen ettersom at det er denne delen om må konstrueres og de resterende delene som vil bli kjøpt in vil være ferdiglaget.

**Materialtyper:** [72],[32],[33]

Det er hovedsakelig fem typer material som kan være aktuell for oppgaven.

- Tre:
  - Fleksibelt, relativt lav vekt, relativt høy trykkfasthet, potensiell lang levetid, miljøvennlig.
- Metal
  - Gode styrkeegenskaper, stive, duktile, leder strøm og varme.
- Plast
  - Gode isolatorer, billig, lett å forme og produsere, lav stryke.

- Kompositt:
  - Samlebetegnelse, Består av to eller flere materialer satt sammen, Høy styrke i forhold til vekt, stiv, sprø, kan ha veldig mange forskjellige egenskaper alt ettersom hvilke materialer som er satt sammen.
- Keramer:
  - høy trykkfasthet, Gode isolatorer, sprø, tåler høy varme.

### Krav og ønskede egenskaper:

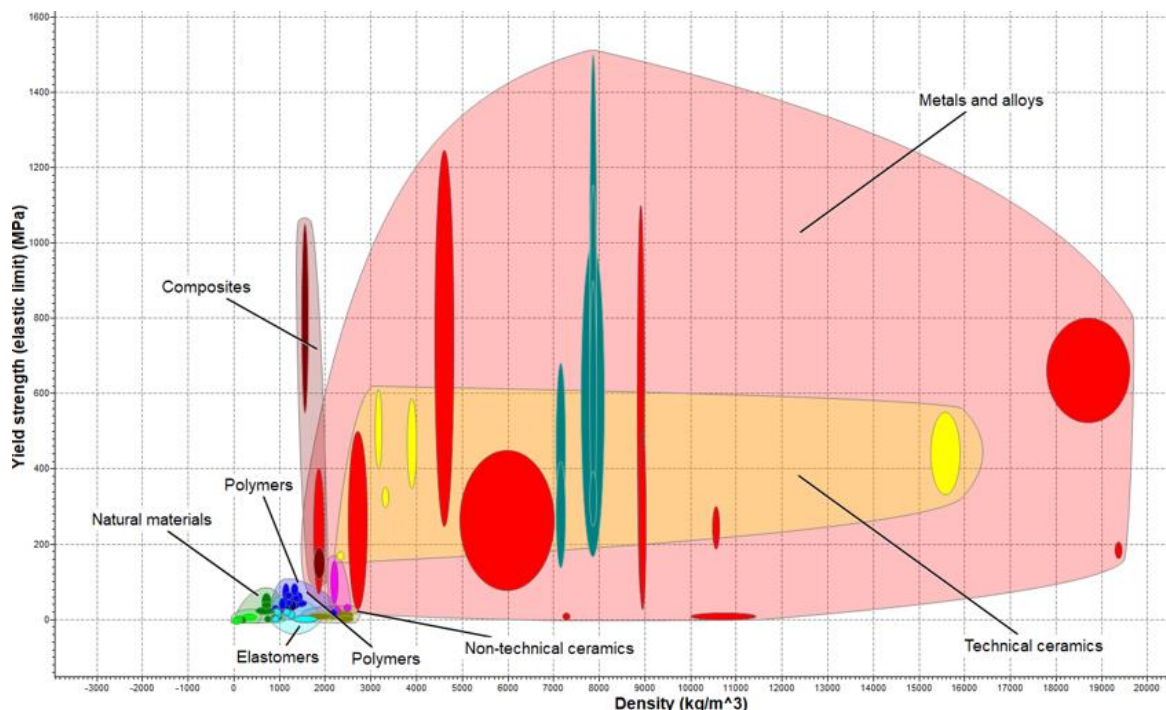
Følgende krav og egenskaper vil være ønskelig for materialet som velges.

- E-modul > 50 GPa
- Flytegrense > 120 MPa
- Gode utmattingsegenskaper
- Lav vekt
- Lett å bearbeide, smi, maskinere
- Duktilt, bør kunne flekse på grunn av vibrasjoner og dynamiske belastning i luften
- miljøvennlig
- billig

### Eliminer uegnede materialer:

En eliminering av egenskaper på utført ved hjelp av CES edupack.

Ettersom at vekt er spesielt viktig i luftfart ble materialtypene først vurdert etter strykeegenskapene i forhold til vekten. Dette er vist på figuren nedenfor det flytegrensen er plottet mot densiteten.



Figur 53: Graf som viser flytegrense mot densitet for ulike materialtyper. Verdiene kan være vanskelig å lese ut fra figuren, men grafen viser at metaller kompositter og keramer kommer best ut. (bilde hentet fra CES Edupack)

Videre ble styrken sammenlignet med pris for å prøve å eliminere flere materialtyper. Ut fra det kunne man ikke tyde en markant vinner.

Co2 avtrykk ble deretter satt opp i forhold til stryken, men den gav heller ingen vinner. Det ble derfor sjekket hvilke materialer som var resirkulerbare for å se hvilke typer var mest miljøvennlig. Ut fra dette ble man stående igjen med metall.

For å bestemme hvilke metalltyper som var mest aktuell ble det igjen satt opp en graf som viste flytegrensen mot densiteten.

Ut fra denne grafen kom magnesium, aluminium, zink og titan-legeringer best ut. Titan ble deretter valgt vekk ettersom den er dyr og er vanskelig å maskinere.

### **Rangering av materialer:**

De gjestående materialene vurderes videre på en lignende måte som funksjonsalternativene gjorde. Materialene vil bli gitt en poengsum ut ifra hvor god de oppfyller egenskapene som ble bestemt tidligere. Poengskalaen vil være mellom 1 og 5, hvor 1 er dårlig og 5 er best. Vurderingen av hvor godt de ulike materialene oppfyller den gitte egenskapen gjøres på bakgrunn av informasjonen tilgjengelig i CES EduPack.

*Tabell 53: Utvelgelsesmatrise for mulige konstruksjonsmaterialer.*

<b>Egenskaper\materialer</b>	<b>Magnesium</b>	<b>Aluminium</b>	<b>Zink</b>
Maskinering	5	4	5
Formbarhet	3	4	3
Vekt	5	4	1
Miljøvennlig	2	4	5
Resirkulering	4	3	2
styrke	2	4	5
pris	2	4	3
<b>Sum</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>24</b>

Aluminiumslegeringer kommer best ut av rangeringen og blir dermed valgt som ønsket materialtype.

### **Undersøking av valgt materiale:**

Materialet som velges bør være tilgjengelig i Norge samt at den har egenskaper som stemmer overens med ønskene for materialet som velges for konstruksjonen.

EN AW 7020, 6082 eller 7075 vil dermed være de mest aktuelle legeringstypene da disse har gode egenskaper som egner seg for lettvektige lastutsatte konstruksjoner. [73]

Av disse legeringstypene velges EN AW 7075 ettersom at den har de beste styrkeegenskapene i forhold til vekten, noe som er essensielt i luftfartøy. Det er i tillegg vanlig å anvende denne legeringstypen i fly og andre luftfartøy noe som gir tiltro til valget av denne legeringen. [74]

Hardhet T651 velges da den er lett tilgjengelig i Norge, er en av de sterkere typen og er vanlig å benytte i ramme konstruksjoner på fly. Denne er kun tilgjengelig i form av plater. For rektangulære profiler benyttes derfor T6. [75]

Nedenfor medfølger en tabell som inneholder relevant informasjon om de valgte legeringstypene.

Tabell 54: Egenskaper for aluminiumslegeringene EN AW 7075 T651 og EN AW 7075 T6.

Egenskap	Enhet	T651	T6
Pris	NOK/kg	32,1 - 34,1	32,1 - 34,1
Densitet	kg/m <sup>3</sup>	2,78 · 10 <sup>3</sup> - 2,81 · 10 <sup>3</sup>	2,77 · 10 <sup>3</sup> - 2,83 · 10 <sup>3</sup>
E-modul	GPa	71 - 76,6	69 - 76
Flytegrense	MPa	345 - 496	359 - 530
Bruddgrense	MPa	421 - 552	434 - 580
Skjærmodul	MPa	27 - 28,8	26 - 28
Poissons tall	-	0,33 - 0,343	0,325 - 0,335
Hardhet -Vickers	HV	152 - 168	152 - 168
Utmattingsgrense ved 10 <sup>7</sup> sykler	MPa	152 - 168	152 - 168
Bruddseighet	MPa · m <sup>0,5</sup>	26,9 - 38	26,6 - 26,8
Maks driftstemperatur	°C	80 - 100	80 - 100
Min driftstemperatur	°C	-273	-273

Andre ting å merke seg ved legeringene:

- Egner seg ikke til sveising eller støpning
- Maskinerings hastighet = 79,2 m/min
- Utsatt for sprekke dannelse ved korrosjon

#### 8.1.4 Dimensjonering av profil og kontroll av spenning

Da sikkerhetsfaktoren er allerede ganget inn i lasten, vil flytegrensen for det valgte materialet brukes for å bestemme dimensjon. Flytegrensen er 460 MPa.

**Dimensjonskrav som en konsekvens av vertikal belastning:**

$$\sigma_f = \sigma_{b_{vert}}$$

$$\sigma_{b_{vert}} = \frac{M_{B_{vert}}}{W_{b_{vert}}}$$

$$W_{b_{vert}} = \frac{M_{B_{vert}}}{\sigma_{b_{vert}}}$$

$$W_{b_{vert}} = \frac{6759,7 \cdot 10^3}{460} = 14695 \text{ mm}^3$$

Dimensjonskrav som en konsekvens av horisontal belastning:

$$W_{b\text{ hori}} = \frac{M_{B\text{ hori}}}{\sigma_{b\text{ hori}}}$$

$$W_{b\text{ hori}} = \frac{819,4 \cdot 10^3}{460} = 1781,3 \text{ mm}^3$$

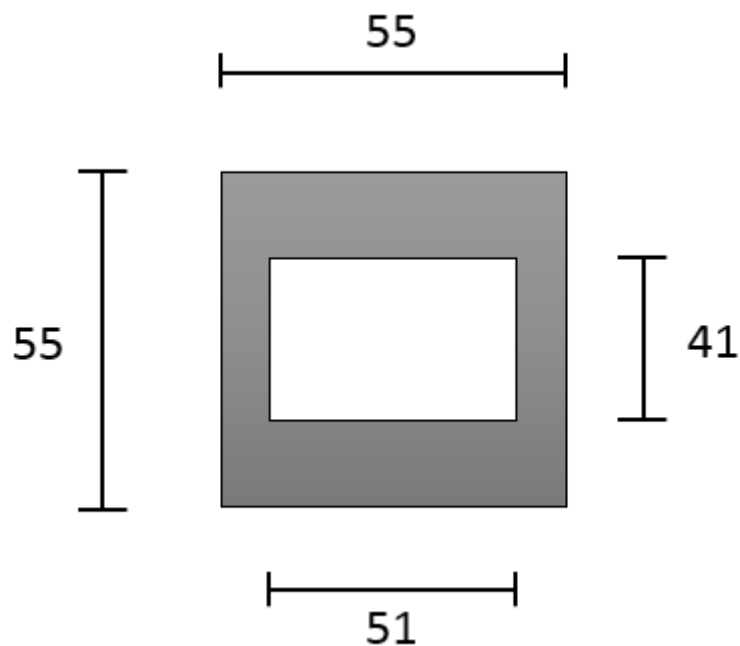
Valg av profildimensjon:

Motstandsmomentet for vertikallast er ca. 8,2 ganger større enn den for horisontal last. Det vil bety at tykkelsen på sidekantene vil måtte være betraktelig mindre enn på de nedre og øvre sidene.

Det vil være fordelaktig å velge en profil med motstandsmoment som nærliggende kravene. Armene vil da ikke bli overdimensjonert og som en konsekvens vil det spares vekt og kostnader.

Kvadratiske 55x55 profiler velges å benyttes da produseres i denne størrelsen. Bruk av standardstørrelser vil spare tid og arbeid under produksjonen.

På bakgrunn av dette velges følgende profil:



Figur 54: Målsatt tverrsnittprofil for armene.

Motstandsmomentene vil da bli:

$$W_b = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H} \quad (8.1)$$

$$W_{b_{vert}} = \frac{55 \cdot 55^3 - 51 \cdot 41^3}{6 \cdot 55} = \mathbf{17077,74 \text{ mm}^3}$$

Og

$$W_{b_{hori}} = \frac{55 \cdot 55^3 - 41 \cdot 51^3}{6 \cdot 55} = \mathbf{11248,3 \text{ mm}^3}$$

Motstandsmomentene er større enn kravene og vil dermed være akseptabel. I horisontal retning vil profilen bli noe overdimensjonert, men det velges allikevel å beholde denne dimensjon da sidetykkelser under 2 mm kan bli problematisk.

#### Bøyespenning:

Ved dette profilvalget vil bøyespenningene bli som følger.

$$\sigma_{b_{vert}} = \frac{M_{B_{vert}}}{W_{b_{vert}}}$$

$$\sigma_{b_{vert}} = \frac{6759,7 \cdot 10^3}{17077,74} = \mathbf{395,82 \text{ MPa}}$$

Og for horisontal last.

$$\sigma_{b_{vert}} = \frac{M_{B_{vert}}}{W_{b_{vert}}}$$

$$\sigma_{b_{vert}} = \frac{819,4 \cdot 10^3}{11248,3} = \mathbf{72,846 \text{ MPa}}$$

#### Skjærspenning:

Skjærspenningen forårsaket av vertikal last blir som følger.

$$\tau_{vert} = \frac{F_{vert}}{A}$$



$$\tau_{vert} = \frac{3862,68}{55 \cdot 55 - 51 \cdot 41} = \mathbf{4,136 MPa}$$

Og for horisontal last må man beregne med kraften som opptrer vinkelrett på armen for at tverrsnittsarealet skal bli det samme som valgt profil.

$$\tau_{hori} = \frac{F_{x_{hori}}}{A}$$

$$\tau_{hori} = \frac{468,23}{55 \cdot 55 - 51 \cdot 41} = \mathbf{0,501 MPa}$$

### Von mises spenning:

Von mises spenning som en konsekvens av vertikal last vil være som følger.

$$\sigma_{jf_{vert}} = \sqrt{\sigma_{b_{vert}}^2 + 3 \cdot \tau_{vert}^2}$$

$$\sigma_{jf_{vert}} = \sqrt{395,82^2 + 3 \cdot 4,136^2} = \mathbf{395,88 MPa}$$

$$\sigma_{jf_{vert}} < \sigma_f$$

Og for horisontallast må aksialspenningen også inkluderes. Ettersom at vinkelen på armen er 45 grader vil denne spenningen være like stor som Skjærspenningen til den horisontale lasten.

$$\sigma_{jf_{hori}} = \sqrt{(\sigma_{b_{hori}} + \sigma_y)^2 + 3 \cdot \tau_{hori}^2}$$

$$\sigma_{jf_{hori}} = \sqrt{(72,846 + 0,501)^2 + 3 \cdot 0,501^2} = \mathbf{73,35 MPa}$$

$$\sigma_{jf_{hori}} < \sigma_f$$

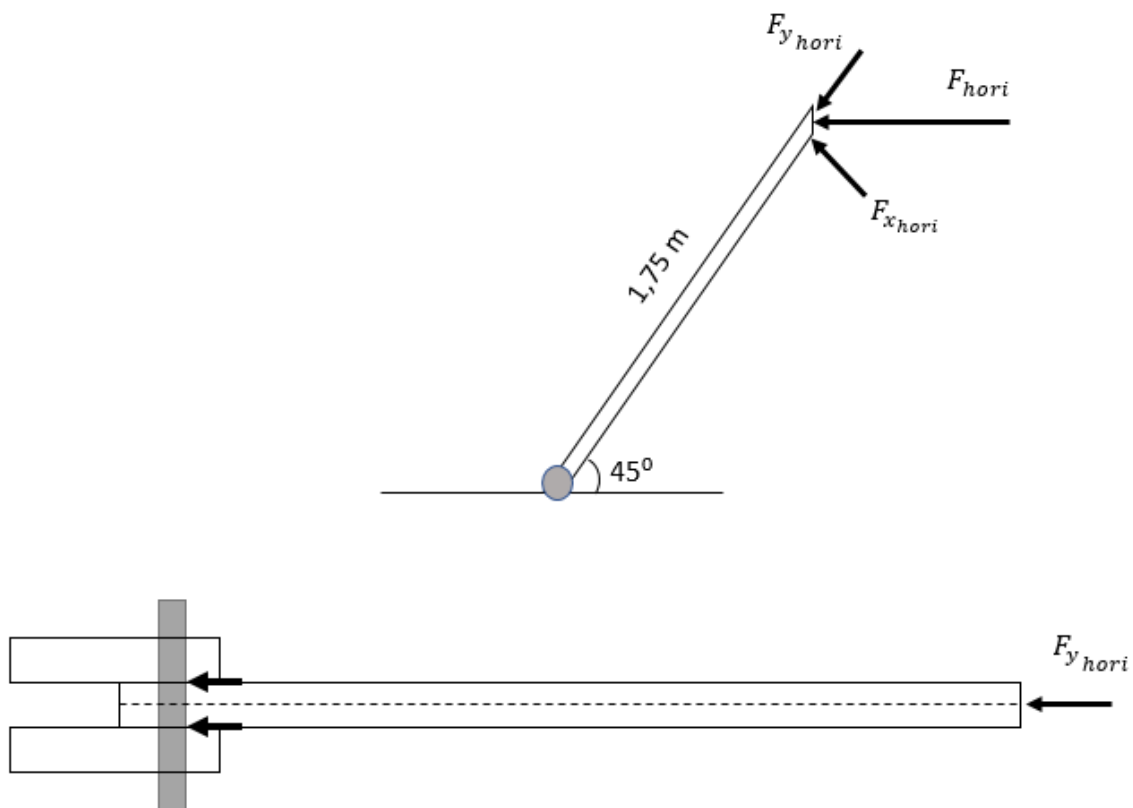
### 8.1.5 Dimensjonering av leddforbindelse ved horisontal last

Horisontalkraften brukes til å dimensjonere det bevegelige leddet som er forutsatt at skal være innerst ved armen.

Leddet beregnes som en naglet forbindelse og man må dermed utføre følgende beregninger: [30]

- Avskjæring av nagle
- Hullkantrykk
- Utrivning av grunnmaterialet
- Brud/varig deformasjon i grunnmaterialets nettotversnitt

Det forutsettes at den horisontale kraften som blir påført armen vil føre til skjærkraft i to forskjellige snitt på naglen. Det antas at eventuelle bøyepeninger vil bli tatt opp i festene mellom leddet og underplaten. Disse spenningene vil derfor ikke inkluderes i dimensjoneringen av leddet. Kraftene som benyttes i beregningen er vist på figuren nedenfor.



Figur 55: figur som viser forutsetningene for beregning av bevegelig ledd.

**Avskjæring av nagle:**

Kraften  $F_{\text{hori}}$  benyttes i beregningen da den er størst og vil dermed være dimensjonerende. Avskjæring av naglen beregnes ved hjelp av følgende formel.

$$\tau_{\text{nagle}} = \frac{F_{\text{hori}}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_h^2} \quad (8.2)$$

Fasthetsklasse 8.8 benyttes noe som gir en flytespenning på 640 MPa og 0,6 benyttes som sikkerhetsfaktor.

$$\tau_{\text{nagle}} = 0,6 \cdot 640$$

Nødvendig diameter på naglen blir dermed.

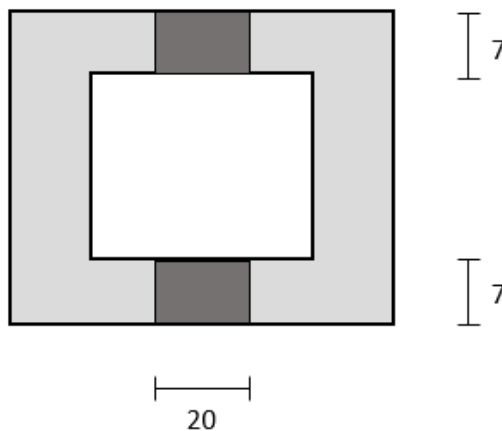
$$d_h^2 = \frac{F_{\text{hori}}}{\frac{\pi}{4} \cdot \tau_{\text{nagle}}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{662,175}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,6 \cdot 640}} = \mathbf{1,05 \text{ mm}}$$

Nødvendig diameter på naglen blir 1,05 mm, men det velges allikevel å benytte en nagle på størrelse M20 da den skal kobles til en motoraksel og det vil dermed være nødvendig at den er tilstrekkelig stor.

**Hullkanttrykk:**

Hullkanttrykket vil opptre på profilet slik som markert på figuren nedenfor.



Figur 56: figur som viser hvor den beregnede hullkanttrykket opptrer.

$F_{\text{hori}}$  benyttes i hullkantrykkberegningen som utføres på følgende måte.

$$P_h = \frac{F_{\text{hori}}}{t \cdot d_h} \quad (8.3)$$

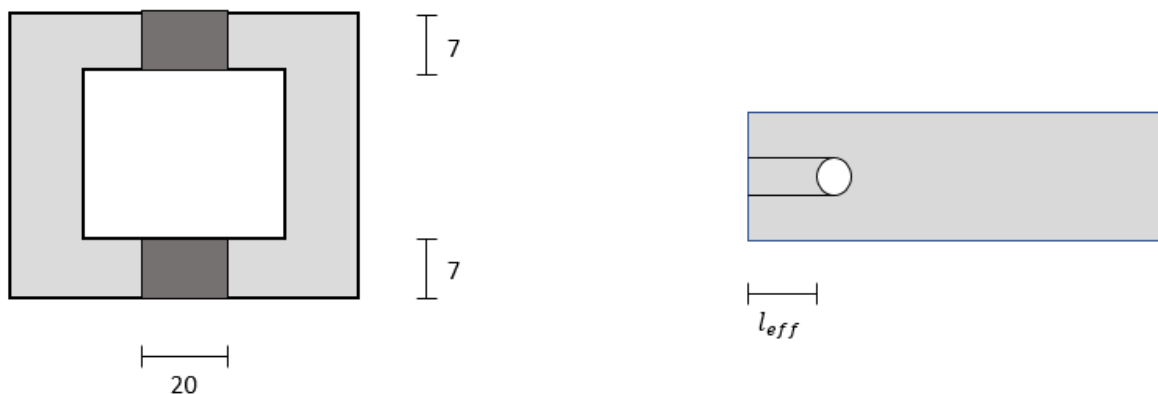
$$P_h = \frac{662,175}{2 \cdot 7 \cdot 20} = 2,365 \text{ MPa}$$

Hullkantrykket blir betraktelig lavere enn flytegrensen på 460 MPa og er dermed akseptabel.

#### Utrivning av grunnmaterialet:

Ved å beregne utrivning av grunnmaterialet kan man finne hvor stor forankringslengde man må ha fra endekanten av platen til kanten av bolthullet.

Profilen og de utsatte snittene er vist i figuren nedenfor. I realiteten vil snittene være 45 grader skråstilt i forhold til nåværende posisjon på figuren da  $F_{\text{hori}}$  brukes i beregningen, men dette kan føre til et variabelt tverrsnitt noe som over kompliserer beregningen samt at ved å regne på snittene slik den står vil man få et mer konservativt resultat da den aktuelle tykkelsen vil være mindre.



Figur 57: figur som viser betingelsene for beregning av utrivning av grunnmaterialet.

Nødvendig forankringslengde beregnes på følgende måte.

$$\tau_{\text{grunn}} = 0,6 \cdot 460$$

$$\tau_{\text{grunn}} = \frac{F_{\text{hori}}}{2 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t} \quad (8.4)$$

$$l_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{hori}}}{2 \cdot \tau_{\text{grunn}} \cdot t}$$

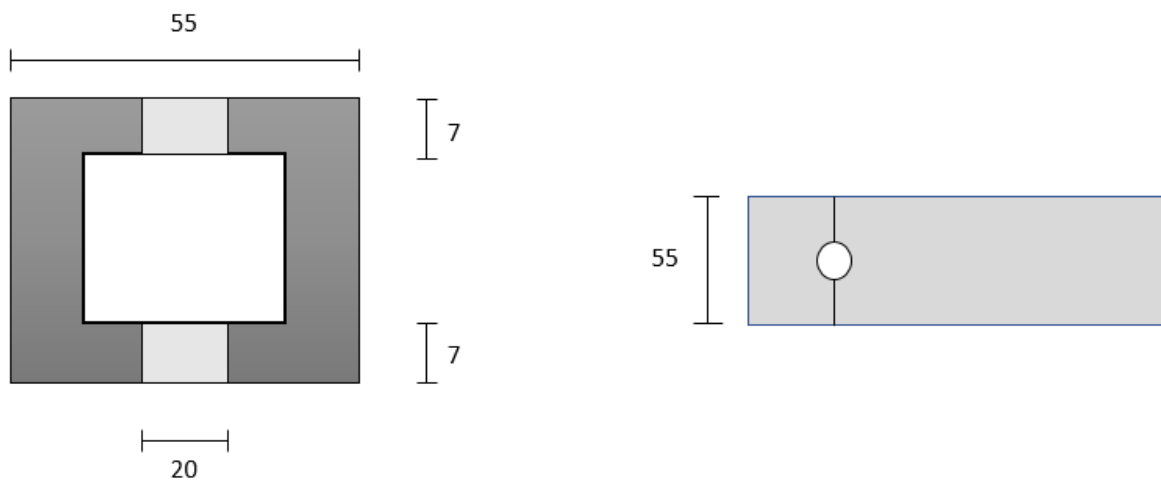
$$l_{eff} = \frac{662,175}{2 \cdot 0,6 \cdot 460 \cdot 7} = \mathbf{0,0856 \text{ mm}}$$

Nødvendig forankringslengde vil være 0,0856 mm. Det velges allikevel en forankringslengde på 45 mm av praktiske årsaker.

### Brudd eller varig deformasjon i grunnmaterialets nettotversnitt:

For å sjekke om bredden over hullets tverrsnitt er tilstrekkelig utføres denne beregningen.

Aksialkraften  $F_{y_{hori}}$  da denne opptrer vinkelrett på det utsatte tverrsnittet. Det gjeldene snittet samt brudlinjen vises i figuren nedenfor.



Figur 58: figur som viser betingelsene for beregning av brudd eller varig deformasjon i grunnmaterialets nettotversnitt.

Følgende formel benyttes.

$$\sigma_n = \frac{F_{y_{hori}}}{t \cdot (b - n \cdot d_h)} \quad (8.5)$$

Spenningen blir da.

$$\sigma_n = \frac{468,23}{2 \cdot 7 \cdot (55 - 1 \cdot 20)} = \mathbf{0,955 \text{ MPa}}$$

Spenningen akseptabel da den er langt under flytegrensen. Dermed kan nåværende tverrsnittsprofil beholdes.

### 8.1.6 Tverrsnittvalg for øvre leddbrakett

Ved vertikal last vil den øvre delen av leddbraketten bli utsatt for bøyemoment. Det antas at størrelsen på momentet vil være det samme som ved innerst på armprofilen slik som vist i delkapittel 8.1.1. Det vil da si at braketten vil kreve en profil med et motstandsmoment på minst  $14695 \text{ mm}^3$ .

Det ses bort fra eventuelle skjærkrefter i denne beregningen da disse vil være så små at de kan neglisjeres.

Ved en rektangulær tverrsnittprofil beregnes motstandsmomentet på følgende måte.

$$W_{b_{ledd}} = \frac{B \cdot H^2}{6} \quad (8.6)$$

Det velges en bredde 170 mm og høyde på 30 mm. Det gir følgende motstandsmoment.

$$W_{b_{ledd}} = \frac{170 \cdot 30^2}{6} = \mathbf{25500 \text{ mm}^3}$$

Dette er riktignok noe høyere enn kravet, men gir en ekstra sikkerhet dersom kreftene skulle opptre på andre måter enn tiltenkt.

## 9 Ekstern konsepttesting

Dette kapittelet vil omhandle en ekstern test som skal være med å sikre kvaliteten på arbeidet i oppgaven. Testen vil være i form av en ekspert test der det blir spurt et utvalg av fagpersonale ved NMBU spørsmål knyttet til oppgaven. Ettersom at testen skal være ekstern må fagpersonalet bestå av personer som har ikke har direkte tilknytning til sensuren eller til den ordinære veiledningen av denne oppgaven. Av hensyn til tiden tilgjengelig vil testen være noe forenklet.

### 9.1 Målsettinger for testingen

Testen vil være todelt. Første del vil omhandle produksjonen av konstruksjonen samt spørsmål knyttet til kostandandene ved prototyping. Andre del av testen vil omhandle løsningene som ble valgt ved hjelp av egenskreeningsprosessen.

Målet ved å utføre denne testen er får å kontrollere om de tiltenkte produksjons- og sammenføyningsmetodene samt estimert tidsforbruk for produksjonen virker fornuftige. Ved del to av undersøkelsen sjekkes det om de valgte løsningene virker rimelig.

### 9.2 Ekspertgruppe

Til første del av testen ble det spurt to personer tilknyttet verkstedsavdelingen ved NMBU. Disse personene er som følger:

Tabell 55: Ekspertgruppe tilknyttet verkstedavdeling som deltok in eksterntesting.

Navn	Tittel	Fagfelt
Gunnar Torp	Overingeniør	Verkstedteknikk
Bjørn Tenge	Industrimekaniker	Verkstedteknikk

Til del to av testen ble en person med maskiningeniør bakgrunn spurt. Denne personen er følgende:

Tabell 56: Ekspert med maskiningeniør bakgrunn som deltok i eksterntesting.

Navn	Tittel	fagfelt
Egil Stemsrud	Senioringeniør	Maskin

### 9.3 Innhold og form på testskjemaer, kommunikasjonsform

Informasjonen og spørsmålene i testen ble formidlet muntlig og ved hjelp av bilder og tabeller fra en utskrift av et tidligere utkast av denne rapporten. Hensikten med denne formidlingsformen var for å oppfordre deltagerne i testen til en mer åpen diskusjon. På denne måten kunne det potensielt oppstå ny relevant informasjon som ikke tidligere har blitt avdekket.

Følgende spørsmål ble stilt.

#### Del 1:

- Ettersom at legeringen Aluminium 7075 er valgt vil det ikke være mulig å bruke sveising for sammenføring. Kan Aluminiums lim være en et godt alternativ? (viser til bilder av CAD-modell)
- Ser de valgte produksjonsmetodene fornuftig ut? (viser til tabell med oversikt over produksjonsmetoder i kapittel 12)

- I kostnadsanalysen er det estimert et tidsforbruk for produksjonen av en prototype, ser dette estimatet fornuftig ut? (viser til tabell med kostnadskalkylen i kapittel 12)
- Hvilke typer lager vil være mest aktuell å benytte i bevegelige ledd, glidelager eller rullelager/kulelager?

**Del 2:**

Ser de valgte løsningene fornuftig ut? (viser til kapitler 6 og 7)

## 9.4 Resultater og resultattolking

**Del 1.****Svar på første spørsmål:**

I flybransjen er både aluminiumslim og nagling svært utbredt. Utviklingen av lim-teknologi har ført til at aluminiumslim bare har blitt sterkere og sterkere gjennom årene. Valget av lim som sammenføyningsmetode bør da være tilstrekkelig for dette prosjektet.

**Svar på andre spørsmål:**

De valgte metodene ser noenlunde OK ut, men enkelte av brakettene bestående av aluminium bør helst ikke knekkes til riktig form, men heller kuttes fra en ekstrudert profil. Ved fresing/maskinering bør det benyttes en CNC-maskin. Propelltuppen bør CNC-freses fremfor å dreies. Stansing og pressing vil være en god metode for å fremstille kuppelen som utgjør fallskjermbeholderen, men dette kan ikke utføres på verkstedet til NMBU da det mangler tilstrekkelig utstyr. Det kan i tillegg undersøkes om noen av delene kan kjøpes tilnærmet ferdige deler som bare trenger litt tilpasning, for å spare på materiale og maskineringskostnader.

**Svar på tredje spørsmål:**

Den estimerte tiden ser akseptabel ut gitt at tiden avsatt til maskinering er inklusivt innstilling og oppsetting av programvare for hver komponent. I tillegg ble det opplyst om at det er vanlig å oppgi lengere tid enn det som er tiltenkt, slik at budsjettet og tidskjemaet ikke overskrides selv om det skulle oppstå problemer ved produksjonen.

**Svar på fjerde spørsmål:**

Dersom det ikke er viktig at lagrene er friksjonsfrie vil glidelagre være et godt alternativ da disse krever lite smøring eller vedlikehold.

**Del 2:****Svar på spørsmål:**

I droner og helektoper er det vanlig at tyngdepunktet ligger under propellene, det vil derfor være lurt å plassere propellene på toppen.

Dersom en propell eller arm skulle ryke vil det være nødvendig å ha reservere propeller som kan kompensere for den tapte propellen. Det vil at enkelte motorer vil måtte rotere hurtigere enn andre for at dronen skal ligge stabilt i luften. I tillegg må det være en symmetrisk plassering av propellene slik at dronen ikke spinner rundt sin egen akse ved tap av funksjon i en propell.



Det må være noe som motvirker drivmomentet til propellene slik at den ikke spinner rundt seg selv når alle propellene roterer i samme retning. Dette kan løses eksempelvis med mot-roterende propeller eller en rotor med egen propell.

### **Resultater:**

Følgende endringer og tolkninger gjøres på bakgrunn av responsen i eksterntesting.

#### **Del 1:**

- Det velges å gå videre med aluminiumslim som sammenføyningsmetode.
- Produksjonsmetodene nevnt i rapporten endres slik at det samsvarer med forslagene til ekspertene. Det vil også presiseres hvilke deler som må fremstilles eksternt fra NMBUs lokaler.
- Tidsestimeringen anses som akseptabel. Det presiseres at Maskineringsposten inkluderer innstilling av programvare.
- Glidelager velges.

#### **Del 2:**

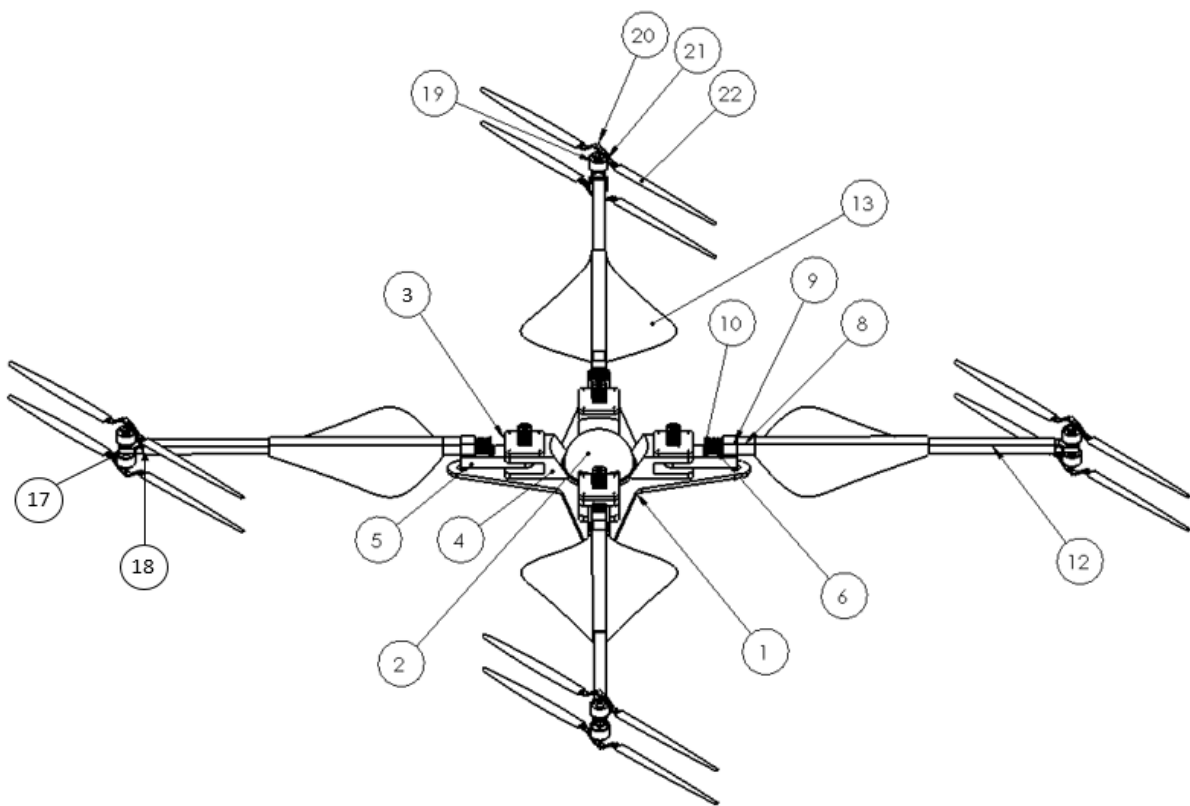
- Valget av løsninger anses som akseptabel, da rotasjonsleddet kan sørge for symmetrisk plassering av propeller dersom en svikter. I tillegg er det valgt en løsning som gir lavt tyngdepunkt og en løsning som motvirker drivmomentet av propellene.
- Ved en videre utvikling av prosjektet vil det bli presisert at programvaren som må utvikles for å styre dronen må sørge for at motorene må kunne gå på ulik hastighet

## 10 Produktarkitektur og konseptdesign

I dette kapitlet vil sammensetningen av konstruksjonen legges frem. Det blir først presentert et sammenstillingsbilde i sort/hvit med nummeranvisninger som indikerer de ulike delene. Deretter kommer det bilder i farger som viser konstruksjonen fra ulike vinkler og bilder av hoveddelene til konstruksjonen. Videre presenteres det alle komponentene som er egen designet og tilslutt komponentene som må kjøpes inn.

### 10.1 Sammenstilling

Bildet nedenfor viser et sammenstillingsbilde med nummeranvisninger for de ulike delene. Konstruksjonen består av både innkjøpte og egendesignede deler. Gjenget stang for teleskopering og rotasjonsakselen vises ikke på bildet.



Figur 59: Sort/hvit bilde av konstruksjonen med nummeranvising.

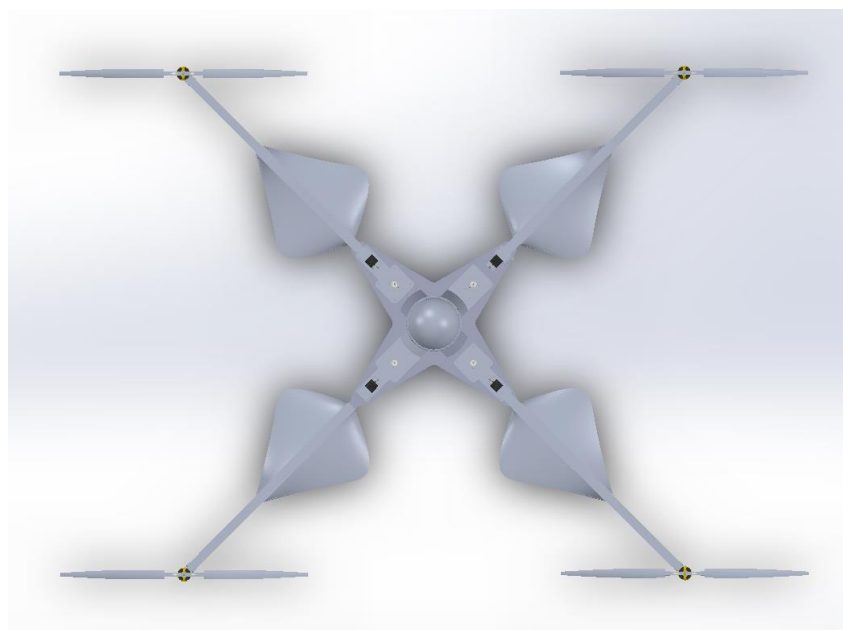
Tabellen nedfor er en oversikt over komponentene på sammenstillingsbildet. Hver komponent er tildelt et nummer og en kort beskrivelse.

Tabell 57: Komponentliste med tilhørende nummeranvisning og beskrivelse.

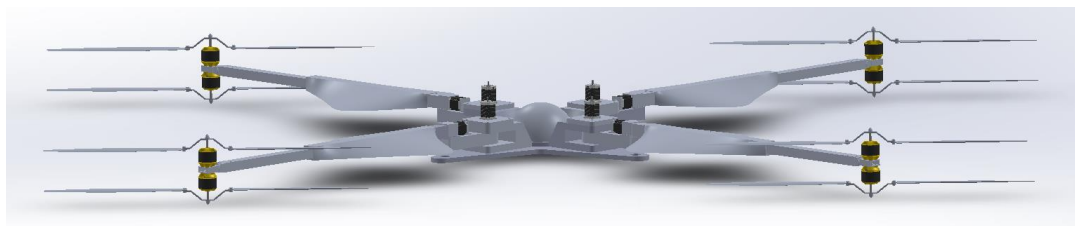
Nummer	Komponent	Beskrivelse
1	Midtstruktur	Underplaten som propellarmene festes på
2	Fallskjermbeholder	Beholderen til den ballistiske fallskjermen
4	Rotasjonsleddbrakett	Braketten til rotasjonsleddet
3	Rotasjonsmotorbrakett	Braketten som rotasjonsmotoren monteres på
5	Rotasjonsleddøye	Øyet til rotasjonsledd og monteringsplattform for teleskopmotor
6	Motor	Motor som styrer rotasjon eller teleskopering
10	Bakre teleskopmotorbrakett	Brakett som holder fast teleskoperingsmotor
9	Første profilbrakett	Brakett som holder fast første armprofil
8	Første armprofil	Første hovedprofil for propellarmene
12	Andre armprofil	Andre hovedprofil for propellarmene
18	Propellvinkelleddøye	Øye til ledd som tillater vinkling av propellene
17	Propellvinkelledd	Andre del av ledd som tillater vinkling av propellene
21	Mellomdel propell	Mellomdel til propell som er en del av sammenfoldingsmekanismen
20	Propellnavtupp	Tuppen på propellnavet, holder propellene på plass.
13	Vinge	Vinge for ekstra løftekraft
19	Propellmotor	Motoren til propellene
22	Propell	Propell som er sørger for skyvekraft til kjøretøyet.

## 10.2 Design av hovedelementer

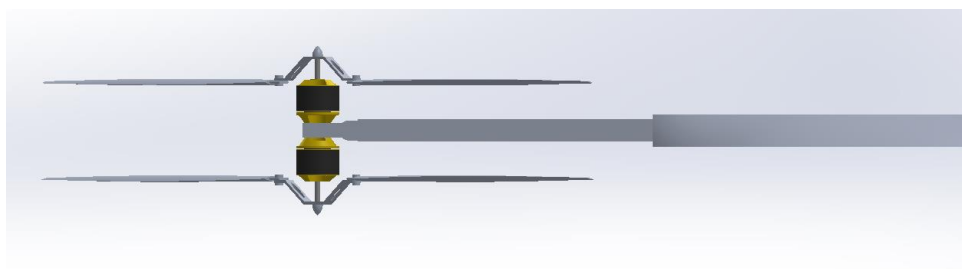
Bildene nedenfor viser hvordan konstruksjonen ser ut. Det vises først hele konstruksjonen ovenfra også fra siden, deretter følger det bilder som hvordan hovedelementene er satt sammen.



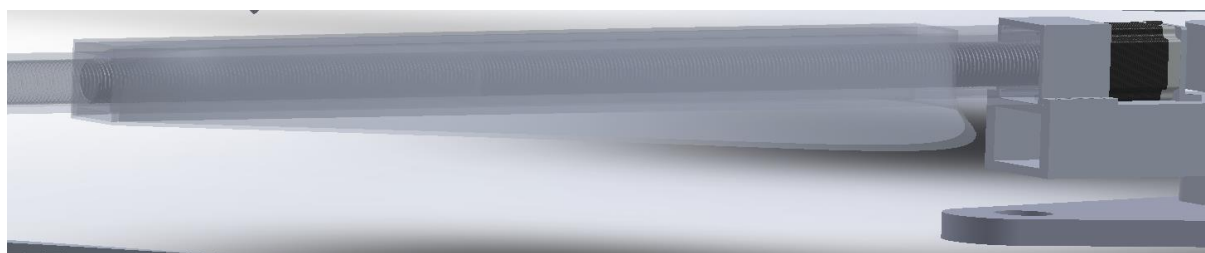
Figur 60: Propellkonstruksjonen sett ovenfra.



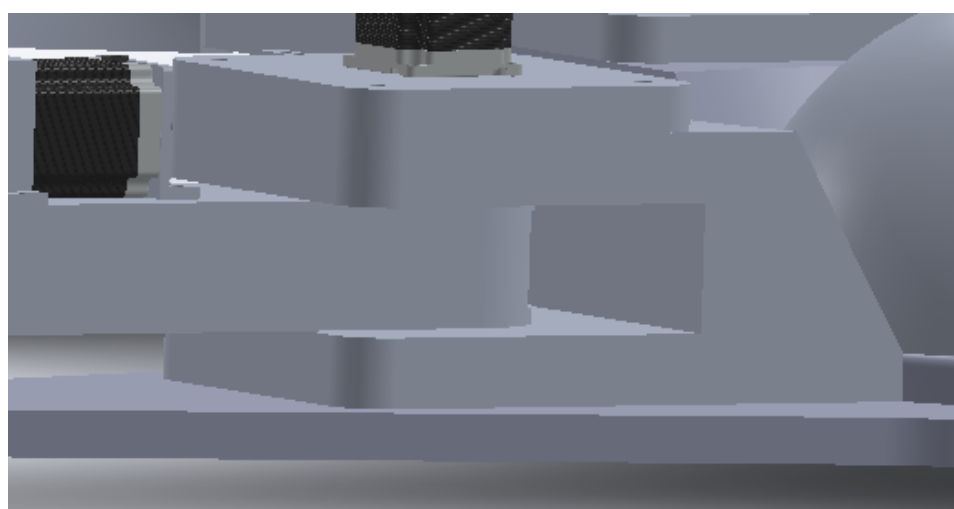
Figur 61: Propellkonstruksjonen sett skråstilt fra siden.



Figur 62: Illustrasjon av ytterdelen på en av propellarmene.



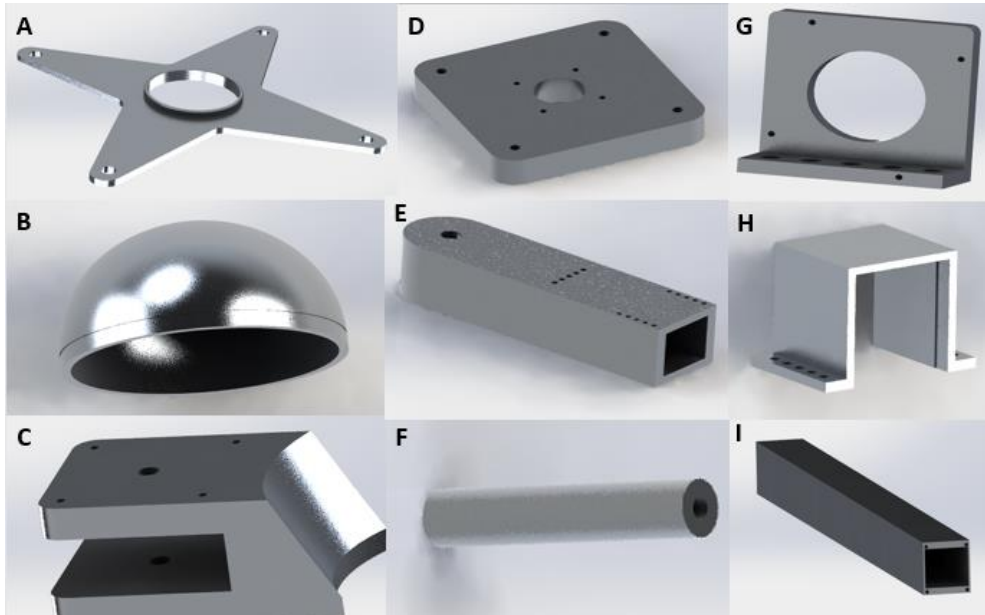
Figur 63: Illustrasjon som viser innvendige gjenger som sørger for teleskoperingsfunksjonen av armene.



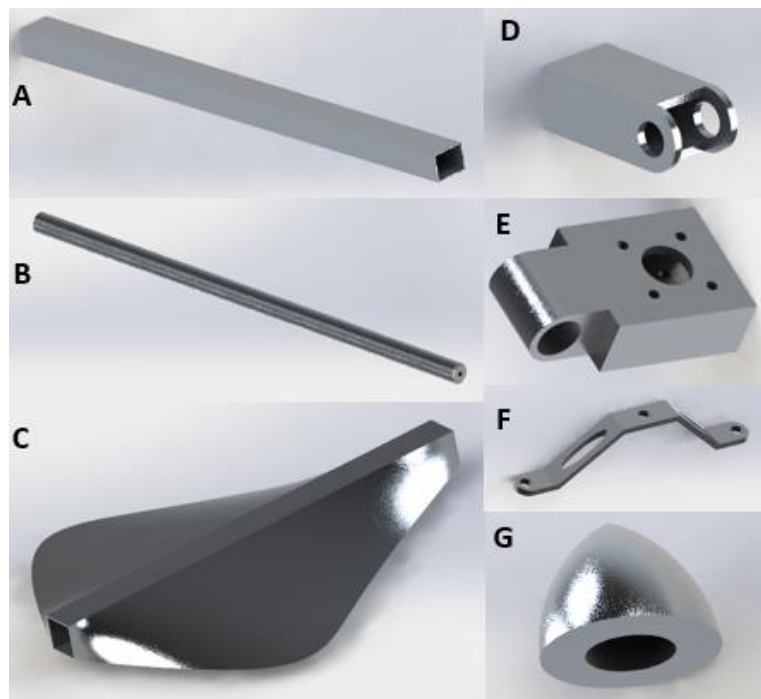
Figur 64: Illustrasjon som viser rotasjonsleddet til armene.

### 10.3 Design av komponenter

Bildene nedfor viser hvordan de egendesignede komponentene ser ut. Alle delene er ikke nødvendigvis ferdigstilte. Noen av delene vil kreve videre arbeid før konstruksjonen er komplett. Delene er allikevel tatt med for å vise hvordan de ser ut på nåværende CAD-modell.



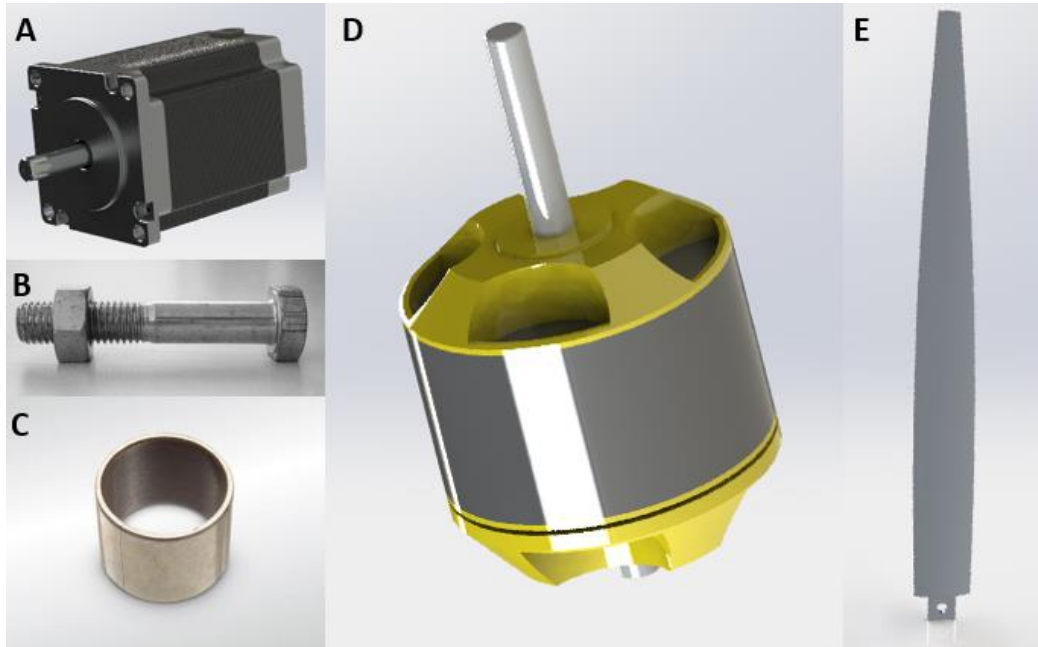
Figur 65: Illustrasjon over designede komponenter. A: Midtstruktur, B: Fallsjermbeholder, C: Rotasjonsleddbrakett, D: Rotasjonsmotorbrakett, E: Rotasjonsleddøye, F: Rotasjonsaksel, G: Bakre teleskopmotorbrakett, H: Første profilbrakett, I: Første armprofil.



Figur 66: Illustrasjon over designede komponenter. A: Andre armprofil, B: Innvendig gjenget stang, C: vinge, D: Propellvinkelledd, E: Propellvinkeløye, F: Mellomdel propell, G: Propellnavtupp.

## 10.4 Modulisering og standardkomponenter

Bildet nedenfor viser hvilke deler som må kjøpes inn. Bildene består både av tegninger i CAD og utsnitt av komponenter fra nettkilder. I tillegg til komponentene nedenfor vil det måtte kjøpes inn blant annet egnet maling til konstruksjonen og aluminiumslim som skal benyttes til sammenføring.



Figur 67: Illustrasjon av delene som skal kjøpes inn. A: Motor for rotasjon og teleskopering, B: Bolter, C: Glidelager, D: Motor for propell, E: Propellblader. (CAD-modellene av motorene er hentet fra Grabcad) [76] [77] [78]

## 11 Robusthet, vedlikehold og resirkulering

I dette kapitlet vil det bli utført en FEM-analyse på en forenklet del av CAD-modellen. Resultatet av den vil kontrolleres opp mot håndberegningene i kapittel 8. Analysen vil kunne brukes til eventuell optimalisering av konstruksjonen. Videre vil det bli utredet hvilken overflatebehandling som skal benyttes og hva som vil kreves i form av vedlikehold. Til slutt vil miljøkravene samt resirkulering av konstruksjonens materialer bli gjennomgått.

### 11.1 Strukturanalyse med FEM/FEA

I FEM analysen er det antatt at armprofilen og rotasjonsleddet vil være de kritiske elementene i konstruksjonen. Det er derfor benyttet en forenklet modell i analysen som består av kun disse komponentene.

Hensikten med analysen er å se om de mest kritiske elementene i konstruksjonene er tilstrekkelig dimensjonert og for å se om det kan gjøres noen eventuelle forbedringer.

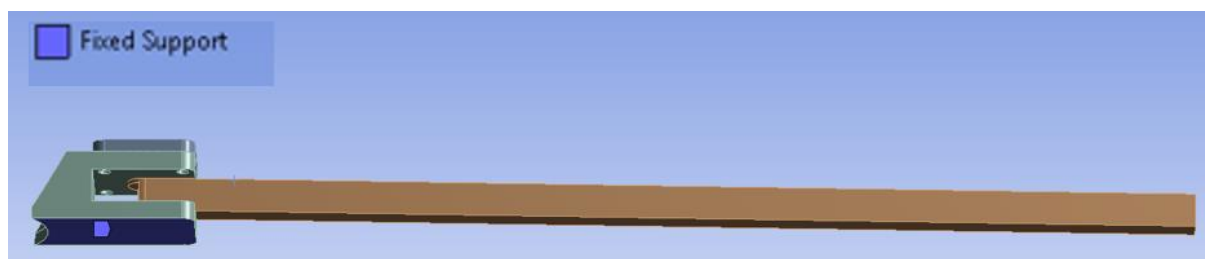
Det vil bli beregnet deformasjon og von mises spenning ved både vertikal og horisontal dynamisk lastfaktor ved hjelp av ansys workbench. Spenningen vil kunne sjekkes opp mot beregningene i kapittel 8 for å kontrollere at analysen er utført riktig.

Legeringen aluminium 7075 er brukt som materiale for analysen. Denne legeringen var ikke lagt inn i programmet og dermed måtte følgende materialdata bli plottet inn.

Tabell 58: oversikt over materialdataen som ble benyttet i FEM-analysen.

Egenskap	Verdi
Flytegrense (strekk)	460 MPa
Flytegrense (trykk)	460 MPa
Bruddgrense (strekk)	540 MPa
Bruddgrense (trykk)	540 Mpa
E-modul	71 GPa
Poissons tall	0,33

Modellen ble opplagret med fast innspenning på undersiden av leddbraketten. Denne opplagringen ble valgt ettersom at den skal sannsynligvis festes med aluminium-lim til resten av konstruksjonen. Opplagringen er vist på figuren nedenfor.



Figur 68: Bilde som viser opplagringen for modellen i Ansys workbench.

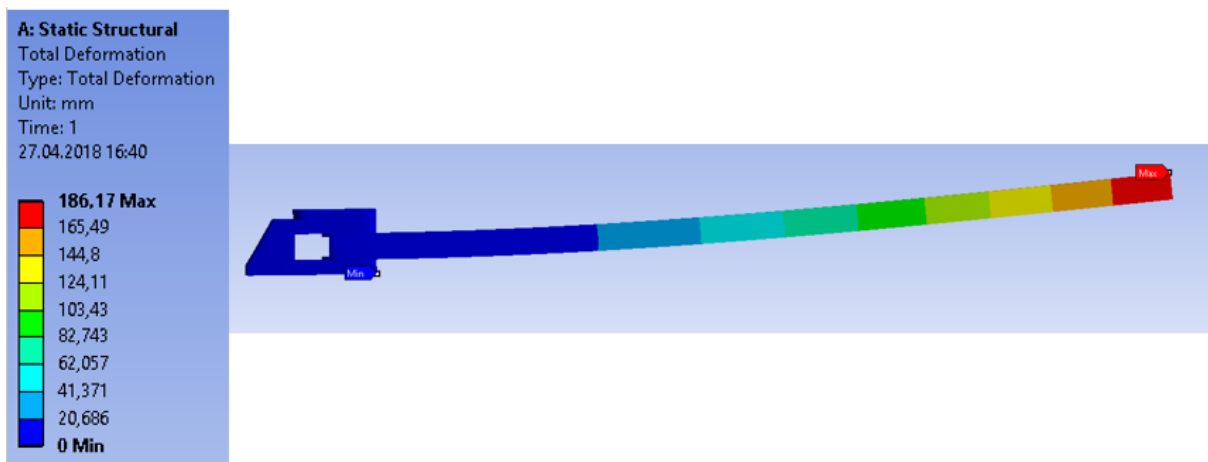
For å unngå spenningskonsentrasjoner ved spisse hjørner i elementene ble meshet i profilen omgjort til firkanter slik som vist i følgende figur.



Figur 69: bilde som illustrerer meshingstypen på modellen i Ansys workbench.

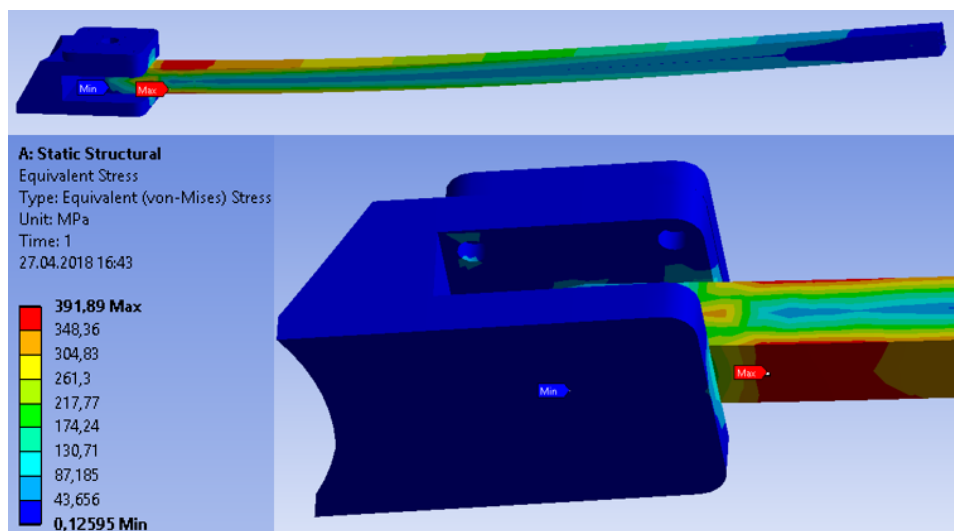
### Analyse med vertikal last

Videre ble det påført en vertikal last med en størrelse på 3862,68 N slik som beregnet i kapittel 8. Denne lasten resulterte i en deformasjon på 186,17 mm ytterst på profilen. Vist på figuren nedenfor.



Figur 70: Bilde som viser at ved en påført last på 3862,68 N vil profilen få en deformasjon på ca. 186,2 mm.

Von mises spenningen ble ca. 391.9 Mpa. Der maks spenningen var innerst på undersiden av armprofilen. Denne spenningen er omtrent det samme som ble beregningen i kapittel 8. noe som tyder på at analysen er korrekt utført.

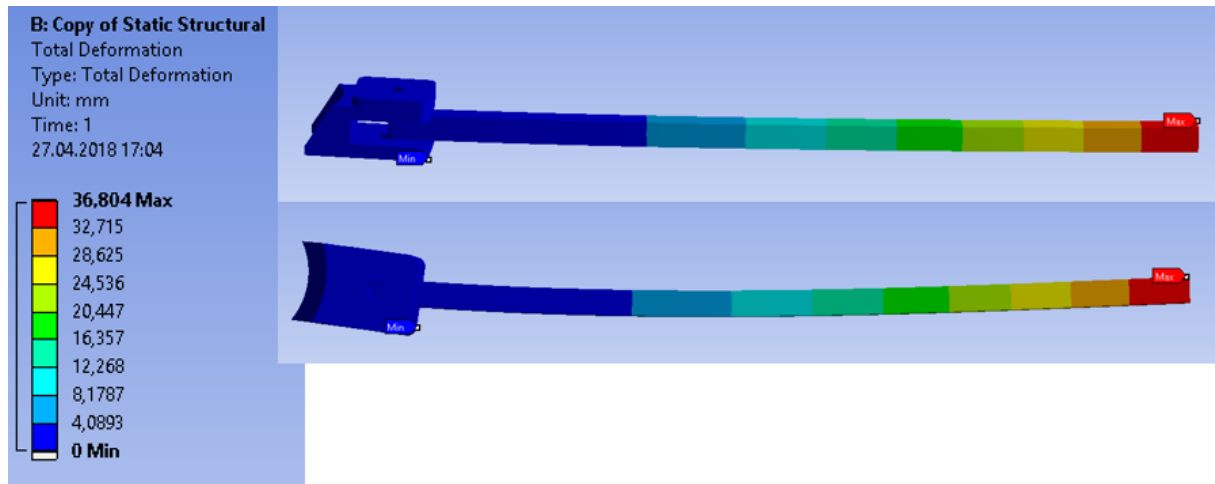


Figur 71: bilde som viser vertikal lasten resulterer i en von mises spenning på ca. 391,9 MPa.



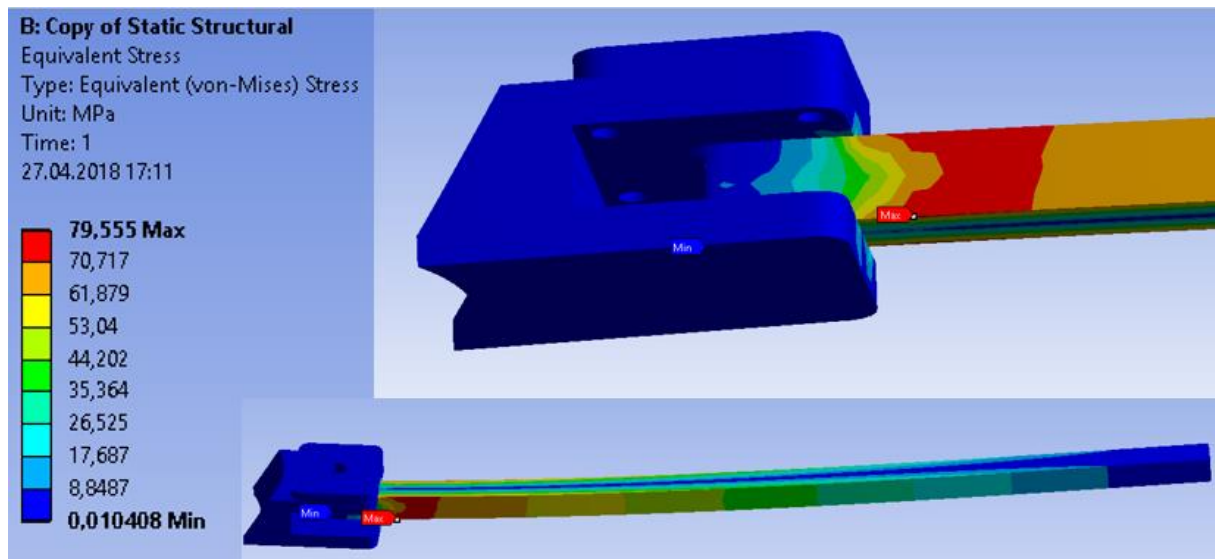
## Analyse med horisontal last

Ved påføring av horisontallasten på 662,17 N 45 grader på armen, ble deformasjonen ca. 36,8 mm ytterst på armprofilen.



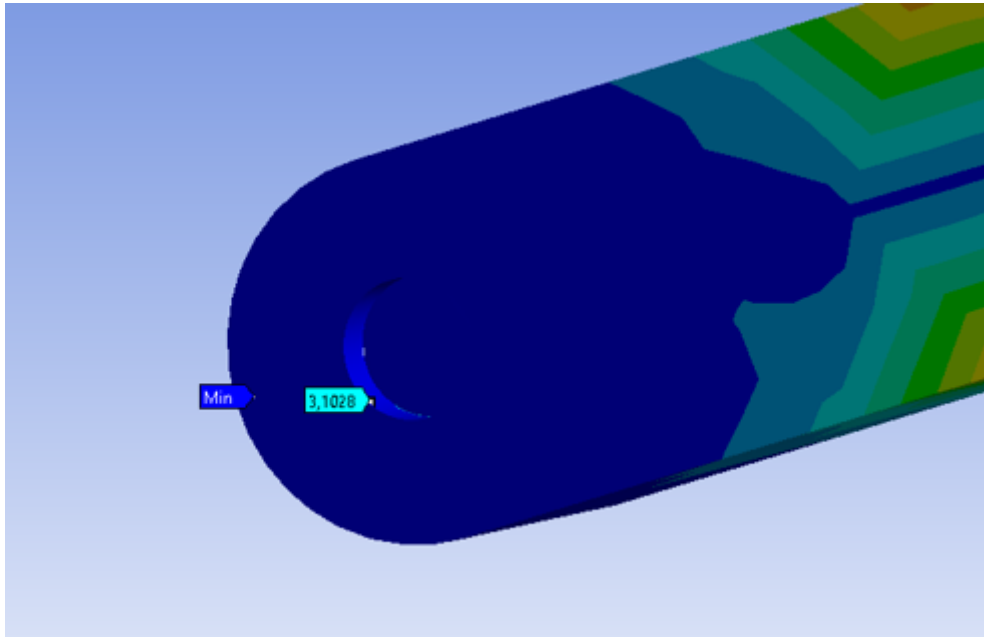
Figur 72: bilde som viser en deformasjon på ca. 36,8 mm ved påføring av en 45 graders horisontal last på 662,17 N.

Horisontallasten resulterte i en von mises spenning på ca. 79,6 MPa på sidekanten av profilen noe som er nokså likt beregningsverdien.



Figur 73: bilde viser at ved påført vertikal last på 662,17 N ved 45 grader vil von mises spenningen bli ca. 79,6 MPa.

Hulltrykkspenningen på hullet i profilen ble også nokså likt som håndberegningene da ansysverdien ble på ca. 3,1 MPa.



Figur 74: Bildet viser at hulltrykspenningen på innsiden av hullet i armprofilen ble ca. 3,1 MPa.

### Oppsummering

Ut fra resultatene av analysen kan det vurderes å ha en større profil for å minke deformasjonen dersom det viser seg å være nødvendig samtidig kan man vurdere å kutte ned på dimensjonen til leddbraketten da spenningen den utsettes for et stykke unna flytegrensen. Dette vil hjelpe til å redusere vekten.

I CAD-modellen har bredden til det innerste profilstykke dermed blitt endret.

## 11.2 Overflatebehandling og vedlikehold

### Overflatebehandling

Den valgte legeringen vil være utsatt for sprekk dannelse ved korrosjon. Det vil derfor være viktig å etterbehandle overflaten med en beskyttende maling. I tillegg vil malingen være med å beskytte mot salt (som kan bidra til korrosjon), støv og PH.

Ved påføring av maling på luftfartøy må det følges noen faste trinn for at overflatebehandlingen skal fungere slik som tiltenkt gitt av føringer fra FAA sitt regelverk. [41]

For å få vekk smuss og andre urenheter på overflaten må den først skrubbes med scotch-brites pads og et alkalisk rensmiddel som er egnet for luftfartøy.

Videre må oksidlaget fjernes fra aluminiumet. Til det brukes en syre-etsing oppløsning.

Deretter påføres det et aluminiumkonverteringsbelegg som er med å beskytte mot korrosjon.

Så kan grunningen påføres. Denne er også med å beskytte mot korrosjon og hjelper til å binde oppstrøket. Til dette brukes en todelt epoksymaling.

Til slutt påføres oppstrøket bestående av en polyuretanmaling. Denne malingen er motstandsdyktig mot UV-lys og mekanisk og kjemisk slitasje.

## Vedlikehold

Vedlikehold på kjøretøyet skal utføres i henhold til luftfartstilsynets forskrift om kontinuerlig flyvedyktighet. Det skal foregå en inspeksjon minst en gang i året der følgende punkter skal kontrolleres/gjennomføres. [39]

- Konstruksjonen skal erkjennes flyvedyktig ifølge gjeldene reglement gitt av luftfartstilsynet
- Motorer og propeller skal erkjennes flyvedyktig ifølge gjeldene reglement gitt av luftfartstilsynet.
- Kjøretøyet skal være godkjent etter seneste utgaver av forskrifter for flyvedyktighet.
- Komponenter utsatt for utmatting skal inspiseres og godkjennes.
- Det skal utføres veiing og kontroll av tyngrepunkt plassering for kjøretøyet.
- Alle kjente defekter skal korrigeres.
- Alle reparasjoner skal utføres og loggføres i henhold til gjeldene forskrifter.

I tillegg til punktene nevnt ovenfor bør malingen kjøretøyet inspiseres.

Kjøretøyet benytter seg av glidelager i bevegelige deler. I motsetning til rullelager vil disse være tilnærmet smørefrie og dermed vil man spare noe tid på vedlikehold.

### 11.3 Miljøkrav og resirkulering

#### Miljøkrav

For kontrollere at fremstillingen av produktet ikke vil være for påkjennende på miljøet er det blitt utført en analyse av Energi forbruk og Co2 utslipp ved produksjonen av propellkonstruksjonen ved hjelp av CES Edupack. Analysen er beregnet for produksjon av kun en enhet.

For å forenkle analysen er det forutsatt at hele konstruksjonen vil bestå av legeringen Aluminium 7075 T6. Utslippsverdiene for konstruksjonen sammenlignes med en tilsvarende konstruksjon bestående av Titanlegeringen Ti-6AL-4V, noe som er et vanlig materiale å anvende i luftfartøy. [79]

I analysen er det antatt at begge konstruksjonene benytter seg av en vanlig andel av resirkulert materiale i produksjonsprosessen og at produksjonsmetoden som er mest benyttet vil være ekstrusjon. Ved endt levetid skal begge konstruksjonene resirkuleres. Som frakt er det antatt at det benyttes en varebil på 14 tonn som må kjøre 50 km, noe som er omtrentlig avstanden mellom Ås og Astrup sin produktavdeling for aluminium.

For å kunne finne ut for mye verdiene for energi og Co2 blir ved produksjonen, må det plottes in en vekt for konstruksjonen. For å finne vekten som skal brukes er det blitt benyttet Solidworks. Vekten for delene som konstruksjonen består av har blitt summert opp. Det er derimot ikke tatt med vekt for propeller, motorer og vinger da disse ikke regnes som en del hovedkonstruksjonen og kommer sannsynligvis til å måtte kjøpes inn. Disse komponentene vil også bestå av flere ulike materialer og kommer til å ha en litt annen utforming samt dimensjon enn de som er tegnet i CAD-modellen. Vekten som oppgis for disse komponentene vil dermed ikke være reell og kan ikke benyttes. I denne oppgaven har de kun en illustrativ funksjon.

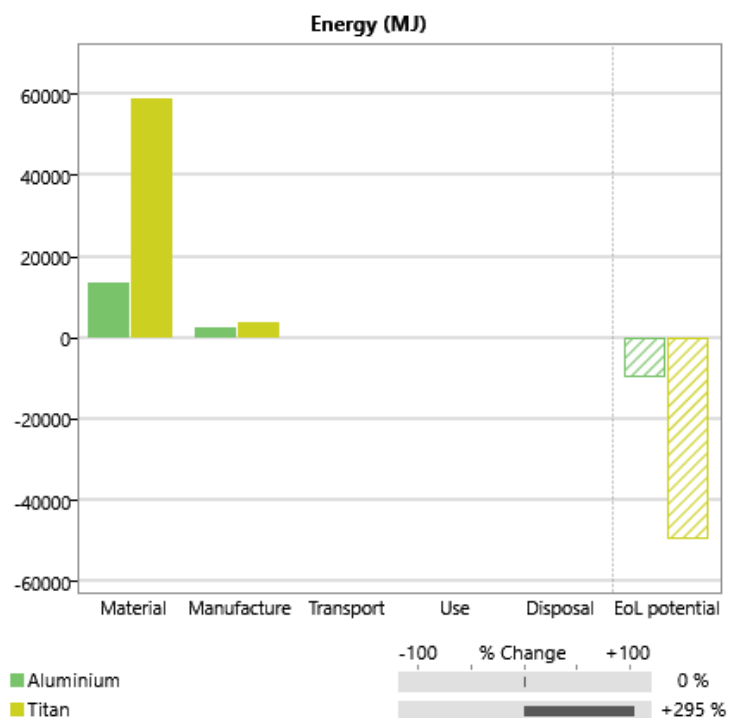
Tabellen på neste side viser oversikt og summen av vekten til komponentene som skal produseres.

Tabell 59: Oversikt over vekten av samtlige egendesignede komponenter. Verdiene er hentet fra solidworks.

Komponent	Vekt
Midtstruktur	24129,77 g
Fallskjermbeholder	4217.69 g
Rotasjonsleddbrakett	4x8137.18 g
Rotasjonsmotorbrakett	4x1505.32 g
Rotasjonsleddøye	4x1904.25 g
Rotasjonsleddaksel	4x89.16 g
Bakre teleskopmotorbrakett	4x42.50 g
Første profilbrakett	4x161.46 g
Første armprofil	4x2289.41 g
Andre armprofil	4x3050.48 g
Teleskopgjenge	4x1935.70 g
Propellvinkelledøye	4x174.19 g
Propellvinkelredd	4x182.27 g
Mellomdel propell	4x55.29 g
Propellnavtupp	4x7.82 g
<b>Sum</b>	<b>106487,58 g</b>

Totalvekten for komponentene vil være ca. 107 kg. Denne vekten er også benyttet for titanlegeringen i analysen da den omtrentlig dobbel så høy flytegrense og densitet.

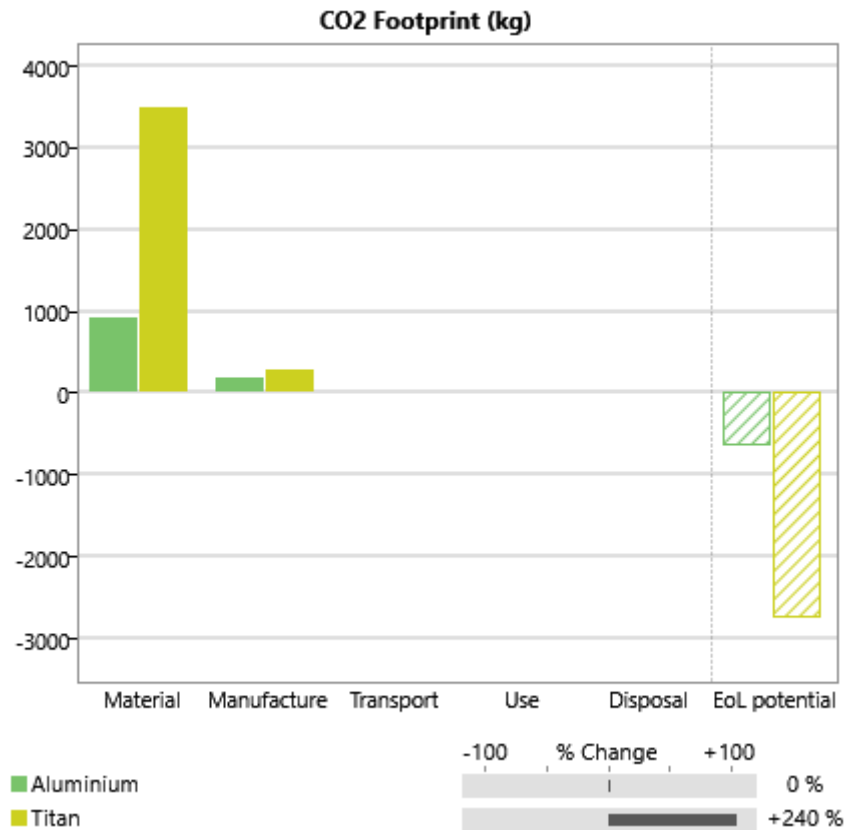
På følgende bilde er energiforbruket for hver av konstruksjonene illustrert.



Figur 75: Søylediagram som viser energiforbruk ved produksjon av propellkonstruksjonen. Produksjonen av kontusjonen i aluminium vil forbruke ca. 16000 MJ og ca. 10000 MJ av dette kan gjenvinnes ved resirkulasjon. Med Titan vil forbruket være på ca. 63000 MJ og ca. 50000 MJ av dette kan gjenvinnes ved resirkulasjon.

Den største andelen av forbruket går til produksjonen av materialet. For å få ned utslippsverdiene kunne det vært aktuelt å se om det er mulig å benytte en større andel av resirkulert materiale i produksjonsprosessen. Ut fra verdiene i diagrammet vil aluminium være sterkt foretrukket fremfor titan da det har langt lavere forbruk.

Figuren nedenfor illustrerer Co2 utslipp for produksjonen av konstruksjonen.



Figur 76: Søylediagram som viser Co2 utslipp ved produksjon av propellkonstruksjonen. Produksjonen av konstruksjonen i aluminium vil produsere ca. 1100kg og ca. 600kg av dette kan spares ved resirkulasjon. Med Titan vil forbruket være på ca. 3800 kg og ca 2800 kg av dette kan gjenvinnes ved resirkulasjon.

Igjen viser diagrammet at aluminium vil være sterkt foretrukket da også Co2 utslippene ved produksjon vil være langt lavere enn ved titan. Det er også verdt å merke seg at transport posten ved både energiforbruk og ved co2 utslipp gir ingen betydelig utslag i forhold til material og produksjonspostene.

**Resirkulering**

Ut fra analysen ovenfor kan man se at den største andelen for både energiforbruk og ved Co2 utslipp vil er utvinningsprosessen. Derfor kan der være svært lønnsomt å resirkulere, både med tanke på kostnader og miljøet.

Det behøves kun 5% av energien for å smelte om aluminium til gjenbruk sammenlignet med å utvinne det fra råkilden bauksitt og kvaliteten forblir det samme uavhengig av hvor mange ganger den blir omsmeltet.

En annen fordel ved resirkulering av aluminium er at ved gjenbruk så vil det være mindre behov for å utvinne nytt råstoff og dermed kreves det færre gruver. I tillegg til Co2 utslippene ved fremstillingen så er gruvene i seg selv en påkjenning på miljøet. [80]

## 12 Framstilling og produksjonskostnader

I dette kapitlet vil produksjonsmetodene for å komponertene som er egnedesignet legges frem. Videre vil det bli utført en kostnadskalkyle for å få et grovt estimat over hvor mye det vil koste for å produsere en prototype.

### 12.1 Produksjonsmetoder

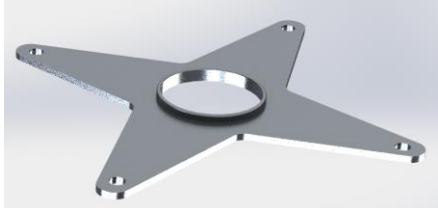
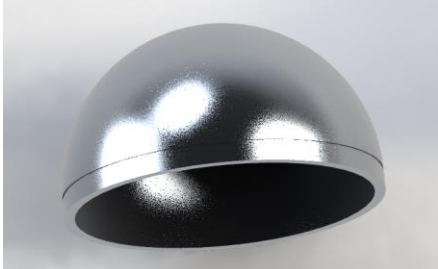
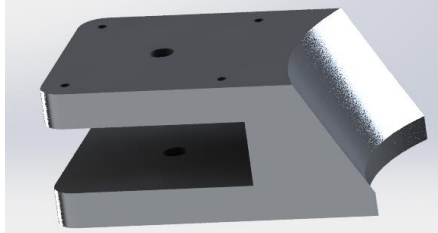
I denne oppgaven skal det kun utredes en plan for å produsere en prototype. Det er derfor blitt unngått å bruke produksjonsmetoder som er lite kostnadseffektive ved engangsbruk, eksempelvis støpning.

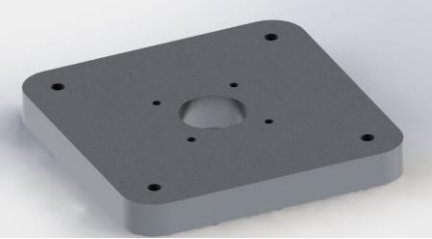

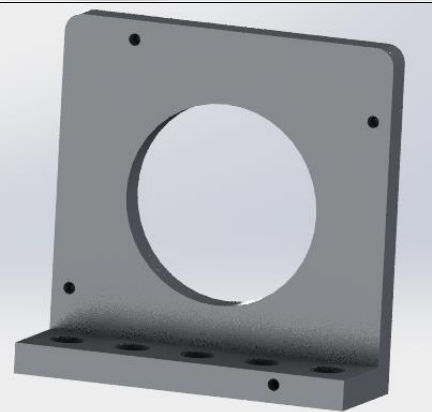
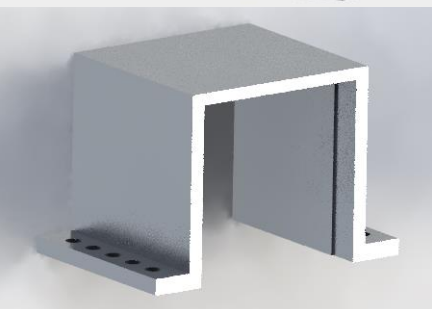
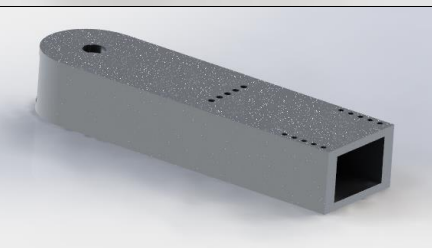
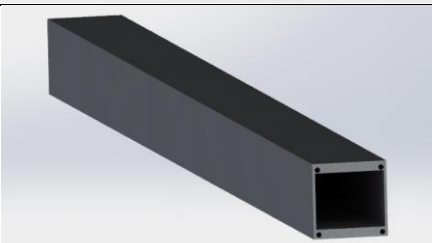
Der det har vært mulig er det blitt benyttet standard deler som modifiseres i noe grad fremfor å måtte produsere en helt ny utforming. Dette er med å bidra til å holde kostnadene nede. Delene skal produseres på NMBU sine verksteder med mindre noe annet er oppgitt.

Produksjonsmetodene har blitt kontrollert og godkjent av overingeniør Gunnar Torp og industrimekaniker Bjørn Tenge.



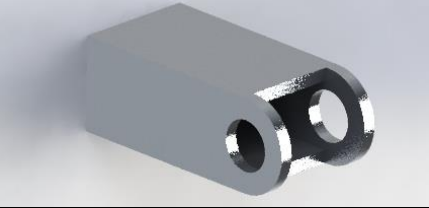
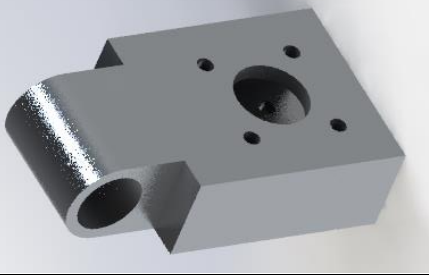

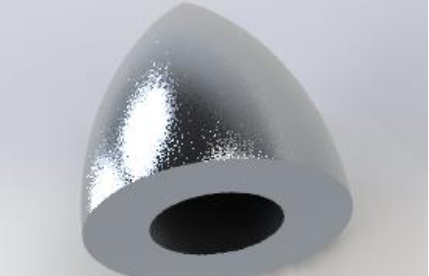
Samtlige komponenter som skal produseres er vist i tabell nedenfor med tilhørende produksjonsmetode. Deler som skal kjøpes inn er ikke tatt med i tabellen.

*Tabell 60: Oversikt over komponentene som skal produseres og hvilke produksjonsmetoder som skal benyttes for hver av komponentene.*

Komponent	Produksjonsmetode
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plate kjøpes</li> <li>• Hull bores ut</li> <li>• Platen maskineres til riktig form</li> <li>• Senterhull maskineres</li> <li>• Antall som skal produseres: 1</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plate kjøpes og presses og stanses til ønsket form</li> <li>• Kilespor maskineres</li> <li>• Må produseres på et eksternt verksted</li> <li>• Antall som skal produseres: 1</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC-freses fra aluminiumblokk</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ytterkant maskineres fra plate</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet og bores fra aluminiumsylinder</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet fra ekstrudert profil</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet fra profil</li> <li>• Hull borres</li> <li>• Spor maskineres</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet og slipes fra ekstrudert profil</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet fra ekstrudert profil</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet fra ekstrudert profil</li> <li>• Maskineres</li> <li>• Dreies innvendig for gjenge</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet</li> <li>• Bores</li> <li>• Dreies</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuttet og slippes fra ekstrudert profil</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC-freses fra aluminiumblokk</li> <li>• Hull borres</li> <li>• Antall som skal produseres: 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plate klippes og knekkes til ønsket form</li> <li>• Hull bores</li> <li>• Antall som skal produseres: 8</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNC-freses</li> <li>• Antall som skal produseres: 8</li> </ul>

## 12.2 Kostnadskalkyle for prototype

For å kunne anslå prisen til prototypen er det blitt utviklet en kostnadskalkyle. Konseptutvikling og produksjonsdelen er basert på et estimat over timepris samt et anslag over hvor mye tid som er brukt på de ulike aktivitetene. Estimatet over tidsforbruken har blitt kontrollert av industrimekaniker Bjørn Tenge.

Materialkostnadene er basert på vekten av de ulike komponentene som ble hentet fra solidworks samt kiloprisen på 7075 legeringen fra CES edupack. Prisen på maling og frakt er estimat basert på kilder fra nett og prisen på festelementene er et anslag. [81] [82]

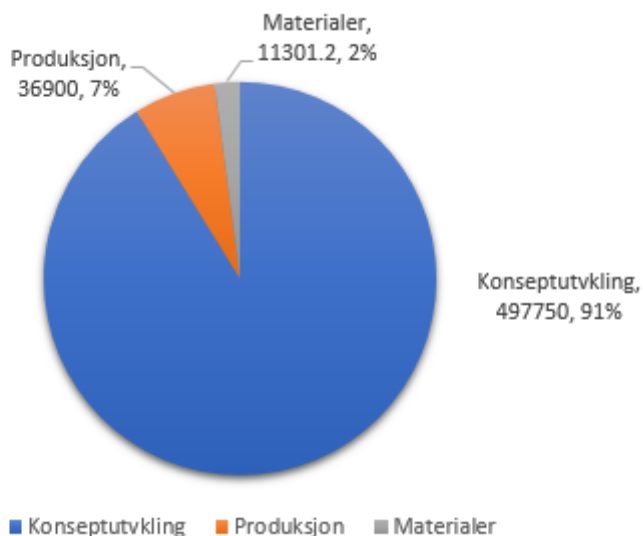
Kostnadskalkylen er vist i tabellen nedenfor. Motorer, propeller og vinger er ikke tatt med i beregningen.

Tabell 61: Kostnadskalkyle for utvikling av prototype.

<b>Konseptutvikling</b>	<b>Timer</b>	<b>Kvanta</b>	<b>Pris</b>	<b>Sum, NOK</b>
Utredningsarbeid	350	-	550	192500
Formgivning og design	150	-	550	82500
CAD/maskintegning	100	-	550	55000
Rapport	305	-	550	167750
<b>Delsum, konseptutvikling</b>	<b>905</b>	-	-	<b>497750</b>
<b>Produksjon</b>	<b>Timer</b>	<b>Kvanta</b>	<b>Pris</b>	<b>Sum, NOK</b>
Maskinering (inkludert programinnstillinger)	30	-	450	13500
Kutting	5	-	450	2250
Knekking	2	-	450	900
Pressing og stansing	5	-	450	2250
Dreining	5	-	450	2250
Boring	20	-	450	9000
Sammenføyning	10	-	450	4500
Overflatebehandling	5	-	450	2250
<b>Delsum, Produksjon</b>	<b>82</b>	-	-	<b>36900</b>
<b>Materialer</b>	<b>Timer</b>	<b>Kvanta</b>	<b>Pris</b>	<b>Sum, NOK</b>
Aluminiumplater 7075 T651	-	44,5 kg	34,1 NOK/kg	1517,45
Aluminiumprofiler 7075 T6	-	77 kg	34,1 NOK/kg	2625,7
Aluminiumrør 7075 T6	-	10,5 kg	34,1 NOK/kg	358,05
Diverse festelementer	-	-	-	500
Malingspakke	-	-	15 L	6000
Frakt og Annet	-	-	-	3000
<b>Delsum, Materialer</b>	-	-	-	<b>11301,2</b>
<b>Totalsum</b>				<b>545951,2</b>

Totalsummen for utvikling av protypen endte på 545951,2 NOK. Kalkylen har noe feilmargin da flere av postene er basert på anslag. Prisen kan dermed kun brukes som et grovt estimat på hva det ville kostet å utvikle en prototype.

Den største andelen av totalsummen gikk til konseptutvikling. Denne besto av hele 91%. Dette er illustrert ved hjelp av kakediagrammet nedenfor.

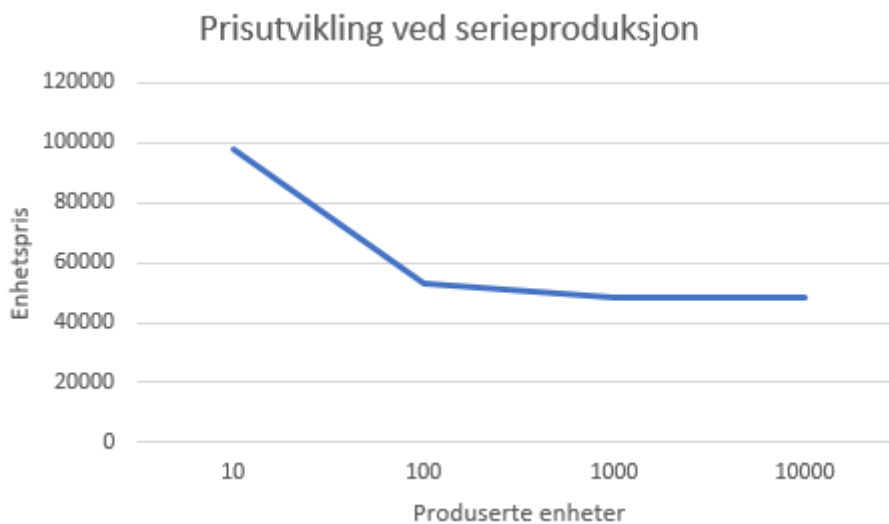


Figur 77: Kakediagram som viser kostnadsfordelingen i kalkylen for utvikling av en prototype.

### 12.3 Kostnadsanalyse for serieproduksjon

Dersom produktet skulle serieproduseres vil kostnadene knyttet til utviklingen av konseptet fordele på antall solgte enheter. Det vil si at jo flere enheter som produseres jo mindre vil enhetsprisen bli. Prisen vil etter hvert gå mot summen av materialer og produksjonskostnader som er 48201,2 NOK.

Ved antagelse av produksjonsprisen og materialprisen for å produsere en enhet forblir det samme som ved utvikling av en prototype vil prisutviklingen være slik som grafen viser nedenfor.



Figur 78: Pris utvikling ved serieproduksjon av propellkonstruksjonen.

I tabellen nedfor oppgis det hva enhetsprisen ville vært ved produksjon av 10, 100, 1000 og 10000 enheter. I tillegg vises det hva totalprisen blir for produksjonen ved de ulike antallene med produserte enheter.

*Tabell 62: Oversikt over enhetspris og totalkostnader for propellkonstruksjonen ved 10, 100, 1000 og 10000 enheter i NOK.*

Antall enheter	Enhets pris	Totalkostnader
10	97976.2	979762
100	53178.7	5317870
1000	48698.95	48698950
10000	48250.975	482509750

Ved 100 produserte enheter er enhetsprisen mindre enn en tiendedel av den opprinnelige prisen. Prisen reduseres ytterligere med litt under 5000 NOK ved 10000 produserte enheter, men totalkostnadene øker med ca. 90 gangen i forhold til kostnadene ved 100 produserte enheter.

#### 12.4 Konkurrentanalyse

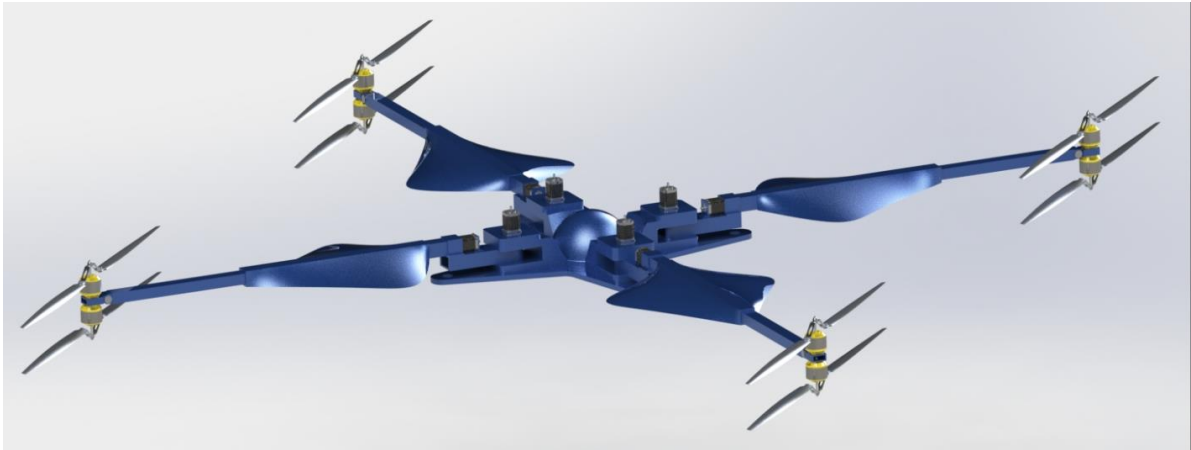
En mer omfattende analyse er gjort av Karen Elise Røsandnes og vil dermed ikke bli behandlet nærmere hér. [14]

## 13 Markedspresentasjon

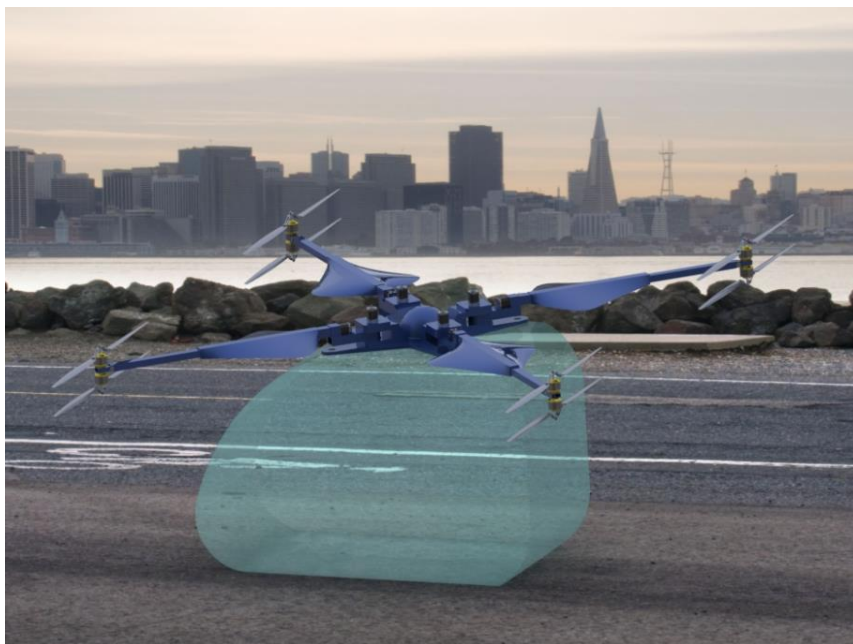
I dette kapitlet presenteres det rendrerte bilder av propellkonstruksjonen med alle delene og påført maling. Det vises også hvordan modellen vil se ut montert på en tiltenkt kabin i et landskap. Videre forklares det hvordan konstruksjonen skal monteres. Til slutt legges produktlogoen og emballasjen frem.

Modellen krever fremdeles noe arbeid for den kan ferdigstilles. På dette stadiet kan den anses som konseptuell og kan dermed brukes til å få en ide over hvordan sluttproduktet kan se ut.

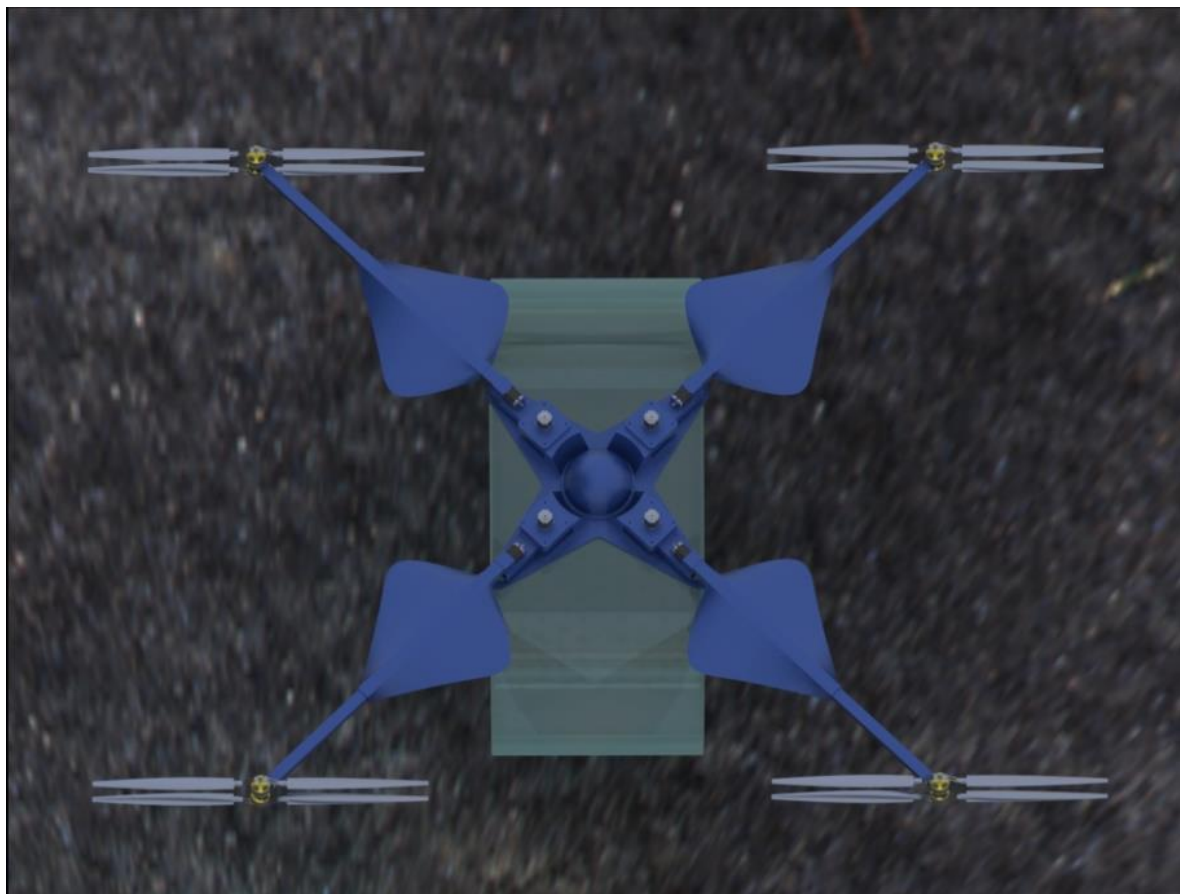
### 13.1 Rendrerte framstillinger



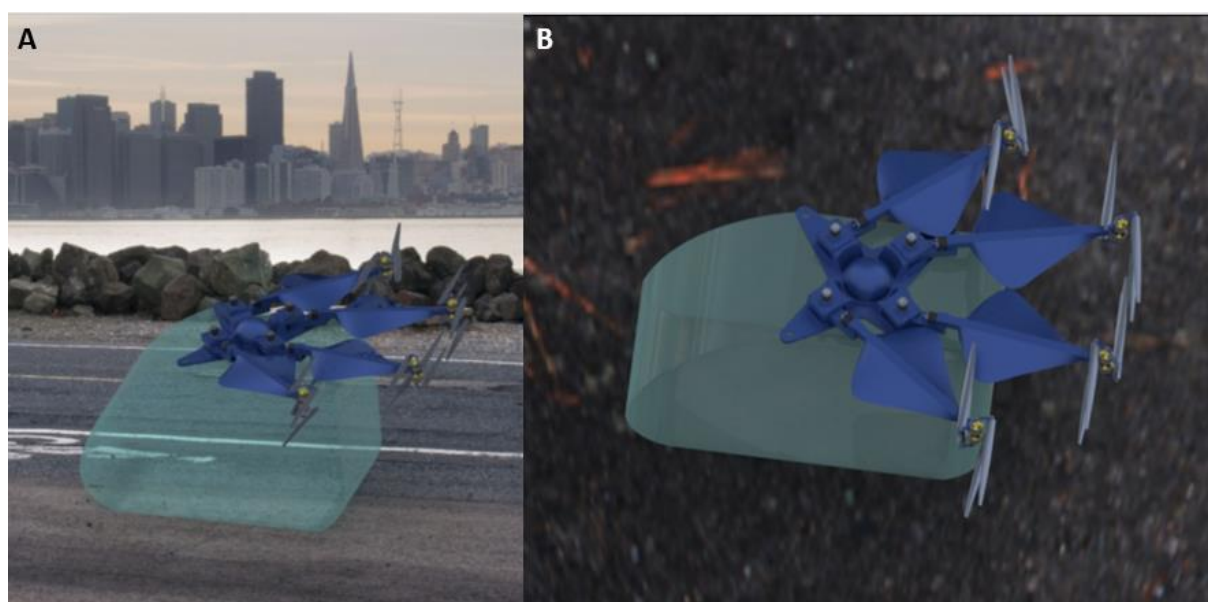
Figur 79: Rendert bilde av propellkonstruksjonen.



Figur 80: Propellkonstruksjonen montert på en boks som representerer kabinen til Dolphin sky i et landskap.



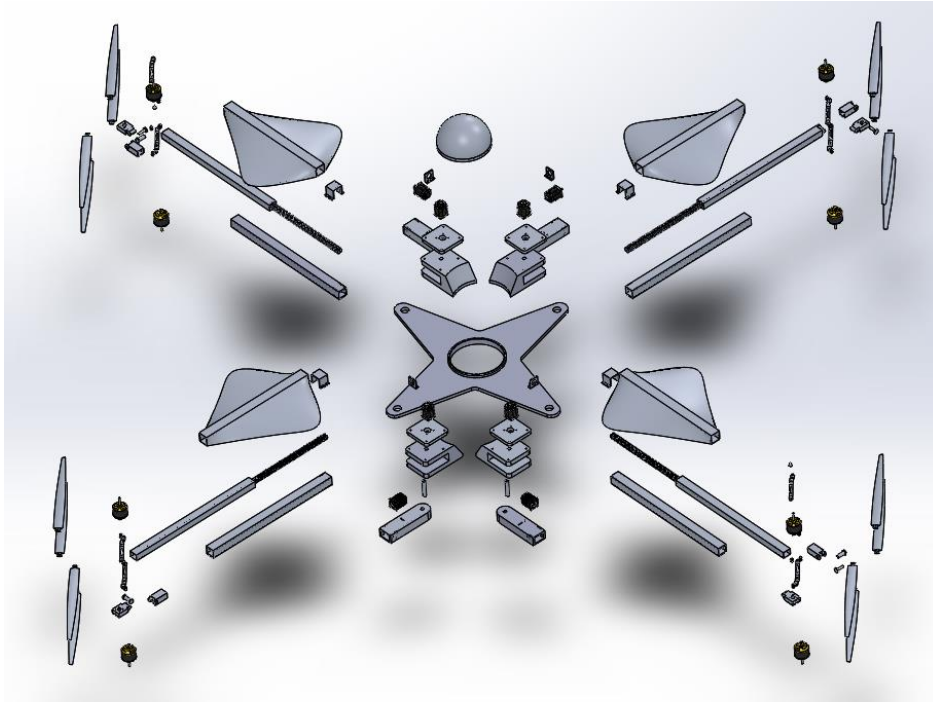
Figur 81: Propellkonstruksjonen montert på en boks som representerer kabinen til Dolphin sky sett ovenfra.



Figur 82: Propellkonstruksjonen sammenfoldet sett fra siden på bilde A og ovenfra på bilde B.

### 13.2 Tekniske beskrivelser

Konstruksjonen monteres etter anvisingen på bildet nedenfor. Delene settes sammen ved hjelp av bolter og aluminiumslim.



Figur 83: Illustrasjon av modellen i «eksploded view».

### 13.3 Logo og emballasje

Produktets logo og emballasje legges frem i dette delkapittelet.

Til logoen er det valgt å benytte konseptnavnet for kjøretøyet, Dolphin sky. Logoens farger er valgt på bakgrunn av navet til produktet, da dette gir assosiasjoner til havet. I tillegg passer fargene til logen overens med fargedetaljene i denne rapporten.



Figur 84: Produktlogoen til Dolphin Sky. Det er valgt et minimalistisk design på logoen som viser omrisset av en Delphin som hopper over skyer som inneholder initialene til produktet.



Som emballasje for produktet brukes det en pappeske med påstemplet produktlogo. Esken er 1x1x0,5 meter og vil dermed få pass på en EUR 2 eller EUR 3 pall. Delene i esken er surret inn med bølgepapp som beskytter mot skader under frakting. Bølgepapp vil også være et mer miljøvennlig alternativ sammenlignet med isopor. [83]



*Figur 85: Propellkonstruksjonens emballasje med påtrykt logo.*



## 14 Prosessevaluering og diskusjon

I dette kapitlet vil det gjennomgås en evaluering av arbeidet og resultatene knyttet til masteroppgaven. For hvert hoved-trinn i utviklingsprosessen i prosjektet vil det bli drøftet hvilke aspekter som kunne vært gjort annerledes eller bedre og hvilke asketer som eventuelt er bra. Svakheter som blir avdekket i oppgaven vil kunne tas med til en videre utvikling av prosjektet.

### 14.1 Konseptutviklingsarbeidet, forbedringspotensialer

I dette delkapitlet vil selve utviklingsprosessen evalueres. Hensikten med dette er for å vise forståelse over arbeidsprosessen og for å kunne vurdere egen arbeidsinnsats. Dette vil kunne være nyttig da evalueringen kan sette lys på svakheter med eget arbeid, noe som gjør at man kan være mer bevist på disse punktene i fremtidige prosjekter.

Evalueringen av konseptutviklingsarbeidet er delt opp i prosessens hoved trinn nedenfor.

- **Prosjektplanlegging og spesifisering**
  - Bakgrunnen til prosjektet og de konkurrerende løsningene som legges fram for å vurdere markedspotensialet til produktet kunne vært mer kortfattet da det ble tatt med mer informasjon om de ulike løsningene enn det som ville vært nødvendig.
  - Prosjektets problemstillinger, teknologiske flaskehalsar og begrensinger kunne vært ferdigstilt ved et tidligere tidspunkt. På denne måten ville prosjektarbeidet kunne gjennomføres på en mer effektiv måte istedenfor å bruke tid underveis for å finne ut hvilket arbeid som måtte gjennomføres ved hvert av trinnene.
  - Det kunne vært brukt mer tid for å estimere riktig tidsforbruk for de ulike trinnene i framdriftsplanen slik at den ville vært lettere å følge i løpet av prosjektet. Det kan vurderes om milepælene er fordelt riktig i forhold til de underliggende aktivitetene.
  - Den skjematiske fremstillingen av prosjektet kunne vært mer detaljert, slik at leseren får bedre forståelse over utviklingsprosessen og hvilke trinn som er med å kontrollere tidligere trinn i prosessen.
  - Det kunne blitt brukt mer tid for å utrede hvordan arbeidet i rapporten kvalitetssikres.
- **Teori og teknologiutredning**
  - Det ble brukt for lang tid til å utrede teori og teknologi, mye på grunn av at det ble tatt med mere informasjon enn det som ville vært nødvendig. Mye av beregningsmetodikken som forklares er veldig grunnleggende og kunne dermed vært mye mer kortfattet. Det kunne i tillegg blitt vurdert å utlatte beskrivelser som forklarer hver beregning da formlene og hensikten med beregningen er mer relevant.
  - Det kan vurderes om det ble tatt med for mange eksempler i teknologiutredningen da flere av eksemplene var veldig like. Den nødvendige informasjonen kunne blitt formidlet like godt i færre ord.
- **Produktspesifisering**
  - Kravene som ble bestemt for kjøretøyet burde vært tallfestet slik at ved senere i prosessen ville det vært lettere å vurdere om kravene har blitt oppfylt.
  - Det kan vurderes om grensespesifikasjonene og grovspefikasjonen burde vært utredet på en annen måte. Noen av verdiene var satt på bakgrunn av estimat fra relaterte masteroppgaver noe som gir stor usikkerhet i verdiene. Noen av verdiene var også valgt på bakgrunn av lignende kjøretøykonsepter, der kapasiteten var

forskjellig fra det som er tenkt til Dolphin Sky. En mulig konsekvens av dette var at størrelsen på konstruksjonen ikke ville passe den tiltenkte kapasiteten. For å finne om størrelsen er egnet vil det kreve en stabilitetsberegning i et eventuelt videre arbeid.

- **Konseptgenerering**
  - Det ble valgt litt for mange funksjoner som det skulle finne løsninger på. Resultatet av dette var at det måtte gjøres noen forenklinger på CAD-modellen for at den kunne bli ferdigstilt. I tillegg så førte det til at det var litt for liten tid til å finne ut hvordan implementeringen av løsningene på CAD-modellen skulle utføres, noe som resulterte i at konstruksjonen fikk noen svake knutepunkter og at det må vurderes om enkelte av løsningene bør utføres på en annen måte.
- **Konseptvalg**
  - Det ble benyttet Pughs metode for å velge løsninger. Ved utvelgelsen av løsningene gis det da poeng etter hvor godt en gitt løsning oppfyller de ønskede kriteriene. I utvelgelsen var poenggivningen basert på antagelser. Det kunne vært undersøkt i større grad om disse antagelsene var korrekte da det er noe usikkert om enkelte av løsningene ville vært det beste valget. Eksempelvis ved valg av vinger, da det er uvisst hvordan de vil påvirke flyteevnen og om de i det heletatt vil gi økt løftkraft ved de antatte flyhastighetene til Dolphin sky.
- **Grov beregninger**
  - Hovedprofilene ble dimensjonert ut fra en tiltenkt dynamisk vertikal last og spenningene ble kontrollert med denne vertikallasten og en tenkt dynamisk horisontal last. Det kunne blitt utført en beregning som kontrollerer spenningene ved begge disse lastene samtidig.
  - Det er noe usikkerhet om rotasjonsleddene er dimensjonert på riktig måte. Leddracketten har dermed blitt noe overdimensjonert som en ekstra sikkerhet.
  - Det kunne vært utført beregninger for egenfrekvens, stabilitet og på overgangen til teleskopprofilen dersom det hadde vært mer tid.
- **Utvikling av CAD**
  - Mer tid kunne vært avsatt til å utvikle CAD-modellen. Da ville det kanskje vært unngått å måtte gjøre forenklinger.
- **Eksperttest**
  - Eksperttesten burde vært utført på et tidligere tidspunkt og det burde vært avsatt mer tid til den. Av disse grunnene har testen måtte blitt noe forenklet og kvalitetssikringen har dermed ikke blitt utført i like stor grad som først tiltenkt.
- **Gjennomføring av FEM-analyse**
  - Av hensyn på meshingen og tilgjengelig datakapasitet ble det gjort en forenkling av modellen til analysen. Det vil si at modellen som ble analysert er litt forskjellig en den som var i tegnet i CAD. Resultatene er dermed ikke nødvendigvis direkte overførbare.
  - En optimalisering av rotasjonsbracketten kunne blitt utført i større grad, da spenningene i den var langt unna flytegrensen.
- **Generelt om prosjektet**
  - Det har blitt jobbet jevnt med prosjektet hele veien, men det er noe forbedringspotensiale når det gjelder tidsforbruket på de ulike trinnene. Som en

konsekvens av dette var det mindre tid igjen på slutten av prosjektet til å finpusse tidligere kapitler, korrekturlesning og lignende.

- Det kunne i større grad blitt benyttet faghjelp i løpet av prosjektet. Det meste av faghjelp kom i form av eksperttesten i sluttfasene av prosjektet.
- Det kunne i større grad blitt undersøkt om det var mer relevant litteratur som burde blitt tatt med for å kvalitetssikre arbeidet.

## 14.2 Designrevisjon og produksjon

I dette delkapittelet vil design og produksjonen evalueres. Det legges frem hvilke aspekter burde vært gjort annerledes i løpet av oppgaven og hvilke forbedringer som eventuelt kan gjøres. Punktene som nevnes her vil bli tatt med i som forslag til et videre arbeid av prosjektet.

### Design

- Det usikkert om valget av vinger vil gi ønsket løftekraft ved de antatte flyvehastighetene til Dolphin sky. Det også usikkert hvordan vingene vil påvirke vertikal flyving og om de vil gi balansert løftekraft ved horisontal flyving da luftstrømmen over vingene vil være vinklet forskjellig. Denne løsningen kunne vært undersøkt i større grad før den ble valgt.
- Utforming og materialet av vingene kunne også krevd noe mer arbeid.
- Det kunne vært vurdert om teleskoperingen kunne vært utført på en annen måte som ville gjennomført oppgaven bedre. Det kunne også blitt vurdert om teleskoperingsfunksjonen kunne festes til konstruksjonen på en mer robust måte. Dette festet kunne også blitt kontrollert med en beregning.
- Det bør modelleres en mekanisme som sørger for at den ytre armprofilen ikke kommer løs fra teleskoperingsmekanismen.
- Det bør legges in bolter i alle tiltenkte hull på CAD-modellen.
- Glidelager bør legges inn i CAD-modellen.
- Låsmekanismer til sammenfolding av armene og propellene bør tegnes ferdig.
- Aktuatorer for vinkling av propellene må velges å tegnes i modellen.
- Sammenfoldingsmekanismen til propellene må tegnes ferdig.
- Overganger mellom motor og aksel må tegnes ferdig. Og mellom leddøye og aksel.
- Det kan vurderes om konstruksjon bør ha et ytre skall for å beskytte mekanismene og motorene for fukt, støv og lignende.
- Konstruksjonen kunne vært optimaliseres videre med tanke på vekten. Spesielt rotasjonleddbrakettene og underplaten.
- Det kunne blitt vurdert om det var mulig å skjerme propellene på et vis.
- Det kunne blitt vurdert om det var mulig å utføre sammenfoldingen bedre ta størrelsen på konstruksjonen ble noe større enn det som var utredet i grovspekifikasjonene.
- En FEM analyse kunne vært utført på en modell som ikke er forenklet og utført på flere kritiske punkter.

### Produksjon

- Det må vurderes om flere av delene kan kjøpes tilnærmet ferdiglagd og som bare trenger en liten modifikasjon. Fremfor at en komponent må maskineres ut fra en aluminiumsblokk.
  - Det bør spesifiseres hvilken type lim som benyttes til sammenføyning.
  - Det må vurderes om det vil være mest hensiktsmessig å produsere vingene fremfor å kjøpe dem inn.
-

## 15 Konklusjon

I masterarbeidet er det blitt utredet og utviklet et sammenfoldbart propell- og thrustersystem for Dolphin sky. Prosjektet har blitt grundig planlagt og metodikken som er benyttet har blitt lagt frem. Det har blitt fastsatt krav for produktet og relevant teori har blitt utredet. Videre ble det generert mulige konseptløsninger og de mest egnede har blitt valgt. En CAD-modell har blitt utviklet og analysert ved hjelp en FEM analyse og produksjonen samt kostnadene for utviklingen har blitt utarbeidet.

I delkapitlene nedenfor blir resultatene av oppgaven lagt frem og anbefalinger ved produktet. Deretter vil punkter som bør gjennomføres ved en videre utvikling bli foreslått.

### 15.1 Resultater og anbefalinger

I løpet av dette prosjektet er det blitt utviklet en propellkonstruksjon til Dolphin Sky som har mulighet for sammenfolding av armene og propellene. Resultatene av dette prosjektet vil bli presentert i dette delkapittelet. Resultatene vil bli lagt frem i punktvis form der det først vil bli lagt mer håndfaste observasjonene og deretter de mer generelle.

#### 15.1.1 Resultater

De mer konkrete fysiske resultatene legges fram i dette delkapittelet.

#### **Funksjon:**

- Konstruksjonskonseptet består av fire propellarmer som alle har mulighet for teleskopering og rotering. Disse funksjonene brukes til sammenfolding av armene.
- Armene har en symmetrisk konfigurasjon og er plassert på toppen av kabinen til kjøretøyet for best stabilitet i luften.
- Hver arm er utstyrt med en vinge som kan være med å gi ekstra løftekraft.
- Hver propellarm har to mot-roterende propeller som har hver sin egen motor slik at man har en i reserve dersom noe skulle slutte å fungere.
- Propellene har mulighet til å bli vinklet for økt fremdrift.
- Propellene har to blader hver og har mulighet for sammenfolding.
- Kjøretøyet er ment til å lette og lande fra et designert område slik at propellene ikke utgjør en fare for mennesker som skulle befinne seg i nærheten.
- Det er tatt høyde for at det skal implementeres en ballistisk fallskjerm på konstruksjonen.

#### **Materialer:**

- Alle komponenter som produseres består av aluminium 7075 T651 eller aluminium 7075 T6.

#### **Størrelser:**

- Konstruksjonens vekt ikke medberegnet innkjøpte komponenter er: 106,5 kg.
- Konstruksjons ytterdimensjoner utfoldet målt fra propelltuppe vil være: 4310,7 mm X 4310,7 mm X 313 mm.
- Konstruksjons ytterdimensjoner utfoldet målt fra enden av propellarmene vil være: 2884,4 mm X 2884,4 mm X 313 mm.
- Konstruksjons ytterdimensjoner sammenfoldet vil være: 2105,3 mm bred, 1975,9 mm lang og 313 mm høy.

- Det tatt høyde for fire festepunkter til bilrammen. Festepunktene er symmetrisk plassert det konstruksjonens tyngepunkt er midtten. Målene mellom festepunktkene er: 830 mm x 830 mm.

#### Kostnader:

- Ved utvikling av en prototype vil kostnadene være de samlede kostandene være på 545951,2 NOK. Der 91% av dette beløpet vil gå til konseptutvikling.
- Ved en eventuell serieproduksjon vil enhetsprisen kunne gå mot 48201,2 NOK da kostnadene for konseptutviklingen vil fordeles ut over alle solgte enheter.

#### 15.1.2 Anbefalinger

Anbefalinger ved produktet legges fram i dette delkapittelet. Disse anbefalingene er basert på erfaringer som er tilegnet i løpet av utviklingen.

- Valget av antall armer virker som et godt valg da det både vil sørge for tilstrekkelig sikkerhet i form av ekstra skyvekraft ved tap av funksjon i en arm og at antallet vil ikke gjøre konstruksjonen unødig komplekst eller tungt.
- Arm konfigurasjonen tillater også plass til en ballistisk fallskjerm.
- Plasseringen er også et godt valg da denne vil sørge for best stabilitet i luften.
- Mot roterende propeller vil sørge for backup dersom noe skulle ryke og vil også nulle ut drivmomentet i armen slik at dronen ikke begynner å rotere av seg selv.
- Den dynamiske lastfaktoren er såpass stor at det ikke vil være nødvendig å beregne utmatting da alle høyfrekvente spenninger forårsaket av propellene vil være langt under SN-kurven
- Den dynamiske lastfaktoren er gitt av luftfartstilsynet og antas derfor å være tilstrekkelig.
- Materialet som er benyttet er vanlig å bruke i luftfartøy. Den har i tillegg veldig høy flytegrense i forhold til vekt og er tilgjengelig i Norge. Den kan Derimot ikke sveises, men lim kan brukes til sammenføyning. Materialet antas å være et godt valg.
- Overflatebehandlingen er basert på vanlige rutinger gitt av det Amerikanske luftfartstilsynet. Behandlingsmetoden antas derfor å være tilstrekkelig.
- Vedlikeholdsrutinene er gitt av det norske luftfartstilsynet og antas derfor å være tilstrekkelig.
- Det anbefales også å benytte luftfartstilsynet forskrifter ved en videre utvikling slik at Dolphin Sky kan erkjennes flyvedyktig når alt nødvendig arbeid er utført.

#### 15.2 Videre arbeid

Dette delkapittelet vil inneholde forslag til videre arbeid på prosjektet. Punktene nedenfor vil bli fordelt mellom to hoveddeler, der den første vil inneholde forslag hentet fra prosessevalueringen. De punktene vil primært være ting som kunne vært gjort bedre ved denne oppgaven. Del to av dette delkapitlet vil inneholde punkter fra begrensingene for oppgaven. Disse punktene er ting som er utelatt fra oppgaven med hensyn på tiden tilgjengelig.

#### Fra prosessevalueringen:

- Det bør gjøres en ny vurdering om vinger skal benyttes.
- Dersom vinger benyttes må utformingen og materialene bestemmes.
- Flere løsninger for teleskopering bør vurderes, eksempelvis hydraulisk, pneumatisk, elektrisk linear aktuator.

- Teleskopfunksjonen bør festes på en mer robust måte og festet bør kontrolleres med en beregning.
- CAD-modellen bør ferdigstilles med tanke på følgende punkter:
  - Det bør lages en mekanisme som sørger for at ytre armprofil ikke kommer løs p.g.a. teleskoperingen.
  - Alle bolter og glidelager bør legges inn i modellen.
  - Det bør tegnes mekanismer som låser armene og propellen i riktig posisjon ved flyving.
  - Det bør tegnes inn motorer som styrer vinkling av propellene.
  - Sammenfoldingsmekanismen til propellene bør ferdigstilles.
  - Overgangene mellom motorer og rotasjonsaksler og mellom akseler og leddøyer må tegnes.
- Det bør vurderes om konstruksjonen bør ha et ytre skall for å beskytte ømfintlige mekanismer og motorer.
- Det kan vurderes om andre sammenfoldingsmetoder vil gi bedre resultat.
- konstruksjonens komponenter bør optimaliseres med tanke på vekten. Spesielt rotasjonsleddbrakettene og underplaten.
- Det bør vurderes om propellene kan skjermes på et vis uten at det går på konsekvens av flygeevevenen.
- En FEM-analyse kunne vært utført på modell som ikke er forenklet og på flere kritiske punkter som:
  - Festepunktene til teleskoperingsfunksjonen.
  - Underplaten ved festepunktene til bil rammen.
  - Festene til propellene.
  - På teleskoperingsmekanismen for å sjekke at deformasjonen ikke hindrer teleskoperingsevnen.

#### **Fra begrensinger:**

- Det bør utføres noen patentsøk for å sjekke at konstruksjonen ikke bryter noen rettigheter.
- Det bør utføres håndberegninger og FEM-analyse av flere kritiske deler og deretter kan det produseres protyper og utføres lab tester av delene. Komponentene som kan testes kan f.eks være: Rotasjonsledd forbindelsene, Profilarmerne, Festemekanismen for teleskopfunksjonen, Propellene, Underplaten.
- Det bør kontrolleres at ingen deler vil være utsatt for knekking eller vipping.
- Beregningene bør ta hensyn til eventuell helning av kjøretøyet og flyvehastigheter.
- Det bør utredes hvilket aluminiumslim som vil være mest egent som bindemiddel og denne bør kontrolleres ved hjelp av en beregning.
- Det bør bestemmes hvilke festeanordninger mellom propellkonstruksjonen og bil rammen som skal benyttes og denne bør kontrolleres ved hjelp av en beregning.
- Det kan utføres utmattingsberegninger på komponenter utsatt for høyfrekvente vibrasjoner.
- Det bør utføres en egenfrekvensberegning.
- Det bør utføres en stabilitets- og tyngdepunktsberegning.
- Elektronikken til kjøretøyet bør utredes.
- Det bør lages et styresystem til kjøretøyet som må sørge for at motorene kan kjøres ved ulike hastigheter slik at en motor kan kompensere skyvekraften dersom en annen skulle slutte å fungere.

- Sikkerhetsløsninger på utredes og kontrolleres ved hjelp av beregninger. Eksempelvis ballistisk fallskjerm.
- Det bør utføres en analyse av aerodynamikken til konstruksjonen.
- Nødvendig effekt for motorene bør etableres og på bakgrunn av dette kan det velges egnede motorer og propeller.
- Det bør utføres beregninger knyttet til kjøretøyets flyveegenskaper.
- Det bør utføres beregninger knyttet til støyen forårsaket av propellene og det bør se om den kan reduseres.
- Det kan utføres kollisjonsberegninger for propellkonstruksjonen.
- Det kan vurderes om vibrasjonene forårsaket av propellene bør dempes og det bør vurderes hvilken dempings som vil være mest egent.
- Det bør utføres beregninger som kontrollerer kjøretøyets egenskaper som bil
- Det bør utføres en mer omfattende eksperttest for å kvalitetssikre arbeidet.
- Det bør utføres en mer omfattende undersøkelse av standarder og forskrifter for å se om noe vil være relevant med tanke på en videre utvikling.
- Det bør legges inn mer arbeid i kostnadsestimatet for utviklingen av konstruksjonen samt produksjonsmetodene som benyttes og tidsforbruket av dem.
- Det bør utføres en mer omfattende miljøanalyse.
- Det bør vurderes om konstruksjonen kan modifiseres for å bedre estetikken.

---

## 16 Referanser

### 16.1 Skiftlige kilder

- [3] L. T. Lundheim og A. Brevik, «Dolphin: Formkonsept for trike,» NMBU, Ås, 2007/2008.
- [4] K. Roca, «Dolphin Family, Del A: Utvikling av eksteriørdesign for lettvektskjøretøy,» NMBU, Ås, 2011.
- [5] J. H. Hanssen, «Dolphin Duo 1+1: Utvikling av hjuloppheng for lettvektskjøretøy,» NMBU, Ås, 2014.
- [6] T. Skaar-Olsen, «Utvikling av eksteriørdesign og førerergonomiske løsnigner for Dolphin Expression 2.0,» NMBU, Ås, 2015.
- [7] D. L. Østby, «Dolphin Family, Del: A: Utvikling av eksteriørdesign for lettvektskjøretøy,» NMBU, Ås, 2010.
- [8] J.-F. Aasheim, «Dolphin Family, Del C: Utvikling av ramme og hjuloppheng for 3-hjulskjøretøy,» NMBU, Ås, 2011.
- [9] C. F. Leandersson, «Dolphin Family, Del D: Konseptualisering og design av overchassis for trehjuls lettvektskjøretøy,» NMBU, Ås, 2012.
- [10] A. M. Thue og P. Sundquist, «Utvkling, dimensjonering og konstruksjon av multifuel gassturbinmotor (multifuel turbinmotorkonsept),» NMBU, Ås, 2012.
- [11] S. E. Finnøy, «Waste Heat Recovery System for The Dolphin Concept Car,» NMBU, Ås, 2014.
- [12] V. G. Henriksen, «Utvikling, dimensjonering og konstruksjon av dampturbinløsning for Dolphin-konseptet,» NMBU, Ås, 2016.
- [13] K. Ø. Rummelhoff, «Dolphin Sky, del A: Utvikling av integrert design- og helhetskonsept for sveveløsning,» NMBU, Ås, 2016.
- [14] K. E. Røsandnes, «Dolphin Sky, Del B: Utredning av systemkonsept, sikkerhet, produksjon, markedsnisjer og økonomi,» NMBU, Ås, 2016.
- [15] A. C. Thømt, «Investigation, Dimension and Development of Test Setup for Propulsion Function of a Personal Transport Drone,» NMBU, Ås, 2017.
- [22] E. B. Magrab, «Integrated Product and Process Design and Development: The Product Realization Process,» Boca Raton, CRC Press, 1997, p. 320.
- [23] S. Pugh, «Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering,» Workingham, Addison-Wesley, 1991, p. 278.
- [24] A. F. Osborn, «Applied imagination; priciples and procedures of creative proplem solving,» New York, Charles Scribner's Sons, 1953, p. 317.



- [26] J. Johannessen, «Tekniske tabeller,» Cappelen, 2002, p. 158.
- [27] G. Terjesen, «Grunnlag i drivverk og drivkraftteori,» Ås, NMBU/Realtek, 2017, p. 54.
- [28] G. Terjesen, «TMP301: Utmatting 2,» Ås, Realtek/NMBU, 2017, p. 56.
- [29] Ø. Vollen, «Statikk og fasthetslære,» Oslo, NKI forlaget, 1999, p. 376.
- [30] G. Dahlvig, S. Christensen og G. Strømsnes, «Konstruksjonselementer,» Malmø, Gyldendal, 1991, p. 486.
- [31] M. Ashby og K. Johnson, «Materials and Design: The art and science of material selection in product design,» Burlington, Elsevier Science, 2002, p. 345.
- [32] J. Andersen, E. Herø, K. Reiersen og O. Solheim, «Produksjonsteknikk: Vg2 produksjons- og industriteknikk,» Oslo, Gyldendal, 2008, p. 352.
- [33] Ø. Husø, «Konstruksjonsmaterialer,» Oslo, Frey Publishing, 2014, p. 320.
- [34] International Organization for Standardization, «ISO 128 Technical product documentation (TPD)—General principles of presentation,» International Organization for Standardization.
- [35] International Organization for Standardization, «ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements,» International Organization for Standardization.
- [36] Standard Norge, «NS-EN 485-2:2008: Aluminium og aluminiumlegeringer - plater og bånd - del 2: Mekaniske egenskaper,» Standard Norge.
- [42] J. M. Gere og S. P. Timoshenko, «Mechanics og Materials 4.th ed.,» Boston, PWS Publ. co., 1997, p. 912.
- [44] P. A. Tipler og G. Mosca, «Physics For Scientists and Engineers, Volume 1, Sixth edition,» New York, W.H. Freeman and Company, 2008, p. 824.
- [67] T. A. M. Magnussen, «Dolphin Sky: Chassisløsning for person- og varetransport-drone.,» NMBU, Ås, 2018.
- [74] N. E. Prasad og R. J. Wanhill, «Aerospace Materials and Material Technologies,» Singapore, Springer, 2017, p. 586.

## 16.2 Nettkilder

- [1] M. S. Tveit, «Rektors blogg,» [Internett]. Available: [blogg.nmbu.no](http://blogg.nmbu.no). [Funnet 13 02 2018].
- [2] N. Nygaard, «Universitas,» [Internett]. Available: [universitas.no](http://universitas.no). [Funnet 13 02 2018].
- [16] «TF-X,» Terrafugia, [Internett]. Available: [www.terrafugia.com](http://www.terrafugia.com). [Funnet 30 01 2018].
- [17] «Liberty,» Pal-V, [Internett]. Available: [www.pal-v.com](http://www.pal-v.com). [Funnet 30 01 2018].
- [18] «Autogyro,» Wikipedia, [Internett]. Available: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). [Funnet 30 01 2018].

- [19] «Flying car Version 4,» AeroMobil, [Internett]. Available: [www.aeromobil.com](http://www.aeromobil.com). [Funnet 30 01 2018].
- [20] «Pop.up,» Airbus, [Internett]. Available: [www.airbus.com](http://www.airbus.com). [Funnet 31 01 2018].
- [21] «Volocopter 2X,» [Internett]. Available: [www.volocopter.com](http://www.volocopter.com). [Funnet 14 02 2018].
- [25] «Forklaring av FEM,» 3dk, [Internett]. Available: [www.3dk.no](http://www.3dk.no). [Funnet 27 02 2018].
- [37] Flytekniske bestemmelser (BSL B), «Luftfartstilsynet,» [Internett]. Available: [luftfartstilsynet.no](http://luftfartstilsynet.no). [Funnet 15 03 2018].
- [38] Selvbyggerforskriften (BSL B3-1), «Lovdata,» [Internett]. Available: [lovdata.no](http://lovdata.no). [Funnet 03 03 2018].
- [39] Forskrift om kontinuerlig luftdyktighet, (BSL B 1-2), «lovdata,» [Internett]. Available: [www.lovdata.no](http://www.lovdata.no). [Funnet 20 04 2018].
- [40] Statens Vegvesen, «Håndbok N100 Veg- og gateforming,» Vegdirektoratet, 2013.
- [41] Aviation Maintenance technician airframe handbook volume 2 (FAA-H-8083-31), chapter 8: Aircraft painting and finishing, «Federal Aviation Administration,» [Internett]. Available: [www.faa.gov](http://www.faa.gov). [Funnet 30 04 2018].
- [43] «Bilde av S-N kurve,» Cambridge University, [Internett]. Available: [www.cam.ac.uk](http://www.cam.ac.uk). [Funnet 20 03 2018].
- [45] Forskrift om tekniske krav mv. for sivile luftfartøy med starmasse (MTOM) inntil 495 kg (BSL B 2-5), «lovdata,» [Internett]. Available: [lovdata.no](http://lovdata.no). [Funnet 15 03 2018].
- [46] CAP 482: British Civil Airworthiness Requirements - Section S - Small Light Aeroplanes., «Civil Aviation Authority,» [Internett]. Available: [www.caa.co.uk](http://www.caa.co.uk). [Funnet 15 03 2018].
- [47] 23-19A - Airframe Guide for Certification of Part 23 Airplanes, «Federal Aviation Administration,» [Internett]. Available: [www.faa.gov](http://www.faa.gov). [Funnet 15 03 2018].
- [48] 23-13A - Fatigue, Fail-Safe, and Damage Tolerance Evaluation of Metallic Structure for Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes, «Federal Aviation Administration,» [Internett]. Available: [www.faa.gov](http://www.faa.gov). [Funnet 15 03 2018].
- [49] Certification Specifications for Small Rotorcraft CS-27, «European Aviation Safety agency,» [Internett]. Available: [www.easa.europa.eu](http://www.easa.europa.eu). [Funnet 15 03 2018].
- [50] Bilder av Aeromobil 4.0, «Techbox,» [Internett]. Available: [techbox.dennikn.sk](http://techbox.dennikn.sk). [Funnet 30 03 2018].
- [51] Bilde av propell for rc-drone med 2 propeller, «Arrishobby,» [Internett]. Available: [www.arrishobby.com](http://www.arrishobby.com). [Funnet 20 03 2018].

- [52] Bilder av propeller for rc-drone med 3 propeller, «Singahobby,» [Internett]. Available: [shop.singahobby.com](http://shop.singahobby.com). [Funnet 20 03 2018].
- [53] Bilder av propell for Thunder tiger soaring star II, «Thunder tiger,» [Internett]. Available: [stock.thundertiger.com](http://stock.thundertiger.com). [Funnet 24 03 2018].
- [54] Bilde av propell fra motorseilflyet carat, «My Carat,» [Internett]. Available: [www.my-carat.de](http://www.my-carat.de). [Funnet 25 03 2018].
- [55] Bilder av sammenfolding for Pal-V, «Avtoblog,» [Internett]. Available: [www.avtoblog.com](http://www.avtoblog.com). [Funnet 30 03 2018].
- [56] Bilder av Workhorse Surefly, «Workhorse,» [Internett]. Available: [workhorse.com](http://workhorse.com). [Funnet 25 03 2018].
- [57] Bilder av keyshare kimon, «Urban drone store,» [Internett]. Available: [urbandronestore.com](http://urbandronestore.com). [Funnet 25 03 2018].
- [58] Bilder av zerotech doobby., «Omniviewtech,» [Internett]. Available: [omniviewtech.ca](http://omniviewtech.ca). [Funnet 25 03 2018].
- [59] Bilde av Nine eagles mola X 1.0, «Droneusermanuals,» [Internett]. Available: [droneusermanuals.jimbo.com](http://droneusermanuals.jimbo.com). [Funnet 30 03 2018].
- [60] Bilde av Pop.up, «Car revs daily,» [Internett]. Available: [www.car-revs-daily.com](http://www.car-revs-daily.com). [Funnet 30 03 2018].
- [61] Bilde og info for Ehang 184, «Ehang,» [Internett]. Available: [www.ehang.com](http://www.ehang.com). [Funnet 30 03 2018].
- [62] Ett til bilde a av pop.up, «Italdesign,» [Internett]. Available: [www.italdesign.it](http://www.italdesign.it). [Funnet 30 03 2018].
- [63] Bilde og info av bartini, «Bartini,» [Internett]. Available: [bartini.aero](http://bartini.aero). [Funnet 01 04 2018].
- [64] Bilde av skyrider x2r, «Twitter,» [Internett]. Available: [Twitter.com](http://Twitter.com). [Funnet 01 04 2018].
- [65] Info for Skyrider, «Macroindustries,» [Internett]. Available: [www.macroindustries.com](http://www.macroindustries.com). [Funnet 02 04 2018].
- [66] «Inkjøringshøyde for garasjer,» Igland garasjen, [Internett]. Available: [www.garasjer.no](http://www.garasjer.no). [Funnet 30 03 2018].
- [68] «Astrups materialkalkulator,» Astrup, [Internett]. Available: [astrup.no](http://astrup.no). [Funnet 31 03 2018].
- [69] Bilde av Øyestikker, «Wikipedia,» [Internett]. Available: [no.wikipedia.org](http://no.wikipedia.org). [Funnet 20 04 2018].
- [70] Bilde av flyveekorn, «i like to waste my time,» [Internett]. Available: [iliketowastemytime.com](http://iliketowastemytime.com). [Funnet 20 04 2018].
-

- [71] Bilde av vingedrakt, «wingsuitfly,» [Internett]. Available: [www.wingsuit.com](http://www.wingsuit.com). [Funnet 20 04 2018].
- [72] Info om tre, «explain that stuff,» [Internett]. Available: [www.explainthatstuff.com](http://www.explainthatstuff.com). [Funnet 15 04 2018].
- [73] Om aluminiumlegeringer, «Astrup,» [Internett]. Available: [astrup.no](http://astrup.no). [Funnet 20 04 2018].
- [75] Hardhetstyper for alu 7075, «alumeco,» [Internett]. Available: [www.alumeco.no](http://www.alumeco.no). [Funnet 20 04 2018].
- [76] Bilde av bolt og mutter, «NDLA,» [Internett]. Available: [ndla.no](http://ndla.no). [Funnet 20 04 2018].
- [77] Bilde av gildelager, «stormhalvorsen,» [Internett]. Available: [www.stormhalvorsen.no](http://www.stormhalvorsen.no). [Funnet 20 04 2018].
- [78] Motorer til CAD-modell, «grabcad,» [Internett]. Available: [grabcad.com](http://grabcad.com). [Funnet 20 04 2018].
- [79] Info om titan i fly, «azom,» [Internett]. Available: [www.azom.com](http://www.azom.com). [Funnet 20 04 2018].
- [80] info om resirkulering av aluminium, «Hydro,» [Internett]. Available: [www.hydro.com](http://www.hydro.com). [Funnet 30 04 2018].
- [81] Pris for maling, «aircraftspruce,» [Internett]. Available: [www.aircraftspruce.com](http://www.aircraftspruce.com). [Funnet 25 04 2018].
- [82] Pris for frakt, «bring,» [Internett]. Available: [www.bring.no](http://www.bring.no). [Funnet 25 04 2018].
- [83] Størrelser på Europaller, «wikipedia,» [Internett]. Available: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org). [Funnet 30 04 2018].

## 17 Vedlegg

Vedlegg 1: Utdrag fra tidligere oppgaver knyttet til Dolphin konseptet

Vedlegg 2: Grafer med materialelegenskaper fra CES Edupack

Vedlegg 2: Utdrag fra standard EN-485-2:2008

Vedlegg 4: Maskintegning med sammenstilling av konstruksjonen

Vedlegg 5: Maskintegning eksplosjonstegning og stykke liste av konstruksjonen

**Vedlegg 1:**

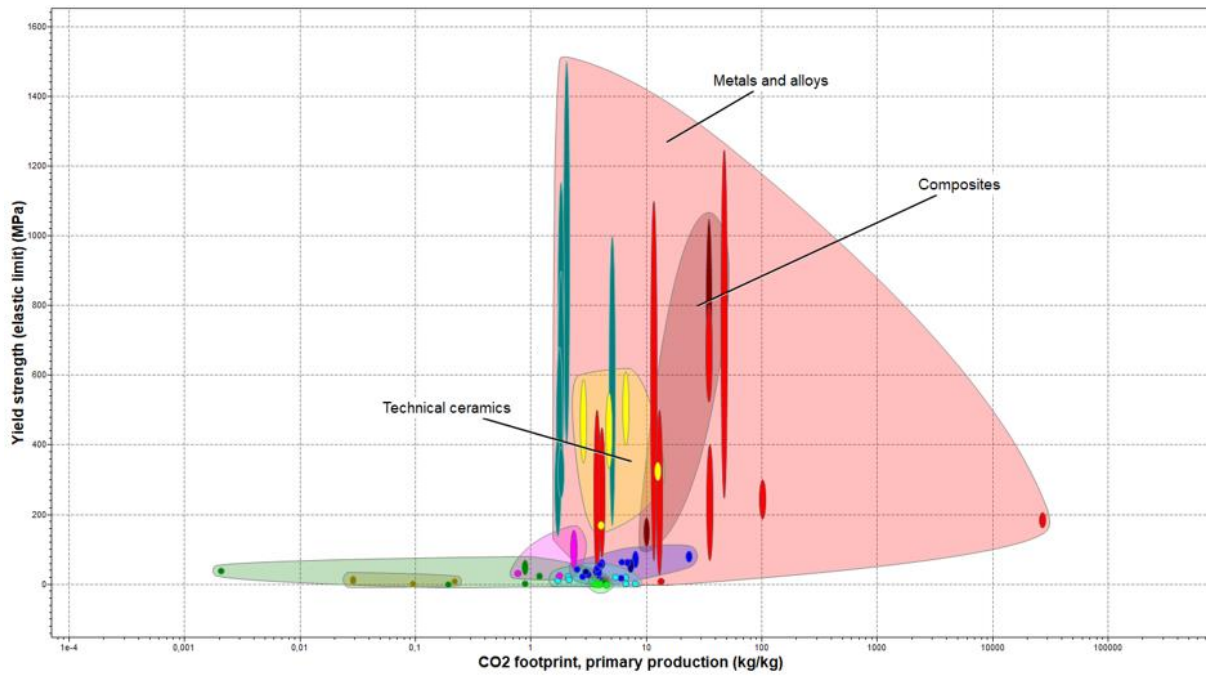
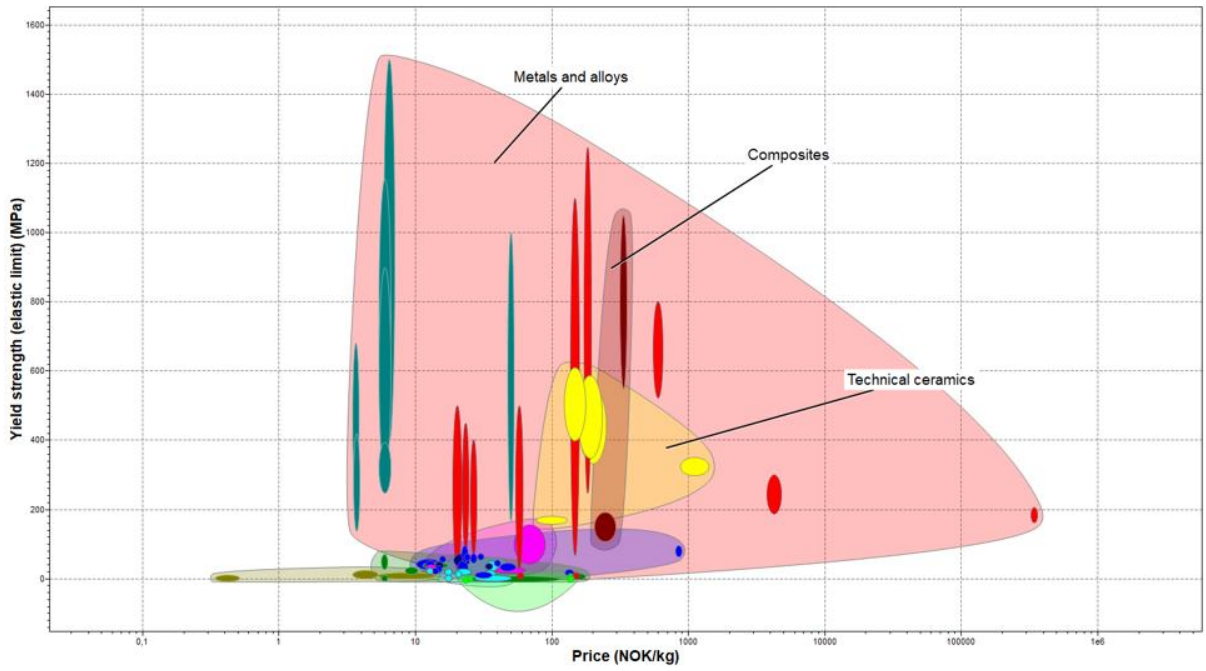
Høsten 2012 ble interiørdesignet til Dolphin Duo utredet av Mizgin Aziz Rashad. Løsningen på Interiøret var basert på eksteriørdesignet til Lundheim, Brevik fra 2007/2008. formålet med oppgaven var å utvikle et interiør til et kjøretøy som skulle klare å frakte to personer eventuelt en person + et lastvolum tilsvarende en person. Baksetet ville derfor måtte kunne sammenlegges. I tillegg til setene skulle det designes et dashboard og mulige modulløsninger på enkelte komponenter. Ved utvikling av løsningen på interiøret ble det vektlagt bruksergonomi, betjeningssikkerhet, høy komfort, bruk av standardløsninger og resirkulerbare materialer i interaksjonsdelen. Et bilde av resultatet er vist i figuren nedenfor.

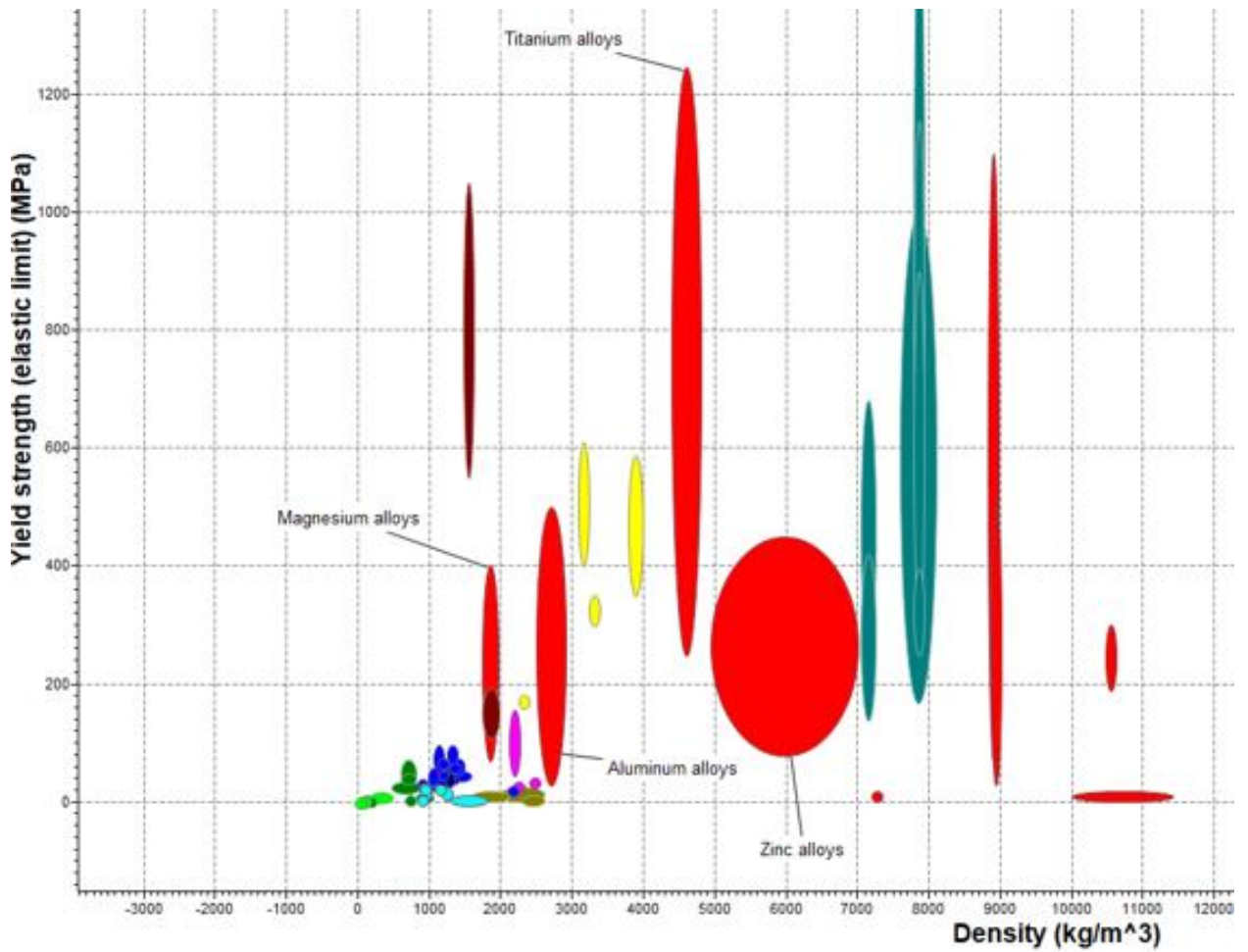
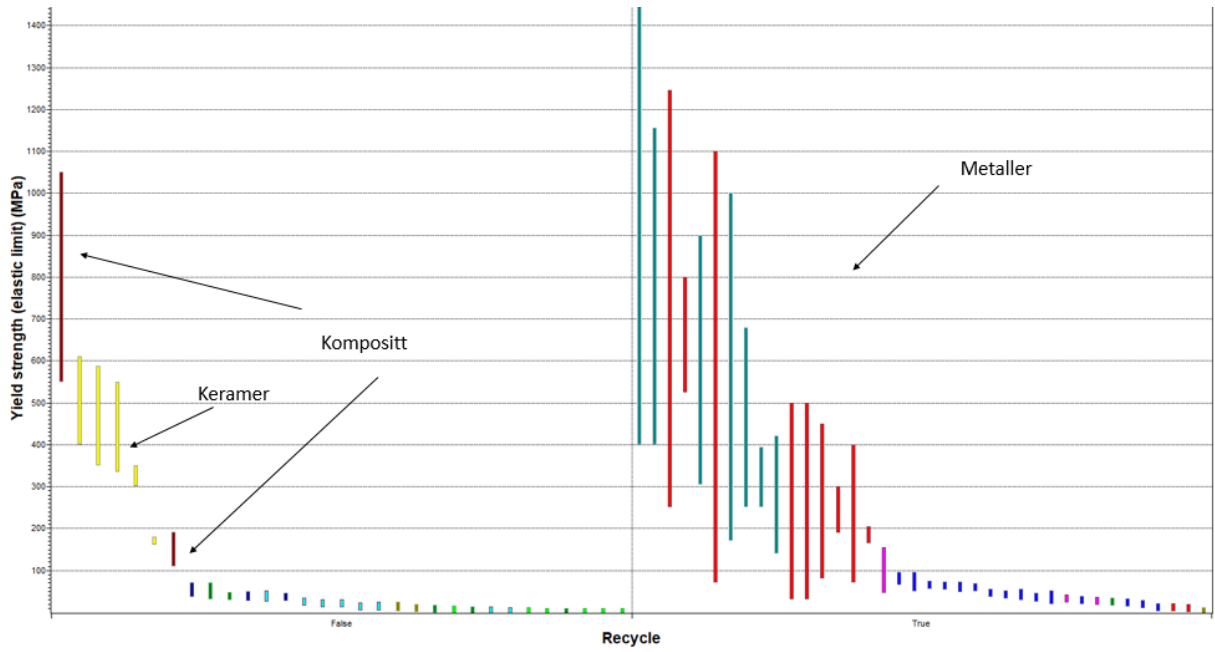


Parallelt med Østbys oppgave ble det utviklet et interiørdesign til Dolphin Family av Magnus Ottesen. Løsningen hadde ett sete framme og to bak og kunne frakte en voksen og to barn. Et bilde av løsningen er vist i figuren nedenfor.

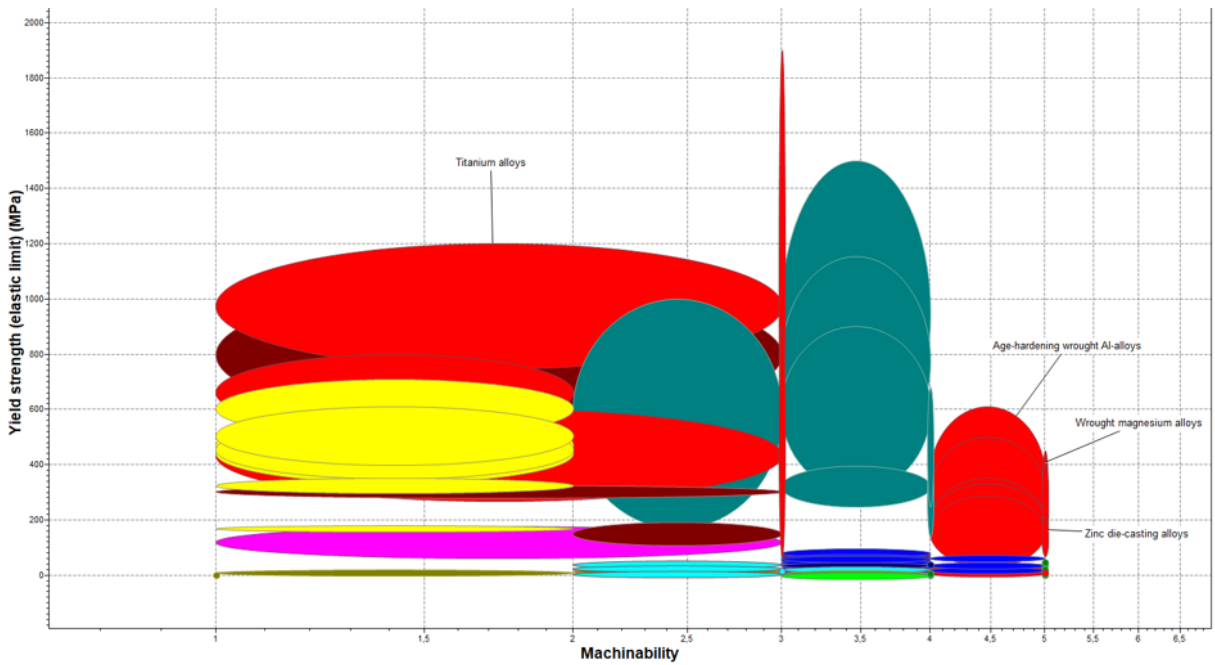
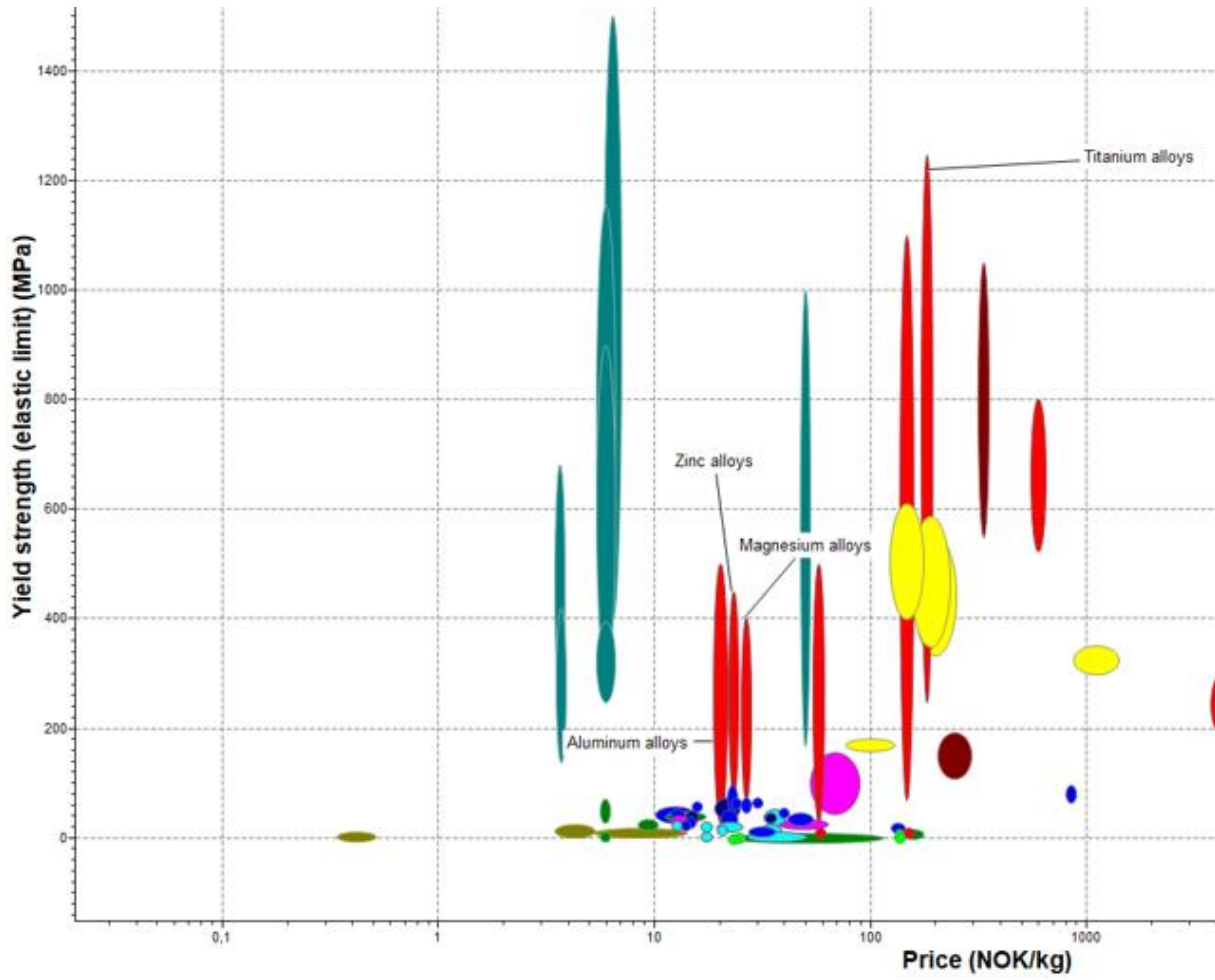


Vedlegg 2:





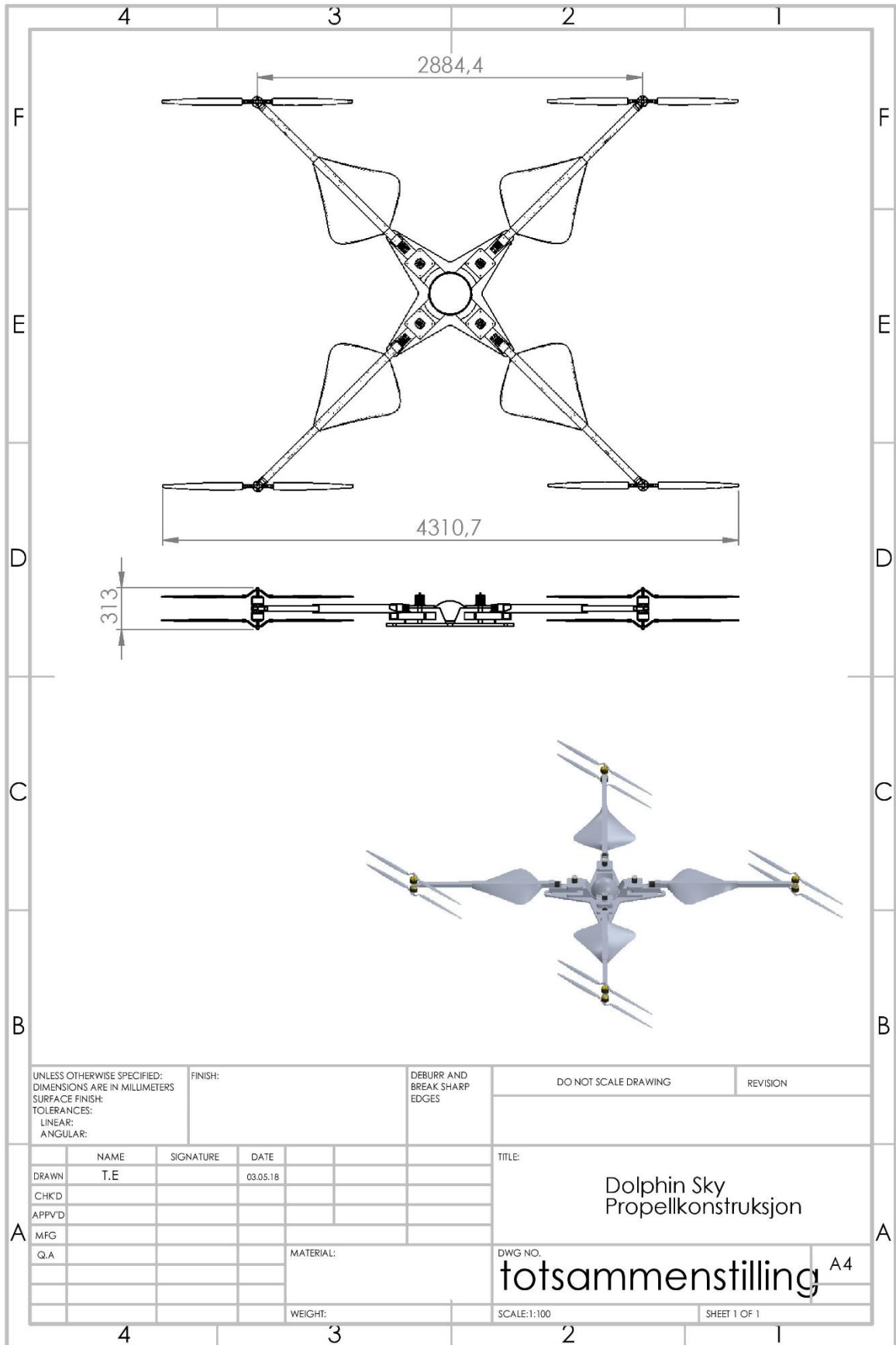




## Vedlegg 3:

EN 485-2:2008												
Legering	Hardhetsgrad	Tykkelsesintervall		Bruddstyrke (Rm) MPa	Provebelastning (Rp0,2) MPa	Forlengelse A50mm % min	Forlengelse % min	Bøyeradius 90° t	Brinellhardhet HBS			
		Min	Max	Min								
EN AW-7075	T6	0,4	0,8	525	460	6	-	4,50	157			
EN AW-7075	T6	0,8	1,5	540	460	6	-	5,50	160			
EN AW-7075	T6	1,5	3	540	470	7	-	6,50	161			
EN AW-7075	T6	3	6	545	475	8	-	8,00	163			
EN AW-7075	T6	6	12,5	540	460	8	-	12,00	160			
EN AW-7075	T6	12,5	25	540	470	-	6	-	161			
EN AW-7075	T6	25	50	530	460	-	5	-	158			
EN AW-7075	T6	50	60	525	440	-	4	-	155			
EN AW-7075	T6	60	80	495	420	-	4	-	147			
EN AW-7075	T6	80	90	490	390	-	4	-	144			
EN AW-7075	T6	90	100	460	360	-	3	-	135			
EN AW-7075	T6	100	120	410	300	-	2	-	119			
EN AW-7075	T6	120	150	360	260	-	2	-	104			
EN AW-7075	T6	150	200	360	240	-	2	-	-			
EN AW-7075	T6	200	300	360	220	-	1	-	-			

Vedlegg 4:



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:	
DRAWN T.E		03.05.18		Dolphin Sky Propellkonstruksjon	
CHK'D				DWG NO.	
APP'VD				totsammenstilling A4	
MFG			MATERIAL:	SCALE:1:100	
Q.A			WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	

Vedlegg 5:

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	midtstruktur	1
2	fallsjermbeholder	1
3	rotasjonsleddaksel	4
4	rotasjonsledd	4
5	leddoye.teleskopplattorm	4
7	rotasjonsmotorplattform	4
8	armprofil.1	4
9	støttebrakett.profil	4
10	teleskopmotorbrakett	4
11	teleskopgjenge	4
12	ytterprofil	4
15	vinkel.ledd.oye	4
16	vinkel.ledd.del2	4
21	mellomdelpropell	8

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN T.E		03.05.18
CHKD		
APPVD		
MFG		
Q.A		

TITLE:  
 Dolphin Sky  
 Propellkonstruksjon

DWG NO.  
**Explodedview2** A4

SCALE:1:100 SHEET 1 OF 1

WEIGHT:



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway