

Kirsti Øyen Skjølsvik  
Sverre Andreas Helland  
Rasmus Møller Guttormsen

## Konseptutvikling av system for sjøsetting og opphenting av undervannsdrone montert på ubemannet fartøy

Concept Development of Unmanned Surface  
Vehicle based Launch and Recovery System for  
Remote Operated Vehicle

Bacheloroppgave i maskiningeniør



Kirsti Øyen Skjølsvik  
Sverre Andreas Helland  
Rasmus Møller Guttormsen

# **Konseptutvikling av system for sjøsetting og opphenting av undervannsdroner montert på ubemannet fartøy**

Bacheloroppgave i maskiningeniør  
Veileder: Evangelos Tyflopoulos  
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Kunnskap for en bedre verden



# RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel på engelsk:

Concept Development of Unmanned Surface Vehicle based Launch and Recovery System for Remote Operated Vehicle

Tittel på norsk:

Konseptutvikling av system for sjøsetting og opphenting av undervannsdroner montert på ubemannet fartøy.

Prosjektnr: **MTP-K-2021-15**

Forfattere:

Kirsti Øyen Skjølvik

Sverre Andreas Helland

Rasmus Møller Guttormsen

Oppdragsgiver eksternt: Maritime Robotics

Veileder internt: Evangelos Tyflopoulos

Rapporten er **ÅPEN/LUKKET**

Dato levert: 20.05.21

Kort sammendrag:

Oppgaven tar for seg produktutvikling av et system som skal sjøsette og hente opp en undervannsdroner. Systemet skal monteres på Maritime Robotics sin Otter, som er et ubemannet fartøy.

Short Abstract:

The thesis consists of a product development of a Launch and Recovery System for a Remote Operated Vehicle. The system is going to be mounted on Maritime Robotics Otter, an Unmanned Surface Vehicle.

Stikkord: Ubemannet overflatefartøy, undervannsdroner, sjøsetting, opphenting, grafisk modellering og simulering

Keywords: Unmanned Surface Vehicle (USV), Remote Operated Vehicle (ROV), Launch and Recovery System (LARS), CAD and FEA



## Forord

Denne rapporten er utarbeidet som en del av maskiningeniørstudiet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU, våren 2021. Prosjektgruppen består av Sverre Andreas Helland, Kirsti Øyen Skjølsvik og Rasmus Møller Guttormsen som alle har spesialisert seg innenfor konstruksjonsteknikk. I søket etter en prosjektoppgave var alle innstilt på å finne en oppgave som var innenfor temaet produktutvikling, der det var ønske om å lage en prototype. Gruppen hadde et mål om å løse et problem for en lokal bedrift. Etter å ha vært i kontakt med flere bedrifter endte avgjørelsen på Maritime Robotics (MR). Årsaken til at valget falt på MR var at dette var en bedrift vi hadde sett oss ut i forkant da de har mange spennende produkter og prosjekter. I tillegg tilbydde de en oppgave som tilfredsstilte våre ønsker.

Vi vil benytte denne anledningen til å takke våre veiledere fra Maritime Robotics, Eirik Hovstein, Runar Andre Olsen og de andre ansatte. De har vist stor interesse for oppgaven og deres kunnskap og innsikt, samt gode oppfølging har vært svært nyttig for oss under prosjektprosessen. Vi vil også takke Blueye Robotics for samarbeidet og for at de har tatt seg tid til å gi oss en bedre forståelse på Blueye Pro. Vi ønsker også rette en stor takk til vår interne veileder Evangelos Tyflopoulos fra NTNU som har veiledet oss gjennom denne oppgaven. Til slutt ønsker prosjektgruppen å takke hverandre for det gode samarbeidet.



Rasmus Møller Guttormsen



Kirsti Øyen Skjølsvik



Sverre Andreas Helland

Trondheim 20.05.2021

## Sammendrag

Målet for denne oppgaven har vært å designe et system som skal sjøsette og hente opp en undervannsdronne (ROV). Dette behovet ble presentert av Maritime Robotics (MR). De hadde et ønske om å utvide bruksområdet til sin Otter, som er en ubemannet båt (USV). Måten de så for seg å utvide bruksområdet på var ved å utvikle et mekanisk samspill mellom Otter og en undervannsdronne. I denne oppgaven har det blitt sett på et slikt system for en Blueeye Pro ROV, levert av Blueeye Robotics (BR).

Prosjektet følger en 6-trinns modell, hentet fra boken *The Mechanical Design Process*. Disse trinnene innebærer å identifisere et behov, strukturere arbeidet, definere problemet, utvikle konsept som ender i et resultat og til slutt komme med forslag til endringer. Det har vært tett dialog mellom prosjektgruppen og MR. Bedriften satte krav til spesifikasjonene i konseptet som dannet grunnlaget for utforming av produktet.

Konseptutviklingen har bestått av iterasjoner av idemyldring- og evalueringsmetoder. Idemyldringen begynte med frihåndstegninger, før de endelige tredimensjonale tegningene ble laget i CAD-programmet SolidWorks. Evalueringsprosessen har bestått av grovsorteringer, sammenligninger og tester. Utover det å designe og evaluere de ulike konseptene har prosjektgruppen gjort beregninger og analyser av de kritiske delene i systemet for å sikre riktig dimensjonering.

Av det valgte konseptet ble det laget en prototype ved bruk av 3D-print, som ble brukt til å evaluere konseptet. Etter testing av prototypen ble det gjort noen endringer, før maskintegninger ble sendt til Maritime Robotics. Det ble deretter satt i gang produksjon av en full skala prototype, som ikke ble ferdig før ferdigstilling av den akademiske rapporten.

Avslutningsvis diskuterer prosjektgruppen mulige forbedringspotensial og videre arbeid. Denne oppgaven tar ikke for seg kommunikasjon mellom undervannsdronen og det ubemannede fartøyet, noe som er essensielt for helheten av systemet. Alt i alt konkluderes det med at det er mulig å utvikle et system for sjøsetting og opphenting av undervannsdroner, som kan monteres på Otter, men at det er behov for videre arbeid og optimalisering.



## Abstract

The main objective of this thesis has been to design a Launch and Recovery System (LARS) for a Remote Operated Vehicle (ROV). The demand for this product was given by Maritime Robotics. They had a vision to expand the area of use for their Otter. The Otter is an Unmanned Surface Vehicle (USV). The way they envisioned expanding the use, was by developing a mechanical interaction between Otter and a ROV. In this thesis the focus has been to develop a LARS for the Blueye Pro ROV, delivered by Blueye Robotics.

The project follows a 6-step model, from the book *The Mechanical Design Process*. These steps include identifying a need, structuring the work process, defining the problem and developing concepts that lead to a result and finally make suggestions for changes. During the entire process there has been close communication between the company and the group. The company has set requirements and specifications for the concept, which made the foundation for the evaluations.

The main area of focus in this thesis is concept development, and different methods of brainstorming and evaluations have been used. SolidWorks was used to transform the two-dimensional drawings into three-dimensional drawings. For the critical components in the system calculations and analyzes have been made to ensure correct dimensioning. A 3D-printed prototype was made to evaluate the chosen concept. After testing the prototype some changes and adjustments were made before the drawings was sent to Maritime Robotics. Production of a true to size prototype begun but did not finish in time for finalizing of the thesis.

Towards the end of the project the group discussed potential improvements. The thesis does not cover communication between the ROV and USV, which is essential for the system. Overall the conclusion is that it is possible to develop a concept for an Otter based Launch and Recovery system for a ROV, but that the system should be further optimized.

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	iii
Sammendrag .....	iv
Abstract.....	v
Tabelliste.....	vii
Figurliste .....	viii
Forkortelser.....	x
1. Innledning .....	- 1 -
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	- 1 -
1.2 Problemdefinering.....	- 1 -
1.3 Begrensninger .....	- 2 -
1.4 Mål .....	- 4 -
2. Teori.....	- 5 -
2.1 Generelt om ROV og USV .....	- 5 -
2.2 Konseptutvikling.....	- 6 -
2.3 Produksjonsteknikk.....	- 10 -
2.4 Materialer.....	- 13 -
2.5 Beregninger.....	- 16 -
3. Metode .....	- 21 -
3.1 Behov .....	- 21 -
3.3 Problemdefinering.....	- 23 -
3.4 Konseptutvikling.....	- 25 -
4. Konsepter .....	- 28 -
4.2 Konsept 2 .....	- 30 -
4.3 Konsept 3 .....	- 31 -
4.4 Testing.....	- 32 -
4.5 Sammenligning av konseptene.....	- 34 -
5. Resultat .....	- 35 -
5.1 Det valgte konseptet.....	- 35 -
5.2 Form.....	- 36 -
5.3 Elektrisk kabeltrommel.....	- 40 -
5.5 Andre komponenter .....	- 44 -

6. Resultat av beregning og simulering av trinse og drivverk .....	- 46 -
6.1 Skrueberegning .....	- 46 -
6.2 Simuleringsstudiet.....	- 47 -
6.3 Reimtransmisjon og tannhjul .....	- 49 -
7. Prototyping.....	- 50 -
8. Diskusjon .....	- 52 -
9. Konklusjon.....	- 54 -
10. Referanseliste.....	- 55 -
11. Vedleggsliste.....	- 57 -

## Tabelliste

Tabell 1: Spesifikasjoner Otter USV .....	- 47 -
Tabell 2: Spesifikasjoner Blueye Pro.....	- 47 -
Tabell 3: Produksjonsteknikker .....	- 48 -
Tabell 4: Materialdata .....	- 48 -
Tabell 5: Symbolforklaring.....	- 48 -
Tabell 6: Kravspesifikasjoner .....	- 49 -
Tabell 7: Design for X .....	- 50 -
Tabell 8: Krav til motor .....	- 50 -
Tabell 9: Sammenligningsmatrise.....	- 50 -
Tabell 10: Form, komponenter .....	IV
Tabell 11: Krav lineær aktuator .....	IV
Tabell 12: Form, materialvalg.....	V
Tabell 13: Form, valg av produksjonsteknikk .....	V
Tabell 14: Komponenter elektrisk kabeltrommel .....	V
Tabell 15: Elektrisk kabeltrommel, materialvalg.....	VI
Tabell 16: Elektrisk kabeltrommel, valg av produksjonsteknikk.....	VI
Tabell 17: Resultat tannhjul .....	VI
Tabell 18: Evalueringsmatrise .....	VII

# Figurliste

Figur 1: Otter USV.....	VII
Figur 2: Blueye Pro.....	VIII
Figur 3: Kabeltrommel.....	VIII
Figur 4: 6-steg ved produktutvikling .....	XV
Figur 5: Eksempel på funksjonsanalyse.....	XVI
Figur 6: Produktutviklingsprosessen.....	XVI
Figur 7: Tannhjul fra Maskindeler 1 .....	XVI
Figur 8: Tannhjul og reim .....	XVI
Figur 9: Work Breakdown Structure.....	XVII
Figur 10: Gantt-skjema .....	XVII
Figur 11: Timeliste.....	XVII
Figur 12: Funksjonsanalyse .....	XVIII
Figur 13: Blueye Pro sjøsettes fra borerigg. ....	XVIII
Figur 14: Konsept 1 .....	XIX
Figur 15: Konsept 1, fordeler og ulemper.....	XXV
Figur 16: Konsept 1, komponenter .....	XXVII
Figur 17: Konsept 2 .....	XXVIII
Figur 18: Konsept 2, detaljer.....	XXIX
Figur 19: Konsept 2, fordeler og ulemper.....	XXIX
Figur 20: Konsept 3 .....	XXIX
Figur 21: Konsept 3, detaljer.....	XXX
Figur 22: Konsept 3, fordeler og ulemper.....	XXX
Figur 23: Oppsett til testing .....	XXXI
Figur 24: Resultat av test 1 .....	XXXI
Figur 25: Resultat av test 2 .....	XXXII
Figur 26: Det valgte konseptet.....	XXXII
Figur 27: Dekomponering av LARS.....	XXXII
Figur 28: Form .....	XXXIII
Figur 29: Deksel.....	XXXIII
Figur 30: Trommelsammenstilling.....	XXXV
Figur 31: Sammenstilling elektrisk kabeltrommel.....	XXXV
Figur 32: Trinse.....	XXXVI
Figur 33: Funksjonsanalyse av det valgte konseptet.....	XXXVII
Figur 34: Fordeling av krefter.....	XXXVIII
Figur 35: Trinsesammenstilling .....	XXXVIII
Figur 36: Ulike kraftpåkjenninger.....	XXXVIII
Figur 37: Sammenligning av ulike kraftpåkjenninger med ulik mesh .....	- 48 -
Figur 38: Max von Mises .....	- 48 -
Figur 39: Spenninger over 0,7MPa.....	- 48 -
Figur 40: Reimforbindelse .....	- 49 -
Figur 41: 3D-printet deler .....	- 50 -
Figur 42: Sammenstilling 3D-print.....	- 50 -
Figur 43: Festestang mot drone.....	- 50 -
Figur 44: Ide #1.....	IV
Figur 45: Ide #2.....	IV

Figur 46: Ide #3.....	V
Figur 47: Ide #4.....	V
Figur 48: Ide #5.....	V
Figur 49: Ide #6.....	VI
Figur 50: Ide #7.....	VI
Figur 51: Ide #8.....	VI
Figur 52: Ide #A.....	VII
Figur 53: Ide #B.....	VII
Figur 54: Ide #C.....	VIII
Figur 55: Ide #D.....	VIII
Figur 56: Kontakt betingelser .....	XV
Figur 57: Kontaktsett .....	XVI
Figur 58: Kontaktsett, vegg type.....	XVI
Figur 59: Bolteforbindelse .....	XVI
Figur 60: Bolteforbindelse, forspenning .....	XVI
Figur 61: Pin kontakt .....	XVII
Figur 62: Split line .....	XVII
Figur 63: Split line, vinkel .....	XVII
Figur 64: External load 1 og external load 2.....	XVIII
Figur 65: Maksimal spenning .....	XVIII
Figur 66: Singularitetspunkt.....	XIX
Figur 67: Dimensjoner drivverk, senteravstand og diameter til tannhjul.....	XXV
Figur 68: Levelwinder screw .....	XXVII
Figur 69: Form, dekomponering .....	XXVIII
Figur 70: Indre ramme .....	XXIX
Figur 71: Sideprofil.....	XXIX
Figur 72: Hovedprofil .....	XXIX
Figur 73: Skinne.....	XXX
Figur 74: Festestang.....	XXX
Figur 75: Festeramme .....	XXXI
Figur 76: Sammenstilling.....	XXXI
Figur 77: Fenderlist.....	XXXII
Figur 78: Lineær aktuator .....	XXXII
Figur 79: Feste lineær aktuator .....	XXXII
Figur 80: Elektrisk kabeltrommel, dekomponering .....	XXXIII
Figur 81: Stativ .....	XXXIII
Figur 82: Kabelfører .....	XXXV
Figur 83: Kabeltrommel, førerblokk.....	XXXV
Figur 84: Snitt av drivverk.....	XXXVI
Figur 85: Trinse, dekomponering.....	XXXVII
Figur 86: Trinse, arm 1 og 2 .....	XXXVIII
Figur 87: Trinsehjul .....	XXXVIII
Figur 88: Trinse, aksel og lås .....	XXXVIII

## Forkortelser

ABS	–	Acrylonitrile butadiene styrene
AHP	–	Analytic Hierarchy Process
BR	–	Blueye Robotics
CAD	–	Computer Aided Design
CNC	–	Computer numerical control
DFX	–	Design for X
FEA	–	Finite Element Analysis
FOS	–	Factor of Safety
LARS	–	Launch and Recovery System
MR	–	Maritime Robotics
NDLA	–	Nasjonal Digital Læringsarena
NTNU	–	Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet
OAC	–	Ocean Autonomy Cluster
PLA	–	Polylactic acid
Prodtek	–	Produksjonsteknikk
PTFE	–	Polytetrafluoreten
PU	–	Produktutvikling
ROV	–	Remotely Operated Vehicle
RPM	–	Revolutions per minute
SW	–	SolidWorks
SWL	–	Safe Working Load
USV	–	Unmanned Surface Vehicle

# 1. Innledning

I dette kapittelet blir bakgrunnen for oppgaven og problemstilling beskrevet. Det blir også satt begrensninger og mål for prosjektet.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Havet utgjør omkring 70% av overflaten på jorden. Av dette er kun en brøkdel blitt utforsket og kartlagt. Maritime Robotics (MR) er en bedrift som tilbyr utstyr og tjenester til å utforske maritime områder. Et av produktene til MR er Otter. Dette er et lite ubemannet overflatefartøy (USV) som kartlegger bunnen fra vannoverflaten. Den kan blant annet gjøre batymetriske kartlegginger, hvor dybden i hav, elver og dammer måles. MR har et ønske om å utvide bruksområdene til Otter ved å utvikle et mekanisk samspill mellom Otter og en undervannsdronne (ROV).

MR har et samarbeid med Blueye Robotics (BR) som stilte sin ROV, Blueye Pro til disposisjon for prosjektet. Undervannsdronen skaper nye muligheter til å utforske havbunnen tryggere og enklere. Det mekaniske samspillet krever et Launch and Recovery System (LARS). Dette gjør det mulig å bruke Otter til å frakte ROV til ønsket posisjon, sjøsette dronen, utforske eller gjøre undersøkelser og deretter hente opp ROV.

## 1.2 Problemdefinering

Problemet som danner grunnlaget for denne oppgaven, blir å utforske om det er mulig å designe et LARS. Dette skal være det mekaniske samspillet mellom MR sin Otter og BR sin Blueye Pro.

Prosjektgruppen skal undersøke om det er mulig å lage et tilpasset LARS til Otter, eller om Otter er for liten til å få plass til et slikt system. Dersom det blir tid, er det ønskelig å få bygd en fullskala prototype for å utforske om det er mulig å gjennomføre et slikt mekanisk samspill.

I tillegg til å utvikle LARS for Blueye Pro ønsker MR at det blir laget et universalt system som kan fungere for andre ROV-modeller.

### 1.3 Begrensninger

Ved oppstart av prosjektet ble MR og BR intervjuet for å kartlegge noen begrensninger og spesifikasjoner til problemstillingen.

Dimensjoneringen av LARS må ta hensyn til formen og dimensjonene til Otter og Blueye Pro. For at Otter skal være stabil under drift er det en fordel om systemet plasseres så nært oppdriftssenteret som mulig. Otter-rammen er festet til skrogene i 4 festepunkter som illustrert på figur 1. Disse 4 festepunktene kan ikke flyttes, men ellers kan det gjøres tilpasninger til rammen.

Otter kan demonteres i mindre moduler for transport, og MR har et ønske om at LARS også skal være modulbasert. Otter er utstyrt med to til fire batterier, avhengig av hvor mye kapasitet det er behov for. Disse batteriene leverer DC, likestrøm. Maks hastighet er 6 knop, men for å oppnå en langvarig batteritid bør farten holdes mellom 1 til 3 knop. Ved farvann hvor bølgene er høyere enn 0,5m anbefales det ikke å bruke Otter. Tabell 1 viser noen av spesifikasjonene til Otter hentet fra hjemmesiden til Maritime Robotics [1].



Figur 1: Otter USV

<b>Høyde</b>	0,815 m
<b>Lengde</b>	2,0 m
<b>Bredde</b>	1,08 m
<b>Vekt</b>	55 kg
<b>Materialer</b>	
- <b>Ramme</b>	Aluminium
- <b>Skrog</b>	Polyetylen
<b>Batteri leveranse</b>	28 – 33 V
<b>Max fart</b>	6 knop

Tabell 1: Spesifikasjoner Otter USV

Systemet må fungere på en slik måte at Otter og Blueye Pro blir beskyttet mot skader under prosessen. Utsidematerialet til Blueye Pro er ABS plast, som ikke er det sterkeste når det kommer til støt og slag. For at Blueye Pro som vist på figur 2 skal kunne driftes er den avhengig av en kabel der signal og bilde overføres til operatør. Inne i kabeltrommelen, vist på figur 3, er det en WiFi-ruter og annen elektronikk, som ligger gjemt i lokket på siden. I figur



3 kan man se litt av WiFi-ruteren som er den hvite ellipsen i senter av lokket. Kabelen er tynn og slitesterk, samtidig som den er enkel å bytte. Denne kabeltrommelen må inkluderes i konseptet, og det er satt et krav til kontroll av kabel. Dette må gjøres for å unngå at kabelen samler seg på et sted, noe som kan forårsake skader på kabel eller at den knytter seg og hele systemet stopper opp. Dronen er avhengig av denne kabelen for å kunne driftes. Det må være mulig å slippe ut og ta inn kabel, og siden operatøren står på land må dette kunne fjernstyres. Blueye Pro er godt egnet i krevende omgivelser, men sliter hvis det er strømninger over 2 knop. Tabell 2 viser spesifikasjonene til Blueye Pro hentet fra nettsiden til Blueye Robotics [2].



Figur 2: Blueye Pro



Figur 3: Kabeltrommel

<b>Høyde</b>	0,350 m
<b>Lengde</b>	0,485 m
<b>Bredde</b>	0,2514 m
<b>Vekt</b>	< 9 kg
<b>Tykkelse kabel</b>	4,0 mm
<b>Utside materiale</b>	ABS-plast
<b>Max fart</b>	3 knop
<b>Max dybde</b>	305 m

Tabell 2: Spesifikasjoner Blueye Pro

Det er vanskelig å anta hvor nøyaktig den relative posisjonen mellom Otter og Blueye Pro må være for å få en vellykket opphenting. Opphenting avhenger også av værforholdene, strømninger i vannet og bølger.

Konstruksjonen må være korrosjonsbestandig ettersom den vil bli brukt i korrosjonsutsatte miljøer. Temperaturen vil ikke bli spesielt høy eller lav, og er ikke en faktor som vil påvirke materialvalget i stor grad.

Som nevnt tidligere ønsker MR et universalt system som kan fungere for flere ROV-modeller. Utfordringen med dette er at form og dimensjoner på de ulike ROV-modellene variere mye.

Resultatet av oppgaven skal leveres 20.05.2021. Dette setter en begrensning på hvor lang tid det kan brukes på produktutviklingen. Mellom oppstart av oppgaven og innlevering i mai er det flere milepæler med tidsfrister som må overholdes.

## 1.4 Mål

Under forprosjektet av denne oppgaven ble det fastslått noen resultat- og effektmål prosjektgruppen skulle oppnå.

### Resultatmål

- Produktutvikling av et LARS som tilfredsstiller de nevnte krav og behov i problemdefinering og begrensninger
- Utvikle en prototype av et LARS konsept
- Skrive en strukturert akademisk rapport som beskriver prosessen

### Effektmål

- Gi større bruksområder og flere oppdrag for Otter og Blueye Pro
- Økt kunnskap og ferdigheter i gruppesamarbeid, produktutvikling, CAD-modellering og akademisk skriving
- Innsikt i produktutvikling og problemløsning i praksis

## 2. Teori

I dette kapittelet blir relevant teori for oppgaven presentert. Teorien blir videre brukt i oppgaven til utvikling av konsepter.

### 2.1 Generelt om ROV og USV

Før det ble sett på produktutviklingen av det mekaniske samspillet ble det gjennomført et litteraturstudium for å få en bedre forståelse rundt hva ROV og USV er.

I boken *The ROV manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles* [3], forklarer Christ og Wernli Sr hva en ROV er og hva de brukes til. En Remote Operated Vehicle (ROV) er en fjernstyrt undervannsdroner, og kan brukes i både fersk- og saltvann. ROV driftes av en operatør som befinner seg på land eller om bord i en båt. Kommunikasjonen mellom drone og operatør går via en kabel, som overfører bilder og signaler. En ROV består av thrustere, kamera, lyskilde, batteri, flyteelement, kabel og noen har ekstra utstyr i form av sensorer og armer. Thrustere er propeller som er innfelt i skroget. Undervannsdroner erstatter dykkere og brukes blant annet til kartlegging av havbunn, inspeksjon, vedlikehold og reparasjoner under vann. Fordelen med å bruke en ROV fremfor en dykker er at det sparer kostnader og reduserer risikoen for tap av menneskeliv.

Undervannsdroner kommer i mange størrelser og former. Det skilles mellom små observasjonsdroner og større arbeidsdroner. Utformingen til dronen påvirker dens hydrodynamikk, som vil si hvordan dronen beveger seg i vannet.

National Research Council forklarer at en Unmanned Surface Vehicle (USV) er et maritimt fartøy som opereres fjernstyrt eller autonomt, altså uten mennesker fysisk ombord. USV er ingen ny oppfinnelse, de ble først utviklet i slutten av andre verdenskrig. I starten var formålet blant annet å fjerne eksplosive sjøminer [4]. I dag brukes de fremdeles til dette, samtidig som teknologien har utviklet seg de siste årene og gitt USV nye bruksområder. De kan være oppsatt med utstyr som kameraer, radar, oseanografiske instrumenter, hydroakustiske posisjoneringssystemer og ekkolodd [5]. Dette utstyret gir USV et bredt spekter av oppgaver som blant annet kan være kartlegging av havbunn og miljø, passasjerferger, inspeksjoner, overvåkning, militære- og marine operasjoner. En USV kan doble undersøkelsesdekningen ved å jobbe parallelt med et annet kartleggingsfartøy [6]. USV finnes i mange størrelser, og en gang i fremtiden vil kanskje til og med containerskip bli USV.

## 2.2 Konseptutvikling

Videre blir det presentert hvilke metoder som ble brukt under produktutviklingen av LARS konsepter.

### Produktutvikling

Produktutvikling (PU) er en prosess hvor produkter og tjenester utvikles. PU kan være både utvikling av nye produkter og tjenester, og forbedring av allerede eksisterende produkter [7]. Denne oppgaven tar for seg konseptutvikling av et nytt produkt. Utvikling av nye produkter kalles ofte for innovasjon. Dette er et begrep for nyskaping og brukes for nye løsninger som er så bra at de blir tatt i bruk.

Prosjektet følger en 6-trinns modell fra boken *The Mechanical Design Process* [8]. Denne modellen ble fulgt for å strukturere og planlegge hva som skulle gjøres underveis i prosjektet. Planleggingen legger fundamentet for oppgaven, og bidrar til at tidsrammen blir overholdt.

Figur 4 illustrerer de 6-stegene der hvert steg består av flere faser.



Figur 4: 6-steg ved produktutvikling

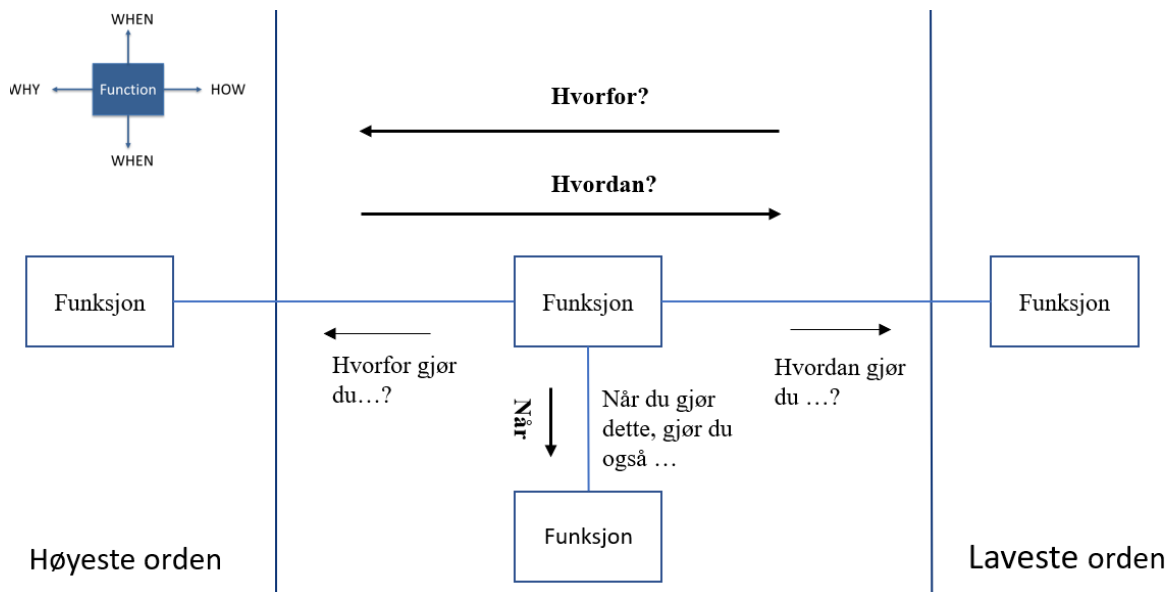
1. **Behov:** Før utviklingen av et produkt kan begynne må det kartlegges om det er et behov for produktet. Dette er for å sikre nødvendig bruk av tid og ressurser. Dersom det ikke finnes et behov for produktet, vil alt være bortkastet. Det skilles mellom å finne et behov til en ide og lage en ide til et behov.
2. **Arbeidsstruktur:** Det neste steget er å strukturere arbeidsprosessen. Dette gjøres for å danne en oversikt over hva som må gjøres, hvor lang tid prosjektet skal vare og hvem som skal involveres. Ved bruk av verktøy som for eksempel et Gantt-skjema kan det settes opp en tidsplan for perioden med delmål og tidsfrister for når de ulike delene skal være ferdigstilte.
3. **Problemdefinering:** Før idemyldringsprosessen, er det viktig å kartlegge begrensninger og spesifikasjoner til produktet. Dette gjøres for å bearbeide problemstillingen og sørger for at prosjektgruppen har samme forståelse av hva som skal løses.

4. **Konseptutvikling:** Problemdefineringen og arbeidsstrukturen brukes deretter til å innhente relevant kunnskap, utvikle og evaluere ideer. Relevant kunnskap innhentes blant annet gjennom litteraturstudium og samtaler med fagpersoner. For å utvikle ideer gjennomføres flere idemyldringer, både med og uten begrensninger. Videre evalueres disse ideene opp mot krav som ble satt under problemdefineringen.
5. **Resultat:** Etter flere runder med evalueringer kan det endelige valget av konsept bli tatt og produsert. Produktet kan i første omgang produseres som en prototype.
6. **Forslag til endringer:** Når det er laget en prototype eller et ferdig produkt, er det mulig å teste og evaluere den fysiske modellen. Ved å gjøre dette oppdages mulige forbedringer som kan utbedres på neste modell.

## Problemdefinering

En metode som brukes for å visualisere og definere et problem er funksjonsanalyse. Boken *Stimulating Innovation in Products and Services: With Function Analysis and Mapping* [9] forklarer metoder som kan brukes for å stimulere hjernen ved innovativ produktutvikling. En funksjonsanalyse utføres ved å stille spørsmålene «Hvordan?», «Hvorfor?» og «Når?», og er nyttig for å tenke på de logiske sammenhengene mellom funksjonene. Ved å bruke disse tre spørsmålene, kan det settes opp en funksjonsanalyse: Hvordan oppnår du denne funksjonen? Hvorfor utfører du denne funksjonen? Når du gjør denne funksjonen, hvilke andre funksjoner må du gjøre? Funksjonsanalysen leses ved å stille spørsmålet «Hvordan?» når det leses mot venstre, og «Hvorfor?» når det leses mot høyre. «Når?» leses når det går en vertikal strek ut av boksen. Fordelen med en slik analyse er at det skaper en illusjon av hvordan en løsning kan oppfylle produktets behov, identifisere manglende funksjoner og stimulere kreativitet.

Det er også nyttig å sette opp en funksjonsanalyse for å danne en felles forståelse av de ønskede funksjoner til produktet. Figur 5 viser hvordan en funksjonsanalyse kan settes opp.

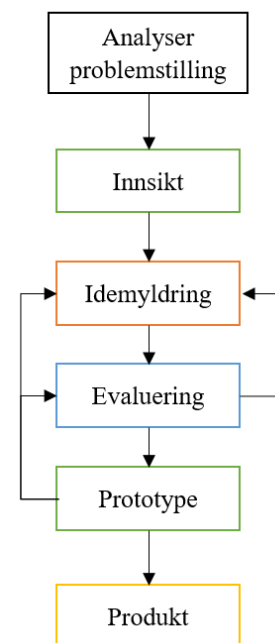


Figur 5: Eksempel på funksjonsanalyse

Funksjonsanalysen fungerer som et tankekart med stikkord som kan brukes når det utføres litteraturstudium. Ved å planlegge og legge inn innsats er det enkelt å gjennomføre en god litteraturstudie.

## Konseptutvikling

Konseptutvikling er en iterativ prosess, noe som betyr at steg i prosessen repeteres. Dette illustreres i figur 6. Underveis i prosessen kan det oppdages forbedringspotensialer som gjør at man må starte på nytt igjen. For eksempel etter det er laget en prototype og den er testet, kan det dukke opp momenter som ikke var tenkt på tidligere. Først evalueres prototypen, deretter kan steg i prosessen repeteres. Det er ikke alltid behov for å gå helt tilbake til start ved PU, det avhenger av hvor problemet ligger. Om for eksempel materialet er for svakt, kan det prøves på nytt med samme utforming, men med et annet materialvalg.



Figur 6: Produktutviklingsprosessen

## Innsikt

Innsikt anskaffes gjennom eksempelvis observasjoner, intervjuer, bøker og artikler. Dette blir også kaldt en litteraturstudie der fremgangsmåten er å definere hva som skal studeres, systematisk hente ut data og resultater, for så å presentere funn og referere til kilden.

## Idemyldring

Idemyldring er en metode som brukes for å generere ideer. En idemyldring bør foregå både individuelt og i fellesskap. Ved å utføre en individuell idemyldring er det mulig å utnytte hver enkelt gruppe-medlems kunnskap. Deretter ved å gjennomføre en felles idemyldring kan man komme med innspill til andres ideer, og sammen utvikle nye ideer. Konseptutvikling går ut på å ta en ide og se på formvariasjoner og dekomponere produktet. Design for X (DFX) er en systematisk tilnærming for å utforme et konsept [10]. X er en variabel som symboliserer spesifikke egenskaper eller funksjoner ved produktet. Typiske variabler man ser på for X er kostnad, materiale, plassering, geometri og vedlikehold. X avhenger av utformingen til produktet og skal bidra til å komme med forslag til formvariasjoner av valgt variabel.

## Evaluerings

Hensikten med en evaluering er å sikre kvalitet, avdekke utfordringer og områder for forbedring. Under evalueringsprosessen oppstår det dialog og refleksjon rundt ideene, noe som kan bidra til å danne nye ideer. Ved å korrigere eller justere elementer som oppfattes som svakheter, fører evalueringen til en styrket ide. Evalueringsprosessen foregår ved å sammenligne flere ideer opp mot forhåndsbestemte krav og funksjonaliteten til de ulike ideene. Grovsortering er en metode hvor ideer det er knyttet mest tvil til fjernes. Ved sammenligning blir hver enkelt ides styrker og svakheter kartlagt. Deretter blir ideer med ulike egenskaper sammenlignet. Dette blir gjort for å se om elementer fra andre ideer kan brukes til å styrke de enkelte svakheter. For å evaluere ideer som har like styrker og svakheter, kan det lages en evalueringsmatrise. Denne matrisen evaluerer hver ide opp mot satte krav. Ved å gi ideen en karakter til hvert krav er det til slutt mulig å rangere ideene fra best til mindre bra.

## Prototype

En prototype er en fysisk modell som er laget for å teste et konsept. Det er kun en midlertidig utgave av et fullverdig konsept. Formålet med prototyping er å demonstrere og teste funksjoner og design. Prototyping gjør det mulig å finne styrker og svakheter ved designet, som kanskje ikke hadde blitt oppdaget før det ferdige produktet ble produsert. Ved å benytte en 3D-printer og nedskalere produktet kan det gjøres noe som heter hurtig prototyping. Ved hurtig prototyping lages en forenklet modell av konseptet. Fordelen med denne metoden sammenlignet med konvensjonell prototyping er at det foregår raskere og er i mindre skala. Ved å benytte seg av prototyping reduseres risikoen for kostbare feil, uventede problemer kan avdekkes og utviklingsprosessen fremskyndes. 3D-printing er en teknikk som bygger objekter i fast materialet, også kalt additiv produksjon av en tredimensjonal digital modell. En prototype behøver ikke å bestå av alle komponentene for å være fullverdig. Det kan ofte lønne seg å velge ut de mest kritiske elementene i konseptet, og lage prototyper av disse. Prototyping kan også være å utføre tester. Hensikten med testing er å illustrere det ønskede hendelsesforløpet. Ved bruk av tester kan en observere blant annet om bevegelsesmønsteret er som forventet. Forenklete tester og prototyper kan også brukes til evaluering.

Det neste delkapittelet gjennomgår ulike produksjonsteknikker som benyttes for å lage et fysisk produkt.

## 2.3 Produksjonsteknikk

Når det skal velges produksjonsmetode er det flere faktorer som må vurderes. En av faktorene er om delen skal masseproduseres eller ikke. I boken *Manufacturing Engineering and Technology* [11] beskrives blant annet disse produksjonsteknikkene.

### Additiv tilvirkning

Additiv tilvirkning er en produksjonsmetode mye brukt til å lage prototyper og modeller. Dette er fordi det er en prosess som er rask, billig og krever lite etterarbeid for lavt produksjonsantall. Denne prosessen refereres ofte til som hurtig prototyping eller 3D-printing, og er produksjon av en tredimensjonal digital modell. Enkelt forklart blir materialet ekstrudert i varm tilstand gjennom en dyse og fordeles lag for lag oppover, før det til slutt er bygget en solid modell. Materialer som ofte blir brukt er polymerer og plaststoffer, men metaller, legeringer, keramer, kompositter, næringsstoffer og biologisk materiale kan også



benyttes. Ulempen med additiv tilvirkning er at det er en dyr investering og modellen har begrenset materialegenskaper.

## Plaststøping

Plaststøping er en prosess hvor granulat smeltes, helles i en form og størkner. Den størknede plasten vil da ha fasong etter støpeformen. For å kunne benytte støping som metode er det satt krav til enkle konturer på emnet. Sammenlignet med andre produksjonsmetoder for plast, er støping en relativt enkel og billig prosess, men langsom. Andre fordeler med plaststøping er lite materialsvinn, fine overflater og muligheten for å lage detaljerte former. Selve støpeformene kan være kostbare, så prosessen blir ofte bruk ved masseproduksjon.

## Laserskjæring

Laserskjæring er en produksjonsteknikk som brukes på tynnplater, både av metall og ikke-metall. For at metoden skal være ideell må materialet reflektere lite og ha god termisk ledesevne. Det settes noen krav til design for å kunne bruke laserskjæring som metode. Dette innebærer blant annet å unngå skarpe hjørner da disse er vanskelig å produsere. Ved laserskjæring kuttet platen av en optisk laserstråle som varmer opp materialet som skal skjæres. Samtidig som det skjæres, brukes en gass både til å blåse vekk spon og som dekk-gass. Denne gassen kan være nitrogen, oksygen, helium, argon eller karbondioksid. Hvilken gass som egner seg, avhenger av anvendelsen til materialet som skal skjæres. Fordelen med laserskjæring er at den tynne laserstrålen gir presisjon både for kutt og små utskjæringer, og krever lite etterarbeid. Ulempen er at det er en dyr investering og det etterlates en varmepåvirket sone. Den varmepåvirkede sonen vil ha svakere egenskaper enn grunnmaterialet.

## Vannskjæring

Vannskjæring er en annen teknikk som benyttes på tynnplater. Ved vannskjæring kan de fleste materialer brukes, for eksempel metall, plast, tre og skinn. Denne metoden utsetter en konsentrert vannstråle for høyt trykk, og bruker denne strålen til å skjære i materialet. Dersom hardere materialer skal skjæres tilsettes det sandkorn i vannstrålen. Sandkornene bidrar til å slipe gjennom de hardere materialene. Fordelen med vannskjæring er at det er en miljøvennlig teknikk og etterlater ikke varmepåvirket sone i materialet. Kuttene blir rene og krever lite til ingen etterbehandling. Ulempen med vannskjæring er at det krever dyrt utstyr

og det er en bråkete prosess. Vannskjæring setter også krav til design, på samme måte som laserskjæring.

## Bøying og knekking

Etter at en tynnplate er skjært, blir den ofte bearbeidet. Bearbeiding av tynnplate foregår på flere måter. Bøying og knekking er to metoder som brukes om hverandre. Forskjellen ligger i at tynnplaten, ved bøying, spennes fast og deretter brettes over en kant, mens i knekking legges platen mellom to verktøy. Oververktøyet presser platen mot underverktøyet, og platen formes etter formen på verktøyene. Fordelen med denne prosessen er at den er rask og etterlater ikke en varmpåvirket sone. Utfordringen med disse metodene er at det enkelt kan oppstå sprekker og rifter i emnet. Designvurderinger som kan gjøres med tanke på bøying og knekking som metode er eksempelvis å unngå sammenhengende hjørner, fordi hjørner er samlingspunkt for spenninger. For å hindre sprekker i disse områdene bør det lages lettelses hakk, som bidrar til å redusere spenningsoppsamlingen som oppstår under bøyingen. Slike hakk trenger ikke kun å være i hjørner, men generelt i utkanten av områder som skal bøyes. Selve bøyen vil også være et spenningsutsatt område. Det bør derfor unngås å plassere hull i nærheten av bøyen.

## Maskinering

Det som skjer ved maskinering er at materiale, spon, fjernes fra arbeidsstykket. Derav også kalt for en sponskjærende bearbeidingsprosess. Prosessen skjer ofte ved bruk av maskiner med ett eller flere skjærende verktøy, som skjærer seg inn i arbeidsstykket og skjærer av spon. Eksempler på ulike prosesser kan være boring, fresing og dreining. Disse maskinene kan være manuelt styrt eller Computer Numerical Control (CNC) styrte maskiner. Noen av fordelene med maskinering er at delen får en fin overflate, det er en fleksibel metode med lite forberedelse, oppnår høy nøyaktighet og produsert spon kan resirkuleres. Ulempene er at det er kostbart utstyr og at det ofte er en tidkrevende prosess.

## Stansing

Stansing foregår ved at et stempel presser ut en ønsket form fra en tynnplate ved hjelp av en press- eller slagkraft. Formen som blir presset ut avhenger på utformingen på stempelet. Fordelen ved denne metoden er at det ikke blir brukt varme og at bearbeidingsprosessen kan brukes på de fleste materialtyper. Den største ulempen med stansing er at store deler av emnet ikke blir benyttet.

Tabell 3 beskriver de ulike produksjonsmetodenes fordeler og ulemper:

Produksjonsteknikk	Fordeler	Ulemper
Additiv tilvirkning	Lite etterarbeid Rask og billig for få stykk Detaljerte former	Dyr investering Begrensninger i materialegenskaper
Plaststøping	Detaljerte former Fine overflater Lite materialsvinn	Begrenset størrelse på form Dyr investering
Laserskjæring	Presise kutt og utskjæringer Lite etterarbeid Mange og varierende bruksområder	Dyr investering Designkrav
Vannskjæring	Miljøvennlig Ingen varmepåvirket sone Rene kutt Lite til ingen etterarbeid	Dyr investering Bråkete Designkrav
Bøy- og knekking	Ingen varmepåvirket sone Rask prosess	Fare for sprekker og rifter
Maskinering	Fine overflater Fleksibel og nøyaktig Spon kan resirkuleres	Dyr investering Tidkrevende prosess
Stansing	Ingen varmepåvirket sone Kan brukes på de fleste materialer	Materialsvinn

Tabell 3: Produksjonsteknikker

Ulike materialer krever ulik behandlingsmetode. Det er derfor viktig å anvende metoder som er tilpasset materialet. Både materialvalg og produksjonsmetode vil påvirke utformingen til komponenten. Dette kommer av at ulike produksjonsmetoder krever visse hensyn fra designet. At en komponent oppnår ønsket funksjon er et resultat av samspillet mellom materiale, form og produksjonsmetode. For å oppnå et best mulig resultat er det essensielt å gjøre vurderinger ved alle tre faktorene.

## 2.4 Materialer

Materialvalg er en avgjørende faktor for å oppnå lang levetid, funksjon, godt design og høy pålitelighet. For å oppnå dette er det flere faktorer som avgjør hvilken type materialer som kan benyttes. Disse faktorene kan for eksempel være styrke-, fasthets-egenskapene, vekt, tetthet eller miljøfaktorer. Ved riktig materialvalg forhindres store skader som blant annet

skyldes korrosjon, slitasje og mekaniske påvirkninger. I boken *Materialteknologi del 2 Konstruksjonsmaterialer* [12] beskrives blant annet disse materialene og miljøfaktoren.

En miljøfaktor som påvirker materialet, er korrosjon. Korrosjon er en oppløsning av metalliske materialer. Spontane elektrokjemiske reaksjoner oppstår fordi metallene ønsker å gå tilbake til sin opprinnelige tilstand, slik de finnes i naturen. Felles for alle våte korrosjonsprosesser er at vannet eller væsken kan lede elektrisk strøm, da er væsken en elektrolytt. Det er mulig å beskytte materialet mot korrosjon på flere ulike måter. Det kan for eksempel gjøres ved å ta korrosjonsmessige designvurderinger og benytte seg av motstandsdyktige materialer for miljøet produktet befinner seg i. Korrosjonsmessige designvurderinger går ut på å forhindre at vann kan bli liggende i groper eller på flater. Korrosjon kan også forhindres til en viss grad ved bruk av blant annet legeringer og katodisk beskyttelse.

## Plast

Plast finnes i mange ulike varianter, noen er myke og bøyelige, mens andre er harde og stive. Plast brukes i mange forskjellige former, som blant annet emballasje, teknisk utstyr og byggemateriale. Det syntetiske materialet består av en eller flere polymerer og andre tilsetningsstoffer.

Polylactic acid (PLA) er en polymer, som er polyester uten bruk av petroleum. I en rapport publisert av miljøstiftelsen ZERO [13] skrives det at PLA er en termoplast som lages ved polymerisering av melkesyre. PLA-plasten er lett nedbrytbar og har en stor bestandighet. Det er en billig plasttype, som er en av grunnene til at den blir brukt til blant annet 3D-printing.

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) er en termoplast. I Store norske leksikon [14] blir ABS beskrevet som et lett tilgjengelig materiale med lav vekt. ABS-plast er en type plast som ofte blir brukt der det er behov for å lage lette og stive produkter. Noe som gjør ABS-plasten populær er at den har høy slagfasthet, god kjemisk motstandsdyktighet og adhesjonsegenskapene.

Polytetrafluoreten (PTFE) er av plasttypen fluoretenplast og er kjent under flere navn. Det mest kjente navnet er Teflon. Teflon har mange gode egenskaper som gjør det populært til flere anvendelsesområder. Det er blant annet kjemikaliebestandig, temperaturbestandig (fra -200 til +250 °C), betinget sveisbar, lav friksjon og fremstilles kun ved pressing. Med disse

egenskapene blir teflon ofte brukt i lager, glideflater, pakninger og elektriske komponenter [12].

## Aluminium

Aluminium er et sølvhvitt metall som har lav tetthet og høy styrke. De mest kjente egenskapene til aluminium er at det har stor styrke i forhold til vekten, kan lett formes og bearbeides. En aluminiumlegering er en sammensetning av andre metaller. Grunnen til at det tilsettes andre metaller er med hensikt å oppnå ønskede egenskaper. Legevingene har ofte god korrosjonsbestandighet ovenfor sjøvann.

5083 aluminiumlegering er et eksempel på en legering som ofte blir brukt i offshoreindustrien, på grunn av sin gode korrosjonsbestandighet. Den opprettholder styrken etter sveising, og har en bruddgrense på 317 MPa og flytegrense på 228 MPa [15].

## Rustfritt stål

Rustfritt stål er en jernlegering som oftest er kromlegert eller krom-nikkellegert. Når krominnholdet overstiger 12% dannes et tynt kromoksid sjikt på stålet som passiverer overflaten. Sjiktet beskytter det underliggende stålet mot oksidering og er mekanisk sterk, tett og tungt oppløselig. Konstruksjonsstål er en legering innenfor rustfritt stål. Det er enkelt å bearbeide, lett formbar og sveises lettere enn andre typer rustfritt stål.

Tabell 4 viser materialegenskapene til noen av materialene fra dette kapittelet:

Material	Flyte-grense [MPa]	Brudd-grense [MPa]	E-modul [GPa]	Massetetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	Korrosjons- bestandighet
ABS	-	30	2	1021	God
PTFE	-	-	0,9	2020	God
Aluminium 5083 legering	215	305-385	71	2660	God
Rustfritt stål	172	580	193	8000	Meget god

Tabell 4: Materialdata

Ulike materialer har ulike styrker og svakheter. Ved å utføre styrkebergninger kan det avgjøres om materialet vil tåle påkjenningene det utsettes for.

## 2.5 Beregninger

I dette kapitlet blir det presentert ulike formler som brukes for å utføre beregninger. Disse beregningene tar for seg skruedimensjonering og styrke, elementmetoden og dimensjonering av tannhjul og reim.

### Skrueberegninger

I dette delkapitlet beskrives de ulike formlene som er avgjørende for dimensjonering av skruer og størrelse til en festeskruer. Alle formler er hentet fra *Tekniske tabeller* [16] og *Maskindeler 1* [17].

Når en skrue skal dimensjoneres må det orienteres om hvilke krefter som oppstår og hvor store de er. Kraftene dekomponeres og deretter finnes de ulike kraftretningene. Dette kan gjøres ved å benytte seg av Newtons 1. lov:

**Formel 1:**  $\Sigma \vec{F} = 0$ . Der resultatkraften er lik null når legemet er i ro eller i en bevegelse med en konstant fart.

Når den jevnførende spenningen i en skrue skal beregnes, gjøres det på følgende vis:

**Formel 2:**  $F_{\text{per skrue}} = \frac{F_a}{n_{\text{antall skruer}}}$ . Den aksiale lasten deles på antall skruer for videre å beregne spenningene i kun én skrue.

Ved tiltrekking av mutter oppstår det både strekkspenning og torsjonspenning i skruen. Jevnførende spenning i en flatgjenget skrue er den sammensatte spenningen når skruen utsettes for strekkspenning og torsjonspenning, og ser slik ut:

**Formel 3:**  $\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ .

Ved å beregne normalpenningene brukes:

**Formel 4:**  $\sigma = \frac{F_a}{A_s}$ . Dette gjøres ved å dele aksiallast på et spenningsareal. Spenningsarealet er et teoretisk areal som er litt større enn kjernearealet i bunnen på gjengen.

$A_s = \frac{\pi}{4} (d - 0,9382 \cdot P)^2$ , her er P gjengestigningen og d er nominell diameter til gjengene på bolten. For å videre beregne de jevnførende spenningene blir det tatt hensyn til torsjon i bolten med:

**Formel 5:**  $\tau = \frac{T_t}{W_p}$ . Stor del av tiltrekningskraften blir tatt opp som friksjon mot underlaget og

vil ikke bli overført til skruen.  $W_p = \frac{\pi \cdot (d - 1,2268 \cdot P)^3}{16}$  er den polare motstanden til skruen.

$T_t = F_a \cdot \tan(\varepsilon + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2}$  er moment-friksjon på gjengen i stigningsmotstanden. For å beregne moment-friksjon på gjengen og stigningsmotstanden må friksjonsvinkelen og stigningsvinkelen beregnes.

Settes normalspenningen og torsjonspenningen sammen fås den jevnførende spenningen i skruen. Hvor stor denne spenningen kan tillates å være avhenger av skruekvaliteten.

Skruekvaliteten betegnes med to tall, som skilles med et punktum. Det første tallet, X, angir strekkfastheten som 1/100. Det andre tallet, Y, er 1/10 av forholdet mellom minste flytegrense og minste strekkfasthet, i prosent.

**Formel 6:**  $\sigma_f = X \cdot Y \cdot 10 = N/mm^2$  Resultatet av dette kan settes lik tillatt spenning for å gjøre en forenkling av dimensjoneringen.

## Elementmetoden

Boken *Engineering Analysis with SolidWorks Simulations* [18] tar for seg simulering ved bruk av CAD-programmet SolidWorks (SW), og beskriver hva elementmetoden er. Finite Element Analysis (FEA) er simulering ved bruk av en numerisk matematisk teknikk som blir referert til som Finite Element Method (FEM). Noen modeller krever forbehandling og justeringer for å kunne analyseres. Når dette er gjort kan utregningene basert på input løses, og til slutt tolkes resultatene.

FEA tillater analysering av enkelte isolerte deler av en modell. Dette betyr at kritiske komponenter kan evalueres enkeltvis og utsettes for ulike belastninger for å teste eksempelvis styrke. Måten dette gjøres på er ved at spennings- og forskyvnings-fordelinger av konstruksjonene uttrykkes som et sett med differensiallikninger. Ofte må konstruktøren anvende tilnærmede verdier og løsninger, slik at programmet kan løse likningene. For å gjøre en FEA simulering må det lages et elementnett, også kalt mesh.

### Elementnett

Et elementnett består av flere elementer og knutepunkter. Det utføres kalkulasjoner for hvert element og knutepunkt, som sammenlagt danner resultatet. Det brukes ulike elementtyper

avhengig av modellen som skal simuleres. For to-dimensjonale modeller er elementnettet bygd opp av trekkanter og firkanter. For tre-dimensjonale modeller er elementnettet bygd opp av tetraeder, pentaeder og heksaeder. Tettheten til elementnettet kan justeres basert på hvor kompleks simulering det er behov for. Finere elementnett gir mer nøyaktig resultat, men simuleringen tar noe lengre tid enn for grovere elementnett. Fordelen med å benytte seg av FEA i produktutvikling er muligheten til å teste designet i tidlig fase, uten å måtte lage en fysisk prototype. For å få frem svakheter på en simulering kan man bruke en funksjon kalt ISO Clipping. Iso Clipping viser overflater med en spesifisert verdi av det plottede resultatet og kan lage opptil seks flater samtidig. Singulariteter er et punkt hvor tettheten er uendelig stor. Dette kan påvirke simuleringen med skarpe kanter og fint elementnett.

### Von Mises

Von Mises er en spenningsverdi som kan beregnes ved å kombinere belastninger som påvirker en konstruksjon fra ulike retninger med et angitt materiale. Likningen tar hensyn til alle strekk -og trykkspenninger, skjærspenninger og vridninger i x, y og z-retning. Materialet begynner å svikte når von Mises-spenningen er lik eller høyere enn flytegrensen,  $\sigma_f$  til materialet.

Irgens skriver i boken *Fasthetslære* [19] at kriteriet for flyt er

$$\sigma_{von\ Mises} = \sigma_f$$

Hvor

$$\sigma_{von\ Mises} = \sqrt{0,5 \cdot (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2} + \sqrt{3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

### Tannhjul og Reim

For å overføre rotasjon mellom to akslinger med forholdsvis liten avstand mellom seg, brukes tannhjul. To eller flere tannhjul i inngrep kalles et gir eller en veksel. Tannhjulene som går i inngrep, vil ha et felles tangeringspunkt. Dette tangeringspunktet består av en tannbredde pluss tilhørende tannhull, og kalles delingen. Antall tenner og diameter på tannhjulene kan være ulike, så lenge delingen, P er like stor hos begge. KUluk størrelse på tannhjulene benyttes

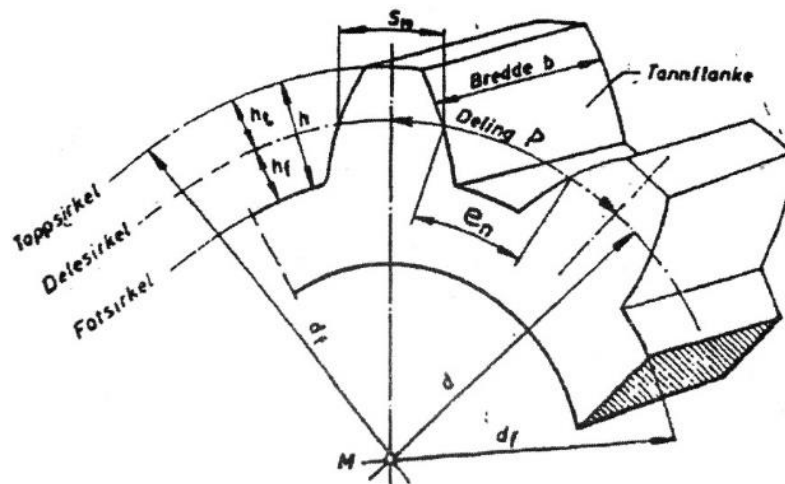


når man eksempelvis ønsker ulik hastighet på de to akslingene. Denne dimensjoneringen avhenger av to faktorer: oversetning- og utvekslingsforholdet. Figur 7 illustrer blant annet P og delesirkel. Formel 7 og formel 8 er hentet fra *Maskindeler 1* [17], mens formel 9 er hentet fra nettsiden *elctromotiveforces* [20].

Måter å definere oversetning på er ved bruk av **Formel 7**:  $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$ .

$n$	Omdreiningstall [rpm]	$z$	Tanntall
$\omega$	Vinkelhastighet [ $s^{-1}$ ]	1	Indeks for inngående eller drivende hjul
$d$	Delsirkeldiameter [mm]	2	Indeks for utgående eller drevne hjul

Tabell 5: Symbolforklaring

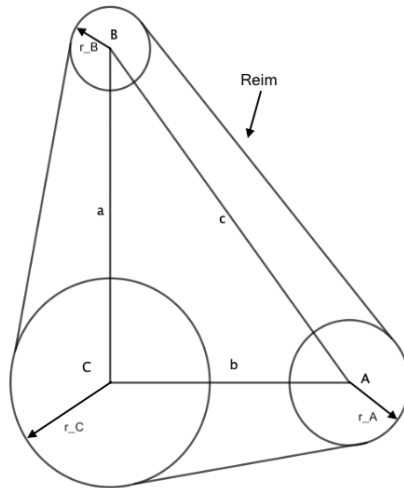


Figur 7: Tannhjul fra *Maskindeler 1*

Den viktigste størrelsen på tannhjul er modulen  $m$ , **Formel 8**:  $m = P/\pi$ . For å finne tannhullets deling kan man benytte omkretsen av tannhullet målt langs delsirkelen,

$$O = \pi \cdot d = z \cdot P \Rightarrow d = \frac{P}{\pi} \cdot z = m \cdot z. P \text{ er illustrert i figur 7.}$$

Når det er stor avstand mellom akslingene, brukes reimtransmisjon. Reimtransmisjon er ofte et billigere alternativ enn tannhjulveksel. Årsaken til dette er at tannhjul krever mer nøyaktige beregninger og montering, enn reimtransmisjon. Reimdrift bygges opp av standard komponenter. Reima kan være kile-, tann- eller flatreim. Av disse tre er tannreim mest brukt. [17]. Figur 8 illustrer en tannhjul- og reimforbindelse, med tre tannhjul. I figuren er  $a$ ,  $b$  og  $c$  senteravstand og radiusen til tannhjulene er  $A$ ,  $B$  og  $C$ .



Figur 8: Tannhjul og reim

Det finnes ulike måter for å beregne lengden til reim med 3 tannhjul. **Formel 9** gir lengden på indre del av reimen, hvor senteravstand og ytterdiameter til tannhjulene er verdier man setter inn. Denne formelen benytter trigonometri som blant annet cosinussetningen for å finne vinklene mellom tannhjulene.

$$\begin{aligned}
 \text{Formel 9: } L &= \sqrt{a^2 - \frac{(d_2 - d_3)^2}{4}} + \sqrt{b^2 - \frac{(d_3 - d_1)^2}{4}} + \sqrt{c^2 - \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}} \\
 &+ (2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{d_1 - d_2}{2 \cdot c}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{d_1 - d_3}{2 \cdot b}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c}\right)) \cdot \frac{d_1}{2} \\
 &+ (2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{d_2 - d_3}{2 \cdot a}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{d_2 - d_1}{2 \cdot c}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{c^2 + a^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c}\right)) \cdot \frac{d_2}{2} \\
 &+ (2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{d_3 - d_1}{2 \cdot b}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{d_3 - d_2}{2 \cdot a}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right)) \cdot \frac{d_3}{2}
 \end{aligned}$$

For å beregne hastighet på kabelfører benyttes denne formelen:

$$\text{Formel 10: Hastighet [mm/s]} = n_{\text{kabelfører}} \cdot \frac{l_{\text{avstand m/gjenger}}}{k_{\text{antall gjenger}}}$$

Videre i oppgaven vil det bli henvist til teorien beskrevet i dette kapittelet. Det neste kapittelet gjennomgår metodene som ble brukt i konseptutviklingen.

### 3. Metode

Dette kapittelet tar for seg metodene som ble brukt under utviklingen av konsepter.

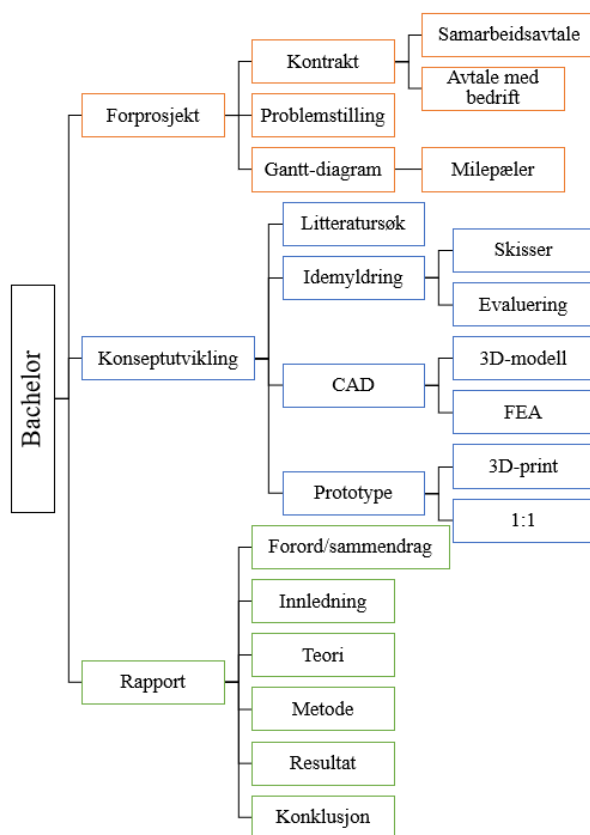
Strukturen for kapittelet følger 6-steps modellen fra Figur 4: 6-steg ved produktutvikling, fra kapittel 2.2 Konseptutvikling. Dette kapittelet vil inneholde relevant informasjon om de ulike prosessene og forklare fremgangsmåten. Steg 5, resultat, og steg 6, forslag til endringer, presenteres i kapittel 5 og kapittel 8.

#### 3.1 Behov

Det første steget var å kartlegge om det var et behov for å gjennomføre produktutviklingen. Dette behovet ble utforsket og presentert av MR, og kan leses i kapittel 1. Den videre prosessen ble å lage et konsept som tilfredsstilte det presenterte behovet.

#### 3.2 Arbeidsstruktur

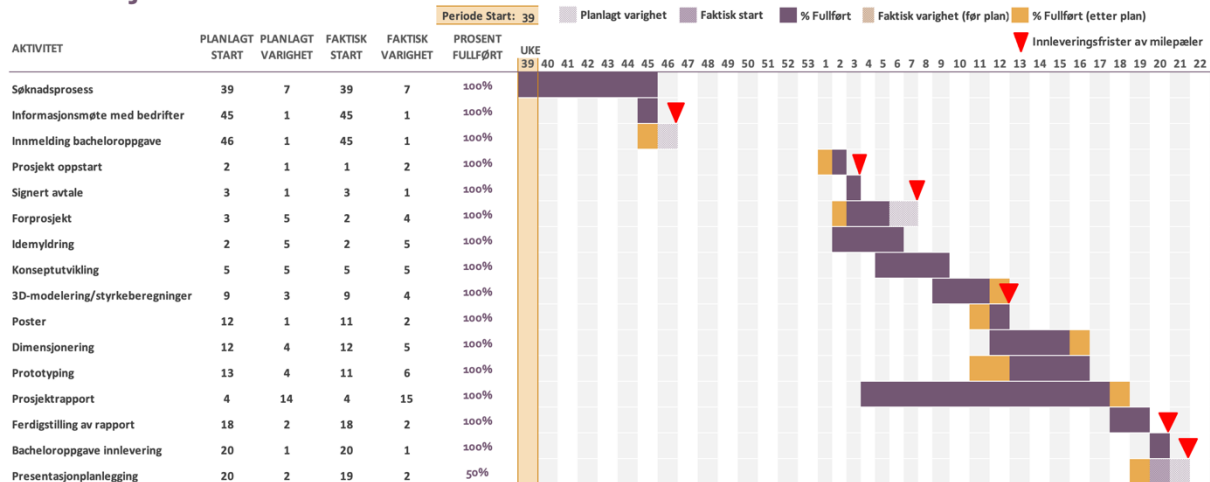
For å bryte bacheloroppgaven ned til flere håndterbare deloppgaver ble det laget en Work Breakdown Structure (WBS), figur 9. Denne ble brukt til å strukturere prosjektet, få bedre oversikt over de ulike elementene og gi klare mål og milepæler for prosjektperioden.



Figur 9: Work Breakdown Structure

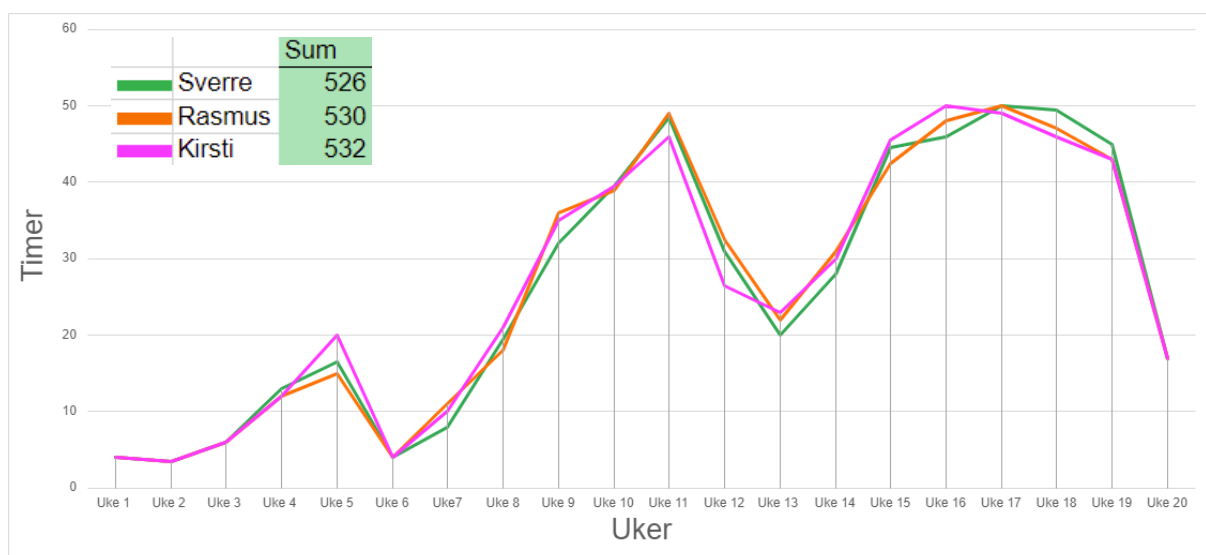
Ved hjelp av et Gantt-diagram, figur 10, ble det laget en tidsplan. I tidsplanen ble det satt frister for ferdigstilling av de ulike stegene som skulle gjennomføres i prosjektperioden. Arbeidstimene for prosjektet ble ført i Excel. Dette ble gjort for å få en oversikt over arbeidsfordelingen og hvordan prosjektgruppen lå an i forhold til tidsplanen.

### Gantt-skjema



Figur 10: Gantt-skjema

Figur 11 illustrerer tidsbruken i de ulike ukene, fordelt på de ulike gruppe-medlemmene. Fra uke 1 til uke 8 hadde prosjektgruppen et parallelt prosjekt gående i et annet emne. Etter dette ble levert økte antall timer per uke. I uke 13 var det påskeferie, og derfor litt færre timer.



Figur 11: Timeliste

## Kommunikasjon

Etter det var satt en plan for hovedaktiviteter og tidsbruk, ble de som skulle involveres kontaktet.

Prosjektgruppen kommuniserte og lagret filer gjennom den digitale plattformen Microsoft Teams. Denne plattformen gjorde det enkelt å avtale møter og dele dokumenter på tvers av brukere. I tillegg ble grupperom på NTNU brukt til fysiske møter og workshops.

Gjennom NTNU fikk prosjektgruppen en intern veileder, Evangelos Tyflopoulos. Han har bidratt til veiledning som angår oppsett av rapporten, modellering og simulering i SW. Kommunikasjon mellom prosjektgruppen og Evangelos foregikk over e-post og digitale møter i Teams. Andre ansatte fra ulike fakultet ved NTNU ble kontaktet ved behov for relevant kunnskap.

MR har stått til disposisjon med fagpersoner, og en av fagpersonene ble veileder for prosjektgruppen. Veilederen, Eirik Hovstein, er COO i MR og har en bakgrunn innen automasjon. Han har vært bindeleddet mellom prosjektgruppen, fagpersoner i MR og eksterne bedrifter. Kommunikasjon mellom prosjektgruppen og MR har gått over e-post og WhatsApp. En WhatsApp-gruppe ble opprettet som en lavterskel kommunikasjonsplattform for spørsmål underveis. Ved flere anledninger inviterte MR prosjektgruppen både til møter og workshops på sine lokaler. Ved disse møtene var fagpersonell til stede for veiledning og til å besvare spørsmål. Totalt ble det gjennomført 8 møter med MR. Referat fra møtene finnes i vedlegg 1.

Via Hovstein, kom prosjektgruppen i kontakt med Blueye Robotics over kommunikasjonsplattformen Slack. Prosjektgruppen fikk et tilbud fra BR om å prøvekjøre deres Blueye Pro. Dette skulle bidra til å gi prosjektgruppen en forståelse av hvordan Blueye Pro oppførte seg i vannet og hvordan den oppfører seg i skvalpesonen.

Både MR og BR delte SW-filer, av henholdsvis Otter og Blueye Pro, som prosjektgruppen benyttet seg av under dimensjonering av konseptet.

### 3.3 Problemdefinering

I samtale med MR ble det kartlagt hvilke krav konseptet måtte oppfylle, og hvilke faktorer som ikke var like viktige i konseptutviklingsfasen. MR sin hovedinteresse for prosjektet var å utforske om et slikt produkt var mulig på deres Otter. Oppgaven er begrenset til å kun se på

sjøsetting og opphenting av undervannsdronen, ikke hva som skjer under drift. De viktigste kravene og prioriteringsgradene vises i tabell 6:

Prioritetsgrad	Spesifikasjon	Beskrivelse
1	<b>Redusere behov for mennesker</b>	Både Otter og Blueye Pro kan driftes av kun en operatør, det er derfor viktig at det mekaniske samspillet ikke krever mange mennesker for å driftes.
2	<b>Funksjonalitet og pålitelighet</b>	LARS skal være trygt og sikkert. Både sjøsetting og opphenting av Blueye Pro skal foregå sømløst og Otter skal være like stabil i vannet som før. Det er også viktig at Blueye Pro og Otter blir beskyttet under prosessen. Det må beskyttes mot støt og slag.
3	<b>Korrosjonsbestandig</b>	Materialene som velges må tåle miljøbelastningene og påvirkningene fra sjøvann.
4	<b>Lav vekt</b>	Konstruksjonen må holdes lett, men det er ingen begrensninger knyttet til maksimal vekt.
5	<b>Service og levetid</b>	Da det kun skal lages en prototype er det ikke like viktig å ta hensyn til eventuell service eller regne på levetiden til LARS.

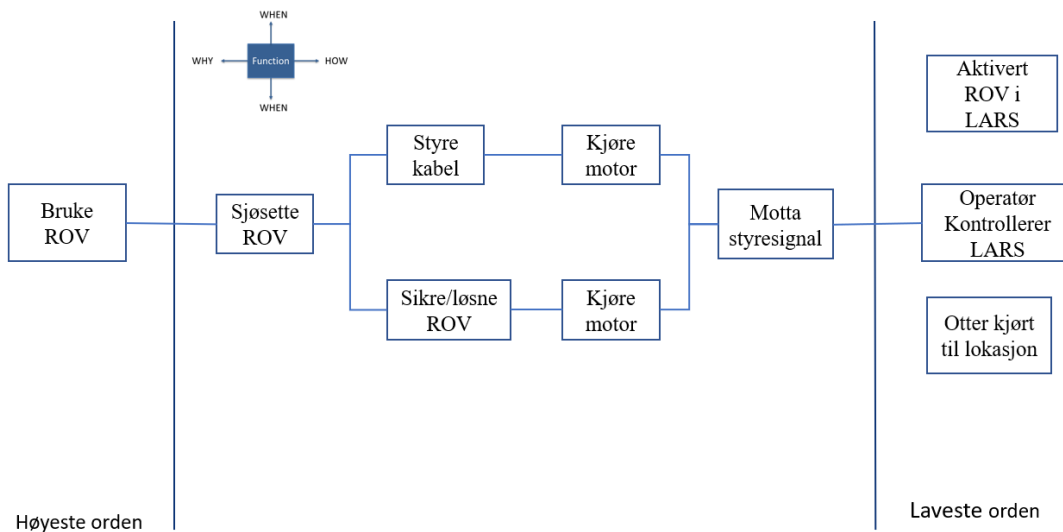
Tabell 6: Kravspesifikasjoner

I tillegg til produkt- og funksjonskrav, ble det satt noen kriterier til designet:

- Må passe rammen til Otter
- Må være plass til Blueye Pro
- Modulbasert
- Avlaste kabel under transport

For å visualisere hva utfordringene som skulle løses var og hvilke forutsetninger de inneholdt, ble det tegnet opp en funksjonsanalyse som vist i figur 12. Funksjonsanalysen tar for seg både sjøsetting og opphenting, da funksjonene reverseres for motsatt funksjon. Denne funksjonsanalysen ble brukt til å kartlegge systemet og isolere hver enkelt funksjon. De tre

boksene helt til høyre er betingelser som må være oppfylt før systemet kan settes i gang, mens boksen til venstre er ønsket aksjon systemet skal oppnå.



Figur 12: Funksjonsanalyse

Funksjonsanalysen ble siden brukt i konseptutviklingen, til litteraturstudium og idemyldring.

### 3.4 Konseptutvikling

Konseptutviklingen er delt inn i flere trinn. Det første som ble gjort var å innhente relevant kunnskap. Denne kunnskapen ble videre brukt til idemyldringer og evalueringer. Idemyldring og evaluering ble gjentatt flere ganger, og bestod av ulike metoder.

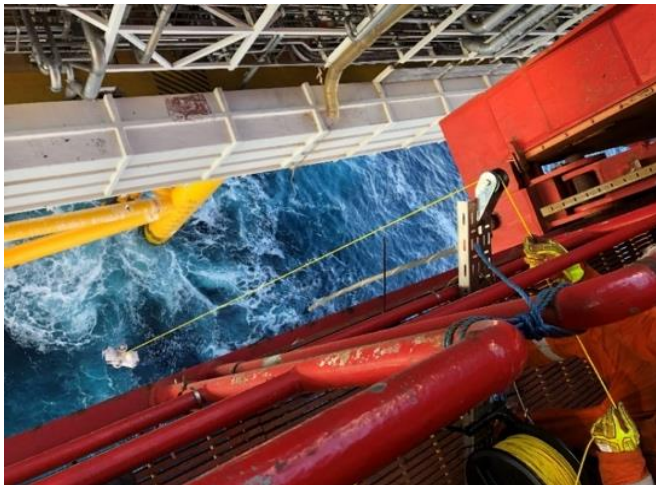
#### Innsikt

For å tilegne seg innsikt og relevant kunnskap ble det utført litteraturstudier. Gjennom emnet TMAS3002 ble det holdt et kurs i litteratursøk. Her ble det gitt en innføring i ulike portaler og søketeknikker for å finne relevante fagartikler. Via NTNU hadde prosjektgruppen tilgang til NTNU Open, fysiske- og digitale bibliotek. NTNU Open publiserer tidligere akademiske rapporter og annen faglitteratur. Disse ble brukt til inspirasjon for oppsett av den akademiske rapporten, samt lære hva som hadde blitt gjort innenfor samme fagfelt. I tillegg ble søkemotorer som Google, Google Scholar og YouTube anvendt.

En annen metode som ble anvendt for å få innsikt var å observere og snakke med fagfolk. Ved besøk hos MR og BR ble Otter og Blueye Pro observert og studert. På denne måten fikk prosjektgruppen sett størrelsesforhold mellom de to komponentene. På besøkene og via

kommunikasjonsplattformer hadde prosjektgruppen tilgang til å stille fagfolk fra bedriftene spørsmål og tilnærme seg kunnskap fra deres tidligere erfaringer.

I det første møte med BR ble det undersøkt hvilke tidligere metoder bedriften hadde brukt for sjøsetting og opphenting av dronen. BR svarte at operatøren vanligvis har mulighet til å slippe dronen ut i vannet, og plukke den opp etter håndtaket når kjøreturen er ferdig. Et oppdrag som kunne være relevant var da Blueye Pro ble sjøsatt fra boreriggen Maersk Integrator i Nordsjøen. Fra deck ned til havoverflaten er det 35 meter ned. Måten de løste sjøsettingen på var ved å lage en enkel konstruksjon bestående av en liten ankerrulle som de monterte på rekkverket. Figur 13 viser sjøsettingen av *Blueye Pro* fra boreriggen. BR hadde ingen erfaring med elektriske kabeltromler, og har kun operert med manuelle kabeltromler hvor de mater kabel selv. Da de skulle heise opp dronen fra havet til boreriggen, dro de den opp med håndkraft over ankerrullen.



Figur 13: *Blueye Pro* sjøsettes fra borerigg.  
Hentet fra [www.blueye.no](http://www.blueye.no) [26]

## Idemyldring og evaluering

For å begynne stimulering av kreativ tenkning ble det utført ulike metoder for å trigge idemyldringen. Den første idemyldringen var ubegrenset og alle ideer ble tegnet og skrevet ned, uten negative eller konstruktive tilbakemeldinger. Resultatet av denne idemyldringen bygget grunnmuren for videre konseptutvikling. I neste runde ble de ulike ideene vurdert, sammenlignet og evaluert. Ved å benytte Design for X ble det utført tre nye idemyldringer, men denne gangen med avgrensninger. De tre avgrensningene var: Design for ulike plasseringer, Design for løftemekanisme og Design for formvariasjoner og produksjon. Forklaringen av de ulike x-faktorene beskrives i tabell 7.



<b>DFX</b>	<b>Forklaring</b>
<b>Design for plassering</b>	MR mente optimal plassering av LARS ville være midtsentrert. Det ble derfor bestemt å se på designmuligheter for andre plasseringspunkter for å være sikker på at midtsentrert var det beste alternativet og ikke låse seg fast til en plassering.
<b>Design for løftemekanisme</b>	I denne idemyldringen var fokuset på ulike måter å løfte ROV ut av vannet. Skulle dronen løftes ut først og så sikres eller sikres først og deretter løftes ut.
<b>Design for formvariasjoner og produksjon</b>	Til slutt ble det valgt ut noen favorittideer og idemyldringen gikk da ut på å variere form og geometri av disse konseptene. Dette ble gjort for å luke ut de ideene som kunne bli vanskelig å produsere og tilpasse design til ønsket produksjonsmetode.

Tabell 7: Design for X

Resultatene i disse rundene ble videre evaluert for å finne de ulike designaspektenes styrker. Målet med denne prosessen var å finne de beste løsningene. Noen av ideene fra idemyldringen vises i vedlegg 2.

Den første evalueringen som ble gjennomført var en grovsortering. Faktorer som produksjon, funksjonalitet og sammenligning var avgjørende for evalueringen. Ideer som krevde omfattende produksjonsmetoder ble valgt vekk, da fokuset var å komme opp med et konsept som kunne produseres raskt som prototype. Ideer med lav funksjonalitet eller usikker pålitelighet ble vraket, og ideer med like funksjoner og geometri ble sammenlignet for å avgjøre hvem av dem som var mest ideell. I vedlegg 2 blir 4 ideer evaluert ved bruk av en evalueringsmatrise.

Produktutvikling er en iterativ prosess. Noe som betyr at idemyldring og evalueringer ble gjentatt flere ganger. Prosjektgruppen presenterte løsninger for MR for å få faglige vurderinger og innspill. På møtene ble det enighet om hva som kunne fungere bra, hva som ikke var mulig og nye løsninger kom til. Det neste steget ble å redusere ideene og fokusere på å utvikle to til fire helhetlige konsepter.

## 4. Konsepter

I dette kapittelet blir det presentert 3 videreutviklede konsepter. Disse ble vurdert opp mot kriteriene fra Tabell 6: Kravspesifikasjoner. Den elektriske kabeltrommelen vil være uavhengig av det valgte konseptet og det vil derfor ikke bli presisert plassering og utforming i konseptpresentasjonen. Underveis ble det gjort flere ulike tester, og til slutt ble konseptene sammenlignet og diskutert for videre utvikling og dimensjonering.

### Elektrisk kabeltrommel

På grunn av de elektriske komponentene i den eksisterende kabeltrommelen til BR, ble det forsøkt å integrere denne i designet. Kabeltrommelen inneholder blant annet en WiFi-ruter som kreves for å drifte Blueye Pro. Ruterer er ratet IP67 [21], noe som betyr at den er delvis vanntett. BR har opplevd noe problem med at dekselet som beskytter ruterer kan falle av, og det ble derfor bestemt at kabeltrommel systemet skulle beskyttes med et heldekkende deksel.

Et annet krav som var satt til systemet var kontroll av kabel. Her ble det sett på to alternative løsninger: kun lage en spalteåpning i dekselet eller ha en kabelfører. En kabelfører er en mekanisme som sørger for at kabelen fordeler seg jevnt på trommelen, men krever en drivkilde. For å minimere sjansen for krøll på kabelen vil det være lurt å trekke dronen tilbake samtidig som kabel kjøres inn. På denne måten holdes både kabel og ROV under kontroll.

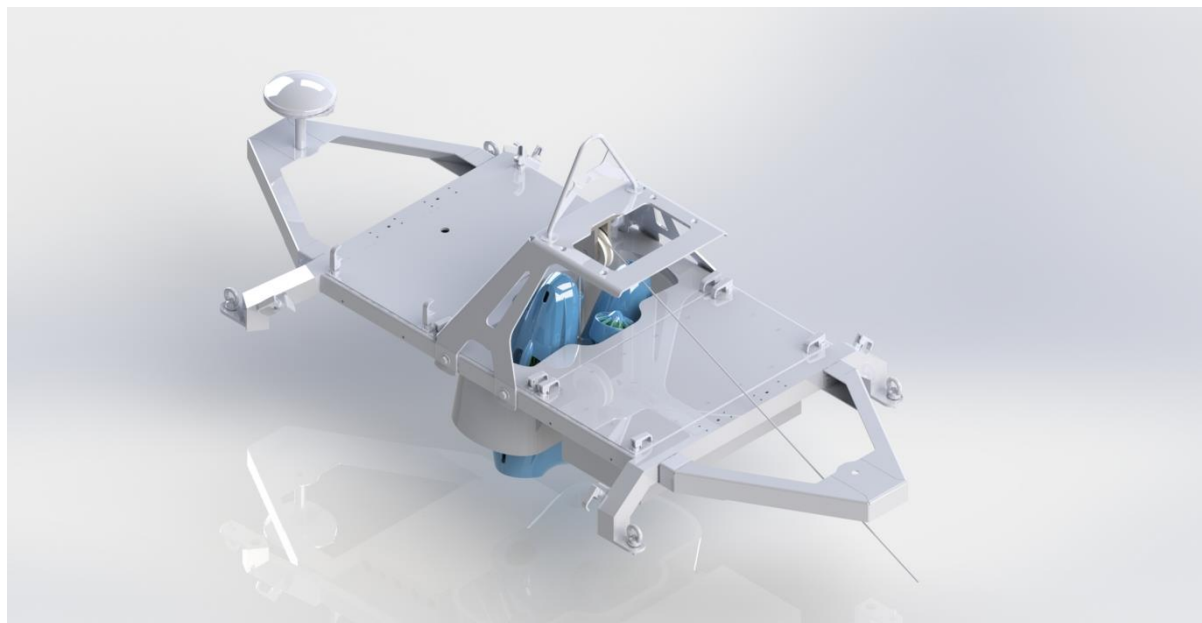
Slik som kabeltrommelen er designet, krever det at operatøren manuelt mater ut kabel samtidig som Blueye Pro driftes. Visjonen bak å integrere den eksisterende kabeltrommelen i LARS var at kunden enkelt kunne bytte mellom å drifte Blueye Pro alene eller i samspill med Otter. Det første steget for å kunne fjernstyre kabeltrommelen er å koble trommelen til en elektrisk motor. Ved valg av motor ble det kartlagt noen krav og beregninger til motoren, tabell 8:

<b>Krav</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>Vanntetthet</b>	Motoren vil være utsatt for maritimt miljø, og må derfor tåle sjøsprøyt.
<b>Strømkilde</b>	Otter har 4 batterier som leverer rundt 30V likestrøm. Motoren kan dermed enten kobles på disse batteriene, men da kan motoren maks krever 12V.
<b>Utforming</b>	Planen er å montere motoren i nærheten av kabeltrommelen, det er derfor viktig at motoren ikke er stor.
<b>Effekt</b>	Ved hjelp av enkle beregninger, inkludert en viss sikkerhetsmargin og noen antakelser, ble det satt krav til at motoren må ha minimum en effekt på 30W (0.030kW). Beregningene vises i vedlegg 3.

Tabell 8: Krav til motor

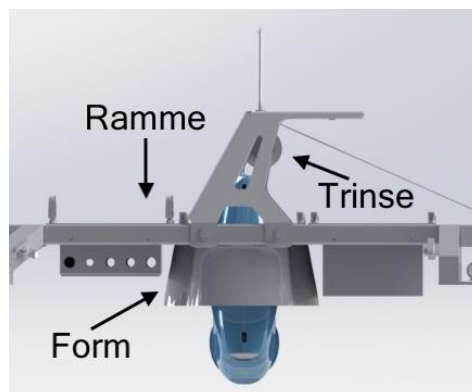
Videre blir de 3 konseptene presentert med funksjoner, fordeler og ulemper.

## 4.1 Konsept 1



Figur 14: Konsept 1

Konsept 1, figur 14, er bygd opp av en ramme og en trinse. Etersom Blueye Pro veier litt under 10kg, er det tenkt at den elektriske kabeltrommelen skal trekke den opp av vannet. I rammen til Otter er det festet en form, som dronen skal treffe. Utformingen til formen er inspirert av en trakt og blir smalere jo lengre opp dronen trekkes. Formen er tilpasset kurvene til Blueye Pro. Dette er gjort for å minimere bevegelsesradiusen til dronen når den er trukket opp og for å minimere slag. I targabøylen til Otter er det festet en trinse som kabelen til dronen går i, inspirert av opphenting ved boreriggen. Trinsen er midtsentrert over formen. Når dronen skal slippes ut, er det bare å mate ut kabel.



Figur 16: Konsept 1, komponenter



Stor sjans for at ROV treffer åpningen  
Enkel prosess



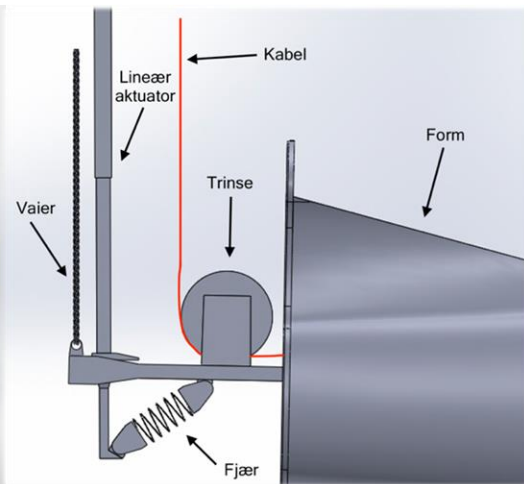
ROV ikke festet  
ROV utsatt for slag og støt  
Kabelen tar all vekten  
Krever sterk motor

Figur 15: Konsept 1, fordeler og ulemper

## 4.2 Konsept 2



Figur 17: Konsept 2



Figur 18: Konsept 2, detaljer

Konsept 2, som er illustrert på figur 17, består av en form som senkes ned i vannet og vippes ned  $20^\circ$ . Denne vippebevegelsen skal gjøre det enklere for dronen å kjøre ut. Formen vippes først i det den er heist helt ned i vannet. Måten formen går fra  $0^\circ$  til  $20^\circ$  gjøres av en vaier som er festet mellom otter og form, som vist på figur 18. Når lineær aktuatoren går ned, vil vaieren strammes opp. Når lineær aktuatoren går ytterligere ned vil det oppstå ett moment som skaper en rotasjonsbevegelse slik at formen vipper  $20^\circ$ . Fjæra vil fungere som et motvirkende element. Når formen skal trekkes opp igjen vil fjæra dytte formen opp til opprinnelig tilstand. Ved opphenting kan Blueye Pro, enten ved hjelp av kabelen eller ved å kjøre selv, plasseres på formen og heises opp. Undersiden av Otter-rammen er polstret for å skåne Blueye Pro. Selve formen er inspirert av et øsekar, men tilpasset formene til Blueye Pro. Den bakre veggen skal ha et hull kabelen kan trekkes gjennom og videre rundt i en trinse. I tillegg er åpningen av formen inspirert av en trakt og blir smalere innover. Denne funksjonen gir en større åpning å treffe, samtidig som den smalere inn for å beskytte mer mot støt under transport.



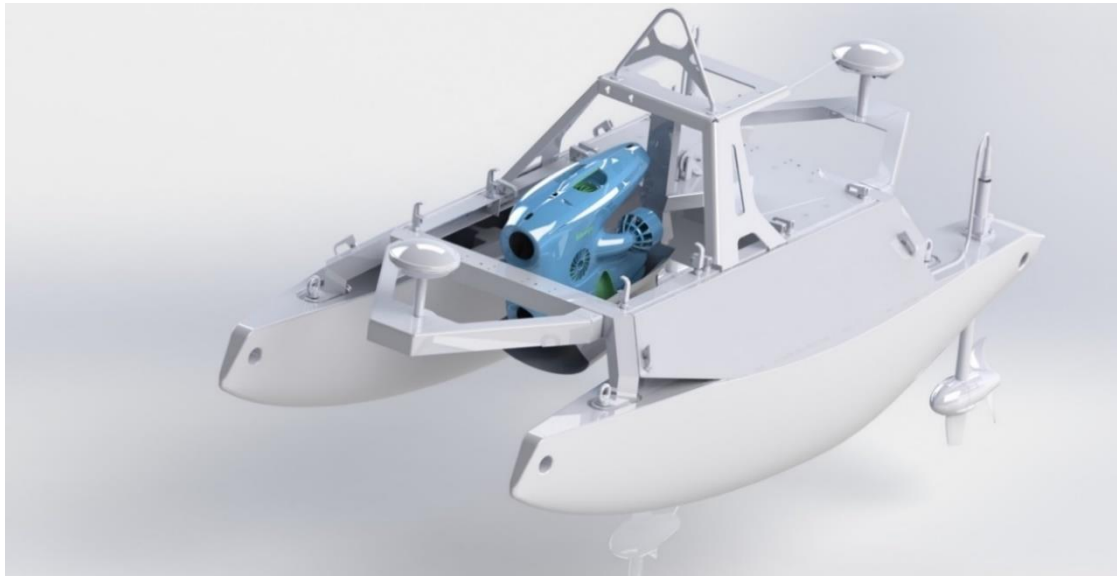
Formen holder vekten  
Krever ikke så sterk motor  
Enkel sjøsetting



Utfordrende å treffe formen  
ROV utsatt for slag under transport  
Vanskelig å produsere form

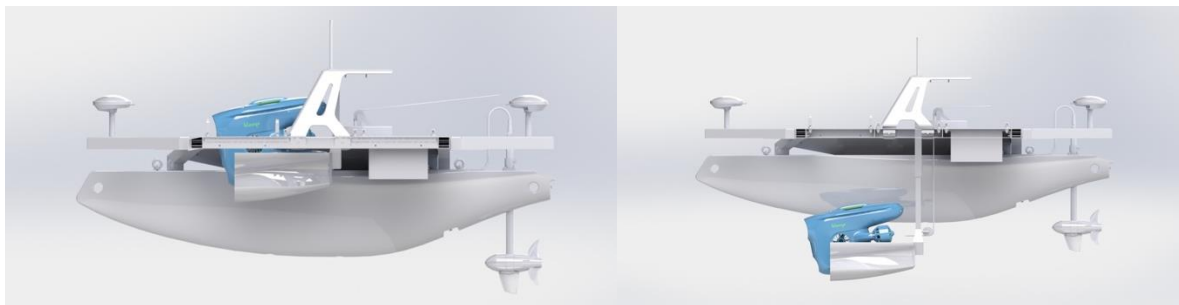
Figur 19: Konsept 2, fordeler og ulemper

### 4.3 Konsept 3





Figur 20: Konsept 3

Det siste konseptet er illustrert på figur 20, og bygger videre på noen av egenskapene til konsept 1 og konsept 2. Fra det første konseptet er funksjonen ved å heise dronen ut av vannet hentet, mens formen er lik den i konsept 2. Tanken er å få dronen helt opp og ut av vannoverflaten i en form. For at dette skal være mulig blir de to fremste rommene i Otter-rammen slått sammen til ett for å få plass til Blueeye Pro. Dronen kan enten kjøre og/eller trekkes inn i formen etter kabelen. Her vil dronen videre bli heist opp av en lineær aktuator som er festet som illustrert på figur 21.



Figur 21: Konsept 3, detaljer

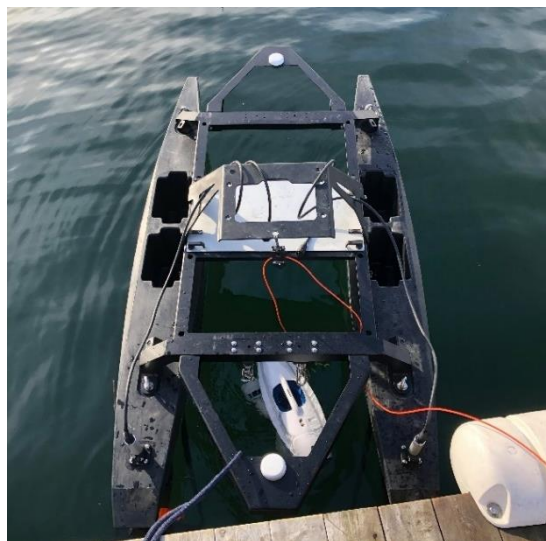
 Heiser dronen ut av vannet  
Sikrer dronen

 Avansert system  
Utfordrende å treffe formen  
Krever endring av Otter-rammen

Figur 22: Konsept 3, fordeler og ulemper

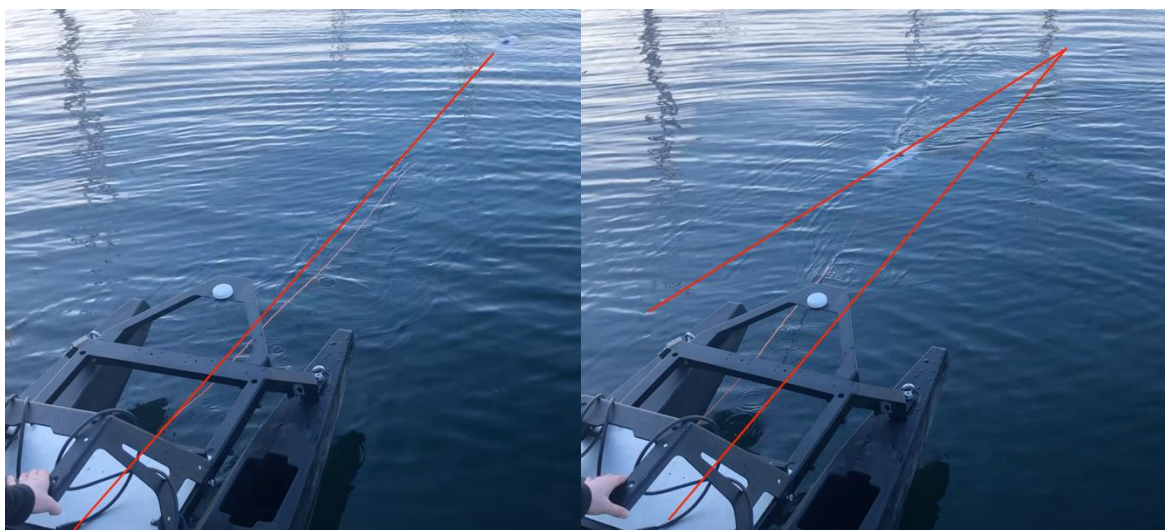
## 4.4 Testing

For å evaluere de tre konseptene ble det bestemt å utføre noen tester. Til de forenklete testene ble det brukt en Otter, en trinse, en Blueye Pro og en standard kabeltrommel, som vist i Figur 23. Trinsen ble festet i targabøylen på Otter og kabelen ble tredd gjennom. For å enklere komme til under testingen, ble de fremre og bakre rektangulære åpningene i Otter-rammen benyttet. Siden dette var forenklete tester ble kabelen trukket manuelt, og ikke elektrisk. Det ble utført tre ulike tester. Den første testen tok for seg retningsstabiliteten til Blueye Pro i vannet. Denne testen var relevant for konsept 2 og 3. Den andre testen gikk ut på å se hvordan Blueye Pro beveget seg under opphenting. Dette var viktig for å evaluere om konsept 1 kunne gjennomføres. Den siste testen tok for seg oppkveiling av kabel på trommelen.



Figur 23: Oppsett til testing

Den første testen ble utført ved å kaste Blueye Pro ut i vannet fremfor Otter. Deretter ble dronen dratt inn etter kabelen mot Otter. Dette ble gjentatt flere ganger, hvor hastigheten på trekkingen varierte for å se hvilken påvirkning hastigheten hadde på Blueye Pro.



Figur 24: Resultat av test 1

Resultatet av denne testen var at Blueye Pro viste seg å være mer ustabil i bevegelsene når den ble trukket baklengs enn antatt, som vist i figur 24. Det ble observert at dronen dro seg ut mot siden, og derfor bommet på rommet mellom de to skrogene til Otter noen ganger. Dette gjør det vanskelig å treffe formen som er tiltenkt i konsept 2 og 3. Selv om dronen dro seg ut til siden klarte den likevel å komme seg under skroget til Otter slik at den endte opp mellom de to skrogene til slutt. Det ble ikke mulig å teste hvilken påvirkning bølgene og strømmingene ville ha på dronen. Dersom Blueye Pro skulle kjørt inn i en form selv vil det være utfordrende når det er bølger. Når det er bølger, vil ikke Otter ligge stille i overflaten. Opphenting vil da bli utfordrende for operatøren, og muligens ta lengre tid. Det er også en fordel at systemet fungerer uavhengig av Blueye Pro, dersom den skulle gå tom for batteri.

Den andre testen som ble gjennomført var hvordan Blueye Pro oppførte seg da den ble løftet ut av vannet. Den ble løftet ut av vannet og opp gjennom den fremste åpningen i rammen til Otter. Ved denne testen ble plasseringen av trinsen flyttet, for å undersøke om plasseringen hadde noe innvirkning.



Figur 25: Resultat av test 2

Resultatet av denne testen ble at Blueye Pro roterer i det den løftes ut av vannet og at plassering av trinse er avgjørende. Da trinsen var plassert midtsentrert over åpningen på Otter, viste det seg at Blueye Pro uavhengig av rotasjon traff åpningen, som vist i figur 25. Derimot da trinsen ble plassert mer mot kanten av åpningen ble det vanskeligere å få dronen til å treffe åpningen. Ved denne situasjonen endte det noen ganger med at dronen klarte å treffe, og noen ganger heftet thrusterne seg fast på utsiden av åpningen.

Dersom det velges å gå videre med konsept 1 er det viktig å sørge for at trinsen monteres midt over åpningen og at dronen kan treffe uavhengig av rotasjon. Det vil også være en fordel å finne en løsning for å feste dronen på en eller annen måte eller avlaste kabelen ved hjelp av en annen mekanisme.

Den siste testen var oppkveiling av kabel. Dette ble gjort ved å trekke ut flere meter med kabel og deretter sveive det inn. Hensikten med dette var å teste ut om kablet klarte å fordele seg jevnt selv eller om det var behov for en kabelfører.

Ved å kun kveile inn kablet manuelt, uten å styre retningen, dannet det seg en opphopning ved senter av trommelen. Dette kan være en liten detalj som fører til at hele systemet kollapser. Resultatet ble at det var behov for en kabelfører.

Resultatene av disse testene ble tatt i betraktning under sammenligning av konseptene.

#### 4.5 Sammenligning av konseptene

For å sammenligne konseptene ble det laget en sammenligningsmatrise, tabell 9. De ulike kravene ble hentet fra kapittel 3.3 Problemdefinering. Konseptene får en farge ut fra en gradering, hvor rød er uakseptabel, gul er akseptabel og grønn er utmerket.

	Produksjon	Pålitelighet	Sikring/ Skånsom	Avlaste kabel	Vekt
Konsept 1	Grønn	Gul	Gul	Rød	Grønn
Konsept 2	Rød	Rød	Gul	Grønn	Rød
Konsept 3	Rød	Rød	Grønn	Grønn	Gul

Tabell 9: Sammenligningsmatrise

Ut ifra sammenligningsmatrisen kunne prosjektgruppen vurdere hvilket av konseptene som var ansett som bedre. Konsept 1 var det konseptet som kom best ut og som hadde størst potensiale. Det ble sett på de røde og gule graderingene for å se om det var mulig å videreutvikle konseptet slik at også disse ble utmerket.

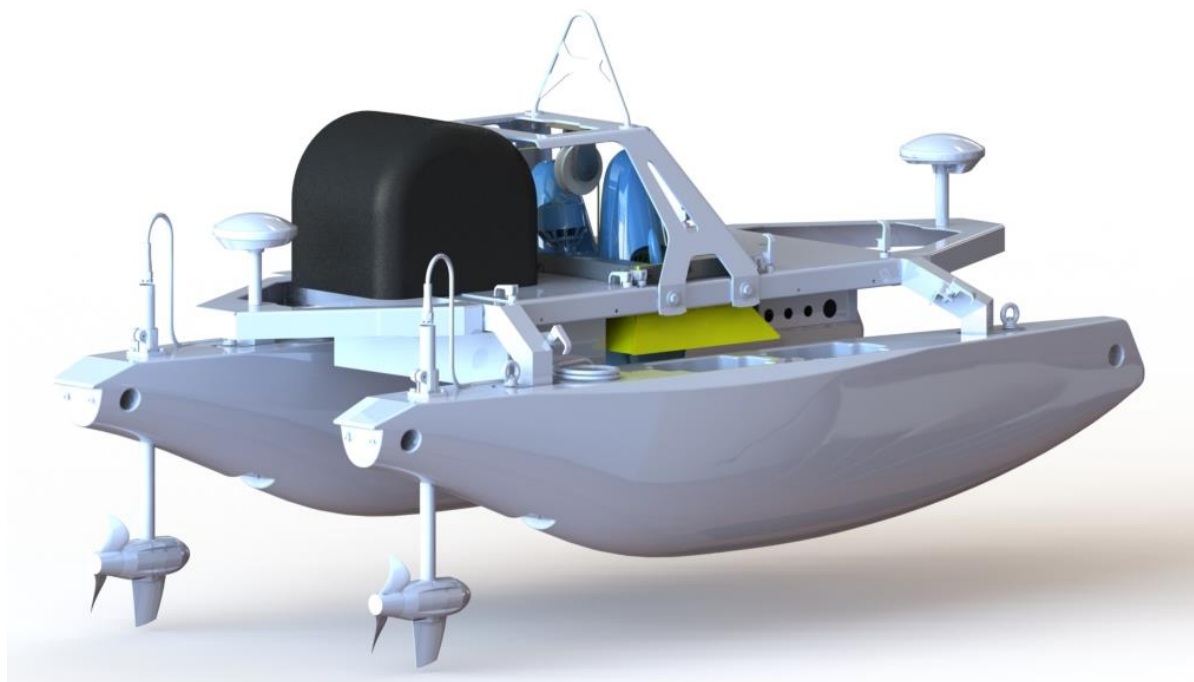


## 5. Resultat

Dette kapitlet presenterer det valgte konseptet og begrunnelser for de valgene som har blitt tatt.

### 5.1 Det valgte konseptet

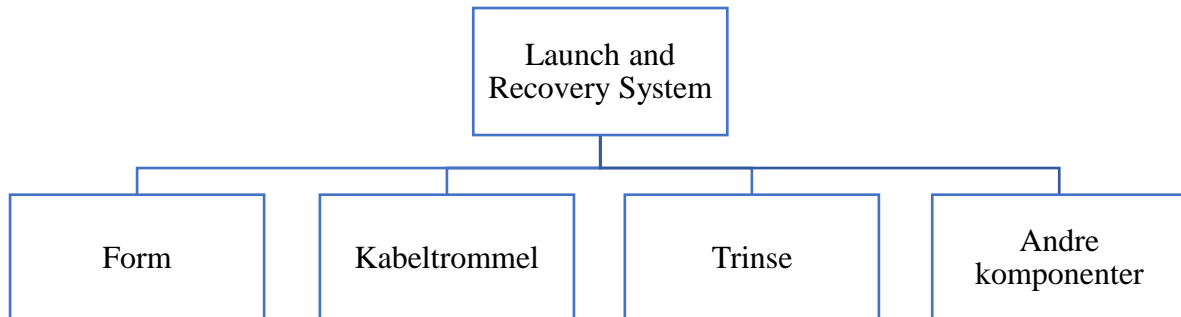
Det er valgt å gå videre med konsept 1. Dette valget ble tatt på grunnlag av testene og evalueringsmatrisen fra tabell 9. For å gjøre konseptet mer pålitelig og produksjonsvennlig har det blitt gjort formvariasjoner på formen. Den største utfordringen var at kabelen tok all vekten. Dette kunne resultere til strekk i kabelen, og ville over tid ført til slitasje. Det ble derfor lagt til komponenter slik at dronen sikres og kabelen avlastes under transport. Sammenstilling av det valgte konseptet vises på figur 26.



*Figur 26: Det valgte konseptet*

LARS består av en form som Blueye Pro løftes opp i ved hjelp av en trinse som er montert i targabøylen på Otter USV. Trinsen blir montert midtsentrert over formen for å minske muligheten for at dronen fester seg i kanten på formen. Kabelen går videre fra trinsen til en elektrisk kabeltrommel som er montert bak på Otter. Når dronen er fraktet opp fra vannet, vil en festestang presse dronen inntil en fenderlist. Disse er montert på formen for å sikre Blueye Pro og avlaste kabelen under transport.

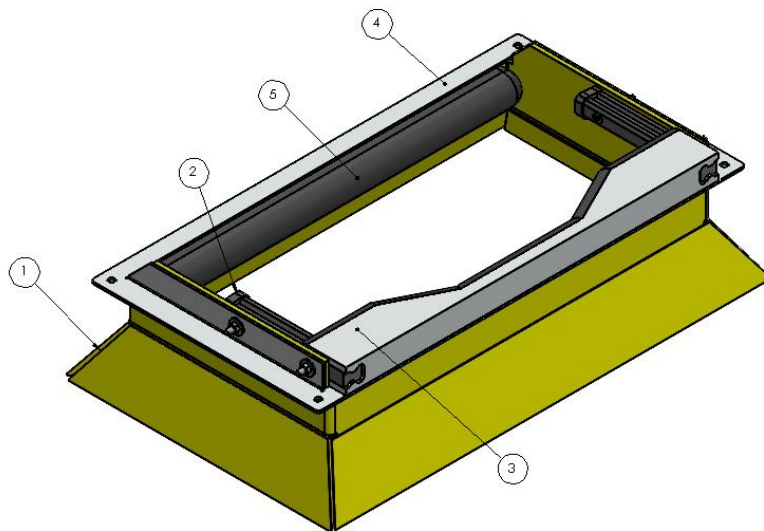
Figur 27 viser en nedbrytning av systemet. Videre vil funksjonene til de ulike komponentene bli beskrevet, og valg av materialer og produksjonsmetode bli begrunnet. I vedlegg 4 blir komponentene og de ulike valgene mer detaljert beskrevet.



Figur 27: Dekomponering av LARS

## 5.2 Form

Problemet knyttet til sikring av drone og avlastning av kabel ble løst ved å endre den tilpassede formen fra konsept 1. Den tilpassede formen ble erstattet med en åpen og rektangulær form. Designet på formen er laget basert på de satte designkriteriene fra 3.3 Problemdefinering, og er delt opp i flere komponenter for å gjøre delen modulbasert.



Figur 28: Form

Nr.	Komponent
1	Indre ramme
2	Skinne
3	Festestang
4	Festeramme
5	Fenderlist

Tabell 10: Form, komponenter

Formen er en sammenstilling som består av indre ramme (1), skinner (2), festestang (3), festeramme (4) og en fenderlist (5), som vist på figur 28. Festestangen forflytter seg langs skinnene, der en lineær aktuator er drivkraften bak bevegelsen. Funksjonen til festestangen er å forsikre at dronen blir sikret mellom festestangen og fenderlisten. Dette gjøres for å unngå slagskader under transport og for å avlaste kabelen. For å feste sammenstillingen til Otter har det blitt designet en festeramme. Den er designet til å være lik de originale topplatene til Otter og gjør det dermed mulig å benytte seg av «lift and turn handle», som er festemekanismene til topplatene på Otter. Konseptdesignet inneholder en lineær aktuator, og det ble derfor kartlagt noen krav til komponenten for valg av den, tabell 11:

<b>Krav</b>	<b>Begrunnelse</b>
<b>Strømkilde</b>	Otter har 4 batterier som leverer 30V likestrøm og bedriften har satt som krav at lineær aktuatoren kan maks kreve 12 V eller kobles på eget batteri.
<b>Størrelse</b>	For å få best mulig plass på Otter er det en fordel om lineær aktuatoren ikke er over 200mm.
<b>Slaglengde</b>	For at festestangen skal klare å feste Blueye Pro kreves en slaglengde på minimum 120mm.
<b>Vanntetthet</b>	Lineær aktuatoren må tåle en god del sjøsprøyt og derfor er det svært viktig at den er vanntett.

Tabell 11: Krav lineær aktuator

Ved valg av lineær aktuator ble disse kravene lagt frem til Eirik Hovstein i MR. Valget endte på modell: PA-06-6-22 fra Progressive Automations [22]. Denne lineær aktuatoren oppfylte kravene til slaglengde, vanntoleranse, strømkilde og størrelse. Den har slaglengde 152mm og IP67M.

Valg av material og produksjonsteknikk (prodtek), med tilhørende begrunnelse blir beskrevet i henholdsvis tabell 12 og tabell 13:

<b>Nr.</b>	<b>Valgt material</b>	<b>Alternativt material</b>	<b>Begrunnelse</b>
<b>1</b>	ABS-plast	Aluminium	ABS-plast er lett og korrosjonsbestandig. Det vil være mer skånsomt mot Blueye Pro enn ett metallisk materiale, for å hindre skader på drone-skallet.
<b>2</b>	Teflon	Rustfritt stål	Teflon egner seg godt fordi det har lavt friksjonstall. Ved å smøre skinnene med marinfett øker vannresistansen og beskytter mot rust. Teflon velges fremfor rustfritt stål fordi massetettheten til teflon er lavere.
<b>3</b>	Aluminium	Rustfritt stål	Aluminium velges fremfor rustfritt stål fordi det har lavere massetetthet. I tillegg er aluminium et slitesterkt materiale som passer godt til funksjonen til festestangen.
<b>4</b>	Aluminium	Rustfritt stål	De originale topplatene til Otter er av Aluminium, og det blir derfor valgt det samme på festerammen.

Tabell 12: Form, materialvalg

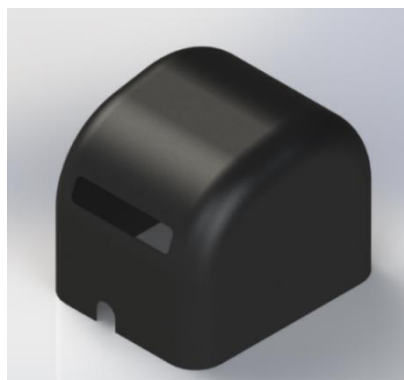
Nr.	Valgt prodtek	Alternativt prodtek	Begrunnelse
1	Vannskjæring Bøying Sveising	Plaststøping	Både vannskjæring og plaststøping setter krav til design. For produksjon av prototype vil det være mer lønnsomt å benytte seg av vannskjæring, bøying og sveising, fordi det kun skal produseres en.
2 og 3	CNC-fresing	Manuell maskinering	CNC-fresing er valgt som produksjonsteknikk fordi det gir glatte overflater og er nøyaktig. Nøyaktighet er veldig viktig for at skinnene og festestangen skal kunne gå i spor. CNC-fresing er mer nøyaktig enn manuell maskinering, og krever færre prosesser.
4	Vannskjæring	Laserskjæring	Vannskjæring er valgt som produksjonsmetode fordi MR har denne maskinen tilgjengelig på sitt verksted. Delen kunne eventuelt blitt laserskjært. Fordelen med vannskjæring er at det gir rene kutt, krever lite til ingen etterarbeid og er miljøvennlig.

Tabell 13: Form, valg av produksjonsteknikk

### 5.3 Elektrisk kabeltrommel

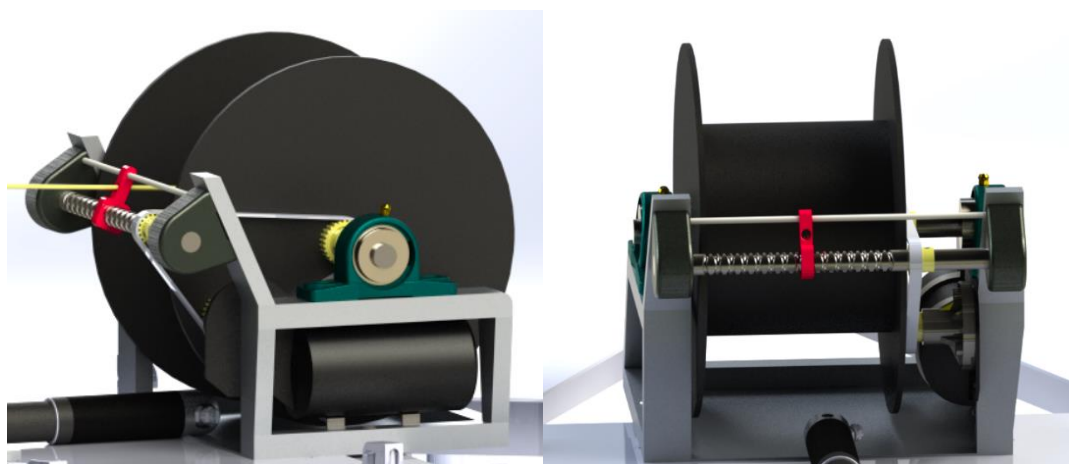
Den elektriske kabeltrommelen blir brukt som drivverk for å sjøsette og hente opp Blueye Pro. I utgangspunktet var planen å benytte seg av kabeltrommelen til BR. Dette viste seg å bli utfordrende fordi stativet trommelen var festet i var ustabil. Det var også vanskelig å finne en måte å koble motoren til trommelen på. I den ene enden av trommelen var det tilhørende stativet festet, og i den andre enden var WiFi-ruteren festet sentrert på lokket til trommelen. Det ble derfor vanskelig å komme opp med et design som kunne overføre rotasjon fra motoren til trommelen.

Løsningen ble derfor å designe en egen trommel, figur 30. Da beslutningen om å endre trommeldesignet ble tatt, ble det samtidig undersøkt med BR om det var mulig å flytte WiFi-ruteren. Dette skulle la seg gjøre, og det ble da mulig å konstruere en stang gjennom senter av trommelen. Den elektriske kabeltrommelen er plassert på

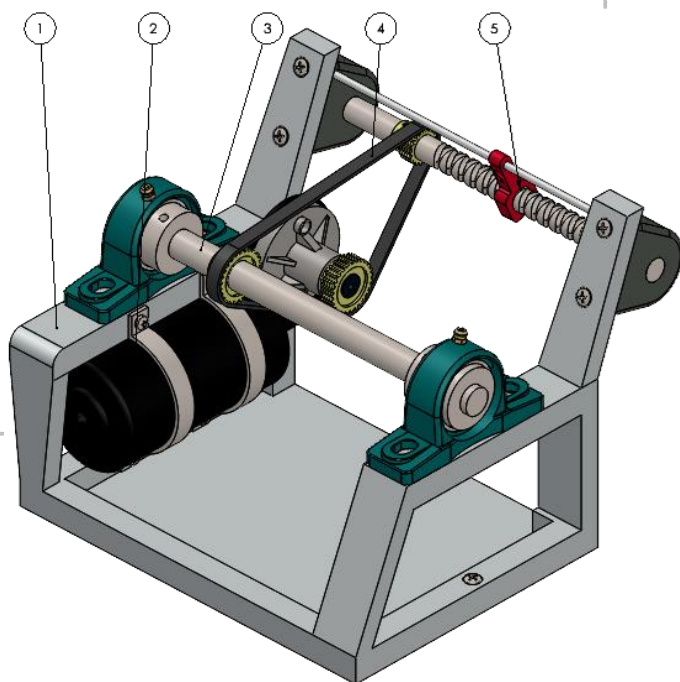


Figur 29: Deksel

enden av Otter. Valget av plassering var begrenset til front eller bakende på Otter. Det ble da vurdert at det var bedre at båten var baktung enn framtung. Siden den elektriske kabeltrommelen er utsatt for sjøsprøyt ble det designet et deksel, som vist på figur 29. Dette ble gjort for å beskytte elektronikken mot sjøsprøyt og få designet til å visuelt passe inn på Otter. Overflaten til dekselet skal pulverlakkere slik at det får samme utseende som Otter.



Figur 30: Trommelsammenstilling



Figur 31: Sammenstilling elektrisk kabeltrommel

Nr	Komponent
1	Stativ
2	Motor
3	Trommelaksling
4	Reimforbindelse
5	Kabelfører

Tabell 14: Komponenter elektrisk kabeltrommel

Kabeltrommelsystemet består av et stativ (1), en elektrisk motor (2), en kabelfører (5), en reimforbindelse (4) og en trommel (3, kun akslingen). Figur 31 viser disse komponentene hvor selve trommelen er fjernet for at de andre komponentene skal vises bedre. Basert på resultatet fra testingen i kapittel 4 kom det frem at det var behov for en kabelfører.

Kabelføreren sikrer at kableen fordeler seg jevnt på trommelen. Mellom kabeltrommel og kabelfører er det en reimforbindelse, bestående av reim og tannhjul, som driver systemet. Rotasjonen skapes av en elektrisk motor. Reimsystemet blir beskrevet mer og dimensjonert i kapittel 6.3.

Motoren som driver systemet, er en likestrømsmotor med snikkegir. Modellen heter DOGA Brushed Geared Motor, og leveres av RS Components [23]. Denne motoren ble valgt, i samråd med Eirik Hovstein, fordi den oppfyller kravene til styrke, pris, vekt og størrelse satt i kapittel 4. Motoren er 12V, 40W og leverer en hastighet på 25rpm. Snikkegiret har motorbrems, som er en fordel under transport av dronen. Motorbremsen holder systemet i låst stilling, slik at kableen ikke gir etter mens dronen er oppe. Motoren er festet til stativet med to sadler. Kraften overføres fra motoren til kabeltrommel og kabelfører, ved hjelp av tannhjul og reim. I og med at Otter leverer likestrøm fra sin batteripakke, ble det kun

sett på likestrømsmotorer og ikke vekselstrømsmotorer. Ved å bruke en vekselstrømsmotor må det monteres en strømomformer, noe som er plass- og vektbevarende på Otter.

Valg av material og produksjonsteknikk, med tilhørende begrunnelse blir beskrevet i henholdsvis tabell 15 og tabell 16:

<b>Komponent</b>	<b>Valgt material</b>	<b>Alternativt material</b>	<b>Begrunnelse</b>
Trommelstativ	Aluminium	Rustfritt stål	Aluminium blir benyttet i stedet for rustfritt stål da det har lavere massetetthet
Deksel	Aluminium	ABS	Siden Otter-rammen er i Aluminium, ble også dette valgt for deksel. Dette ble gjort for å integrere dekselet i Otter designet.

Tabell 15: Elektrisk kabeltrommel, materialvalg

<b>Komponent</b>	<b>Valgt prodtek</b>	<b>Alternativt prodtek</b>	<b>Begrunnelse</b>
Trommelstativ	Vannskjæring Sveising	Fresing	Det blir brukt vannskjæring for deretter å sveise delene sammen. Disse prodtek blir benyttet i stedet for fresing for å spare mengden material som blir brukt i prosessen.
Deksel	Vannskjæring Valsing Sveising	Støping	Vannskjæring blir brukt for å lage tre profiler. Deretter vales de til ønsket form før de sveises sammen. Disse prodtek blir benyttet i stedet for støping da det kun skal produseres en.

Tabell 16: Elektrisk kabeltrommel, valg av produksjonsteknikk



## 5.4 Trinse

Trinsen er montert i targabøylen til Otter, og er midtsentrert over rommet dronen skal heves opp i, som vist i figur 32. Denne plasseringen er valgt på bakgrunn av testene utført i kapittel 4, og gjør at dronen har like stor avstand til formen på begge sider. Trinsen er en sammenstilling av flere deler. Diameteren på trinsehjulet er 100 mm fordi bøyeradiusen til kabelen er 50mm. Mellom trinsehjulet og akslingen er det et sylindrisk rullelager. Dette bidrar til å minske friksjon i rotasjonsbevegelsen.

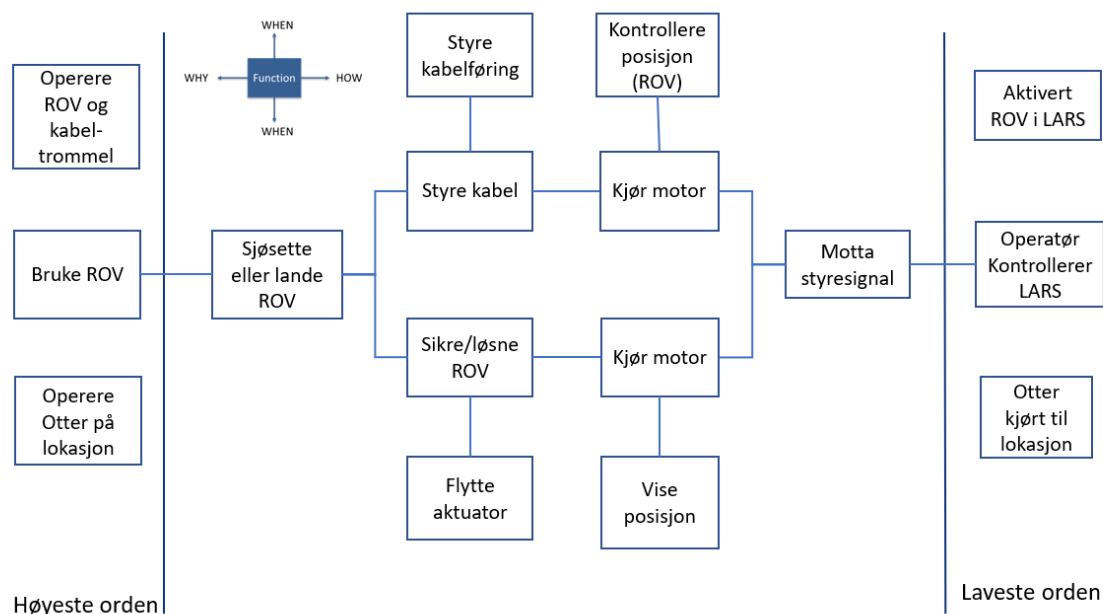
Trinsehjulet kan skaffes som en standard komponent fordi den vil være dyr å produsere enkeltvis, men det ble tegnet i SolidWorks for å gjøre simuleringer. Det ble også gjort for å se på nødvendig dimensjonering av trinsen. Simuleringen av denne komponenten ble gjort da trinsen ble vurdert til å være den mest kritiske komponenten i systemet.



*Figur 32: Trinse*

## 5.5 Andre komponenter

For det valgte konseptet ble funksjonsanalysen fra figur 11 hentet frem igjen. Dette ble gjort for å sikre at konseptet oppfylte de satte funksjonskravene og visualisere hendelsesforløpet. De tre boksene helt til høyre er betingelser som må være oppfylt før systemet kan settes i gang. De tre boksene helt til venstre er aksjoner som man ønsker at systemet skal oppnå.



Figur 33: Funksjonsanalyse av det valgte konseptet

Ved å lage denne funksjonsanalysen, figur 33, ble det avdekket noen funksjoner som enda ikke var bestemt.

- Skal lineær aktuator og kabel kjøres samtidig ut ved sjøsetting, eller skal lineær aktuator åpnes først?
- Hvordan skal operatøren vite hvilken posisjon lineær aktuatoren er i?
- Hvordan skal operatøren vite hvor mye kabel som er dratt opp?

Ved sjøsetting av dronen bør først lineær aktuatoren kjøres inn, før det mates ut kabel.

Årsaken til dette er at kabelen bør holdes stram for å unngå at den hekter seg fast i noe eller utsettes for strekkspenninger når lineær aktuatoren kjøres inn.

For at operatøren skal vite hvilken posisjon festestangen er i og hvor mye kabel som er dratt opp, kan det inkluderes sensorer i systemet. Festestangen kan både ha en posisjonssensor og en sensor som sier noe om hvor hardt den klemmer mot dronen. Posisjonssensoren gir

operatøren signal om lineær aktuatoren er ute eller inne. Det kan også være en bevegelsessensor i targabøylen som gir signal når dronen er trukket høyt nok opp. Dette vil sikre at dronen ikke trekkes for høyt eller at lineær aktuatoren kjøres ut før dronen er oppe. Enda en mulighet er å montere et kamera i toppen av targabøylen som peker ned mot åpningen. Dette vil gi operatøren ett øye til LARS. Da vil det være mulig å se om festestangen er ute eller inne og om dronen treffer åpningen.

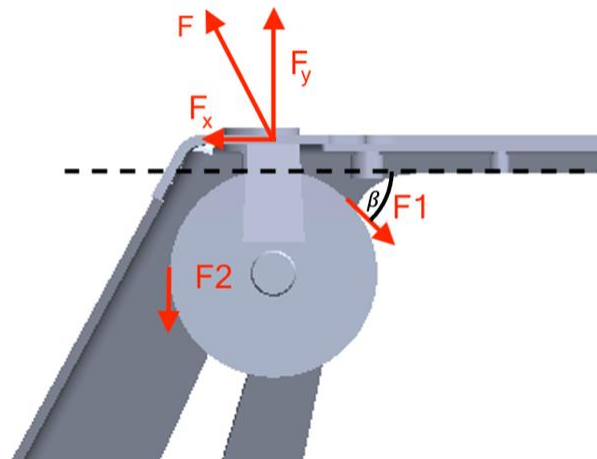
Disse løsningene ble diskutert med MR for å få en teknisk vurdering på om dette ville være nødvendig. Da kommunikasjon mellom Blueye Pro og Otter løses av MR, ble det også bestemt at de kunne se på valg av sensorer. Dette valget ble tatt da denne oppgaven skal ta for seg de mekaniske delene av LARS. I neste kapittel presenteres resultatene fra beregninger og simuleringer som ble gjort for komponenter i systemet.

## 6. Resultat av beregning og simulering av trinse og drivverk

I dette kapittelet presenteres resultat av beregninger og simuleringer. Først er det gjort beregninger og simuleringer av trinsen. Til slutt blir drivverket dimensjonert.

### 6.1 Skrueberegning

Etter å ha kartlagt alle kreftene i systemet ble **Formel 1**, Newtons 1.lov, benyttet. Resultatet av dette var summen av krefter i y-retning lik 150N. De ulike sikkerhetsfaktorene resulterte i en samlet aksiallast på 250N. Det ble kun tatt hensyn til kreftene i y-retning fordi det var retningen med størst belastning. Kraftpåkjenningen påført trinsen er illustrert på figur 34.



Figur 34: Fordeling av krefter

Trinsen festes i targabøylen på Otter med to festeskruer med dimensjon M6. Det ble beregnet strekkspenning per bolt ved hjelp av **Formel 2**, noe som ga en aksiallast på 125N/skrue.

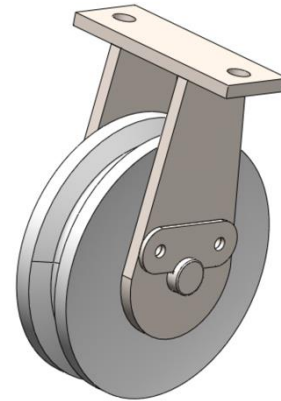
Videre ble det beregnet med aksiallasten for å finne strekkspenningen i skruen. Dette ble gjort med bruk av **Formel 4**. Skruestørrelse M6 ble valgt fordi det brukes flere steder i konstruksjonen og var en passende størrelse for festeplaten til trinsen. Spenningsarealet til skruen ble brukt til å finne normalspenningen i skruen. Resultatet av normalspenningen i skruen var ca.  $6\text{N/mm}^2$ . Ved bruk av **Formel 5** ble det funnet en torsjonsspennning lik ca.  $5\text{N/mm}^2$ . Den jevnførendespenningen ble dermed ca.  $10\text{N/mm}^2$ , og ble funnet ved å benytte **Formel 3**.

Ved å sette  $\sigma_{\text{till}} = \sigma_j = \text{Formel 3}$  var det mulig å konkludere med at skruer kvalitet 8.8 ville holde. **Formel 6** ble brukt til å finne flytegrensen til skruen, og er  $640\text{N/mm}^2$ . Det resulterte i at  $\sigma_{f,8.8 \text{ skrue}} > \sigma_j \Rightarrow$  skruen holder.

Disse beregningene bekrefter at en 8.8 M6 festeskruer ikke vil være et svakhetspunkt i systemet. Det velges å ikke dimensjonere festeskruene ned i størrelse, men det kunne blitt gjort uten å nå flytegrensen til skruen. De detaljerte beregningene finnes i Vedlegg 3: Beregninger.

## 6.2 Simuleringsstudiet

I dette prosjektet ble det valgt å kun gjøre simuleringer på trinsen. Dette ble gjort da dette var den mest kritiske delen som ble utsatt for størst spenninger. Trinsen simuleres for å se om de ulike delene i sammenstillingen vil tåle spenningene som oppstår under opphenting av Blueye Pro.

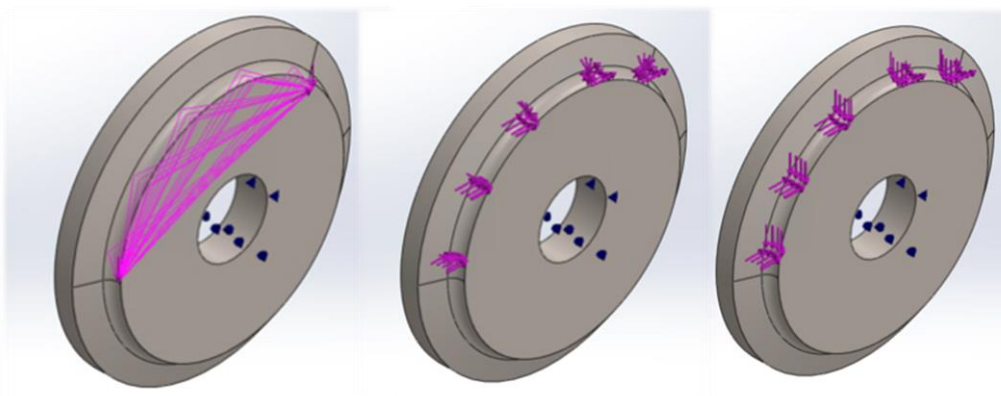


Figur 35: Trinsesammenstilling

Det ble gjennomført en lineær statisk analyse av trinsesammenstillingen, figur 35. Sammenstillingen utsettes for skjær- og strekkspenninger, i henholdsvis x- og y-retning fra figur 34. Materialet til delene i sammenstillingen er satt til AISI 316 stainless steel sheet, mens trinseshjulet er laget av ABS-plast. Påkjenningene trinseshjulet utsettes for ble funnet under beregningene av trinsa og befinner seg i kontaktflaten mellom trinseshjul og kabel:  $F_{2y} = 100\text{N}$ ,  $F_{1x} = 90\text{N}$  og  $F_{1y} = 50\text{N}$ . Det ble først utført en studie av hele sammenstillingen, før det kritiske området ble isolert og studert alene. Detaljert simulering ligger i vedlegg 3.

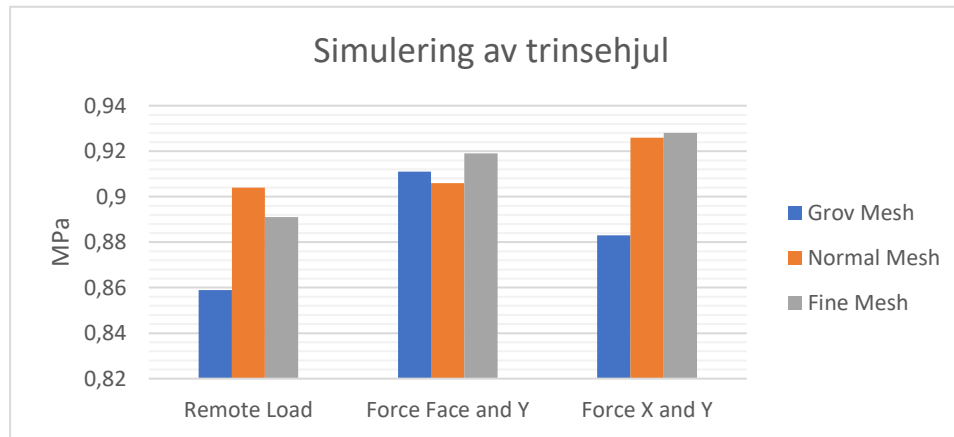
Det ble oppdaget et singularitetspunkt som kunne blitt redusert eller fjernet ved å endre geometrien på modellen. Siden fokuset var å simulere trinsen ble trinseshjulet isolert fra sammenstillingen, og simulert alene.

Det ble gjennomført tre studier med ulike kraftpåkjenninger for å sikre best mulig resultat. Til venstre i figur 36 er det påført Remote load, i midten virker kreftene på planet og i y-retning, mens til høyre virker kreftene i x- og y-retning.



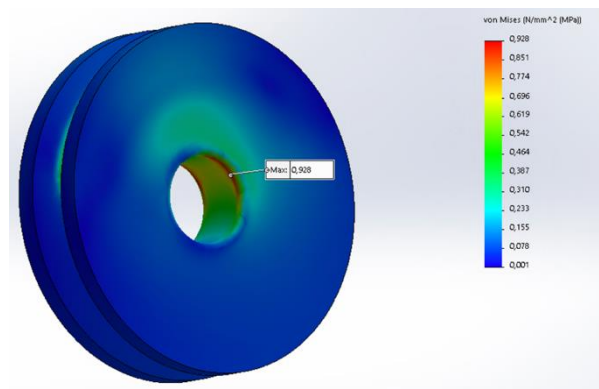
Figur 36: Ulike kraftpåkjenninger

Videre ble kvaliteten på elementnettet, mesh, justert fra grov til fint. Dette ble gjort for å se om resultatet ville konvergere og spenningstoppene flate ut. Det ble valgt å simulere videre med kraftpåkjenningene i x- og y-retning, fordi det var her den høyeste spenningen oppsto. Sammenligningen av de tre påkjenningene med tre ulike elementnett kvaliteter vises i figur 37.



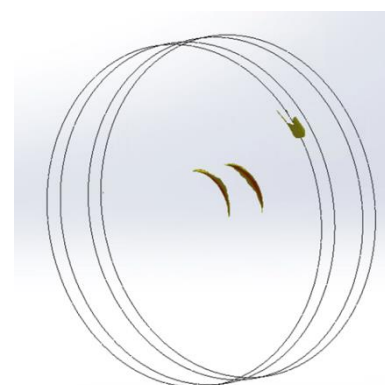
Figur 37: Sammenligning av ulike kraftpåkjenninger med ulik mesh

Figur 38 viser resultatet fra simuleringen av trinsehjulet, påført spenninger i x- og y-retning. Plotet avbilder Max von Mises spenninger og deres plasseringer. Punktet med størst spenninger ligger inne i hullåpningen på trinsehjulet, og er på 0.928 MPa. I figur 39 vises spenningene over 0.7 MPa og hvor de befinner seg. Disse områdene vil være de mest belastede på trinsehjulet, men spenningene som oppstår er ikke store nok til å kategoriseres som kritiske og trinsehjulet vil tåle påkjenningene.



Figur 38: Max von Mises

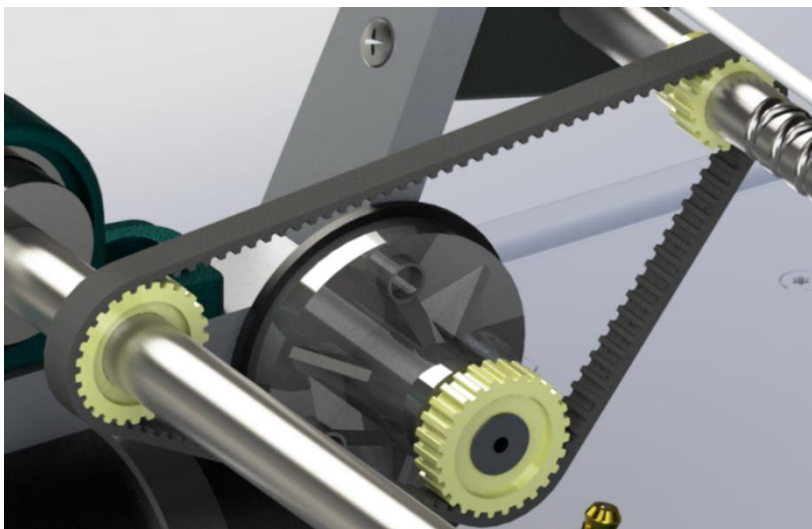
Verdiene var så langt under flyt- og bruddgrensetilstand at det velges å beholde ABS-plast på trinsehjulet for å spare vekt. Strekkfastheten til ABS-plast er 30 MPa, noe resultatet av simuleringen var godt under. Konkluderer derfor med at sammensettingen tåler belastningene og at ytterligere dimensjonering ikke er nødvendig.



Figur 39: Spenninger over 0,7MPa

### 6.3 Reimtransmisjon og tannhjul

I dette underkapittelet vil resultatet av dimensjoneringen av reimtransmisjonen og tannhjul bli presentert. Figur 40 illustrerer reimtransmisjonen, som går mellom motor, kabeltrommel og kabelfører.



Figur 40: Reimforbindelse

Det ble tatt utgangspunkt i tannhjulet som er festet på kabelføreren, tannhjul 3. **Formel 7** ble benyttet til å finne resten av verdiene til tannhjulene, tannhjul 1 og 2 har de samme dimensjonene. Først ble delingen funnet, deretter ble modulen til tannhjulene beregnet med **Formel 8**. Konklusjonen ble at modulen er i henhold til kravene om lik deling. Tabell 17 viser resultatet av dimensjoneringen.

	Tannhjul 1	Tannhjul 2	Tannhjul 3
<b>Antall tenner</b>	27	27	18
<b>Diameter</b>	37,5mm	37,5mm	25mm
<b>Omdreiningstall</b>	34,5rpm	34,5rpm	23rpm

Tabell 17: Resultat tannhjul

Lengden til tannreima ble utregnet ved bruk av **Formel 9**. Den indre omkretsen til tannreima er 497mm, tykkelsen 3mm og består av 114 tenner.

Hastigheten til kabelføreren er ca. 5mm/s med 15 gjenger, noe som ble beregnet med **Formel 10**. Hastigheten virker å være passende ved at kabelføreren vil bevege seg litt over kabelens tykkelse i mm, per sekund.

## 7. Prototyping

Etter at ett konsept ble valgt, ble det bestemt å produsere en prototype. Dette ble gjort for å videreutvikle, kartlegge mangler og forbedringspotensialer med konseptet. Det ble brukt en 3D-printer for å lage en hurtig prototype, der formen og Blueye Pro ble nedskalert til 27 prosent av opprinnelig størrelse. Dette ble gjort for å få plass til Blueye Pro på arbeidsområdet til printerens. Det ble brukt en Prusa i3 MK3 med et arbeidsområde på 250x200x305 mm. Selv om modellen ble skalert ned var den fortsatt detaljert nok til at det var mulig å oppdage feil og mangler.

Delene som ble 3D-printet var Blueye Pro, indre ramme, skinnene, festerammen og ett snitt av Otter-rammen. Disse

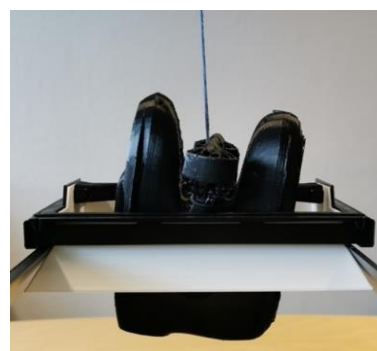


Figur 41: 3D-printet deler

delene utenom Blueye Pro, vises

i figur 41. Sammenstillingen med Blueye Pro vises i figur 42.

Delene til prototypen ble satt sammen for å undersøke om de passet godt sammen og for å se om konseptet kunne være modulbasert på den måten som var tenkt. Det ble konkludert at selve komponentene passet fint, og at det var enkelt å sette delene sammen. Det ble deretter gjennomført tester med prototypen for å se om dronen ville treffe åpningen til rammen ved opphenting. Resultatet av testene var at dronen klarte å treffe formen, uavhengig av rotasjon og retning.



Figur 42: Sammenstilling 3D-print

Etter opphenting ble festestangen dyttet inntil for å se om den passet og hvor den klemte mest mot dronen som vist på figur 43. Det ble her kartlagt noen forbedringspotensial på skinnene og festestangen. Skinnene ble endret til å stikke litt utenfor formen slik at festestangen kunne trekkes ut fra åpning på formen. Dette vil bidra til å gjøre åpningen enda større. En annen feil som ble avdekket var at festestangen burde vært bredere på sidene, slik at stangen ligger tettere mot Blueye Pro. I tillegg hadde festestangen skarpe kanter,



Figur 43: Festestang mot drone



noe som ble utbedret med å avrunde kantene. Disse endringene ble gjort i SW før maskintegningene ble sendt til MR for produksjon av fullskala prototype.

I begynnelsen av mars søkte gruppen, i samråd med MR og BR, på et stipend hos Ocean Autonomy Cluster, OAC, på 50 000kr. OAC er en næringsklynge som fremmer innovasjon og samarbeid som bidrar til omstilling til autonome løsninger og bærekraftig verdiskaping. OAC lyste i den sammenheng ut fire stipend på 50 000kr som skulle gå til støtte av prosjektutvikling.

I starten av april ble søknaden innvilget, og prosjektet fikk dermed midler til å begynne planleggingen av en fysisk prototype. Gruppen inviterte MR og BR til en workshop hvor konseptet ble presentert og en plan for prosessen videre ble lagt. Produksjonen av de ulike delene vil foregå på MR sitt verksted i Vanvikan. I det neste kapitlet diskuteres endringer og tilpasninger som kunne blitt gjort.

## 8. Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres forslag til forbedringer og endringer som kunne blitt gjort på konseptet.

En av begrensningene til prosjektet var tidsperioden. Den begrensede tidsperioden gjorde at det måtte bli tatt noen valg for å kunne gå videre i prosessen. Det ble underveis gjort endringer og justeringer, men til slutt kom prosessen til et punkt hvor det ikke var tid til å gjøre flere forbedringer.

Et av målene for prosjektet var å produsere en prototype. Det ble derfor tatt en beslutning på å beholde Otter-rammen slik den var. Grunnen til dette var for å gjøre prototypeprosessen enklere og billigere. Underveis i prosessen har det likevel dukket opp forslag til endringer som kan gjøres på Otter, for å forbedre konseptet. Et av forslagene er å heve targabøylen, noe som gjør det mulig å løfte dronen høyere ut av vannet. Dette vil føre til at festestangen vil sikre dronen under thrusterne i stedet for at den så vidt unngår å treffe de. Siden Otter er modulbasert er det mulig for MR å endre høyden på targabøylen, uten at det påvirker resten av Otteren.

En annen tilpasning som kan gjøres på Otter for å lage ett bedre LARS, er å gjøre den midtre åpningen større slik at det blir større plass til dronen og festetangen. Ved å velge en slik løsning kunne festestangen blitt senket ned i formen slik at den beveger seg parallelt med fenderlisten. Dette ville vært optimalt for å unngå at dronen blir klemt på to ulike høyder. Det ble også sett på om det var mulig å endre plasseringen av fenderlisten for å sikre Blueye Pro under thrusterne. På grunn av plass ble det valgt å beholde fenderlisten på innsiden av den indre rammen.

MR hadde et ønske om at LARS skulle fungere for andre ROV-modeller i tillegg til Blueye Pro. Dette ble ikke testet, men vil være mulig dersom andre droner oppfyller krav til vekt og dimensjoner. Den dimensjonerende faktoren for om systemet vil fungere er om dronen får plass i åpningen til Otter-rammen. Det vil også være mulig å tilpasse utformingen på festestangen, til å passe andre ROV-modeller. Siden tanken var å lage et modulbasert system, er det mulig å bytte ut enkelt komponenter i systemet. Det er ikke sikkert at festestangen vil være et problem, dette er noe som må testes.

Når det kommer til beregninger og simuleringer av det valgte konseptet, kunne det blitt utført flere. Det kunne blitt gjort flere beregninger på skruer og hullkantrykk, men det ble valgt å ikke bruke mer tid på dette da resultatene ikke var kritiske.

Det kunne blitt gjort simuleringer som ikke-lineær og lineær dynamisk. I en ikke-lineær studie kunne resultatene av ulike løsningstrinn blitt funnet. I og med at det ikke oppsto store påkjenninger i trinseshjulet, var det ikke nødvendig å utføre en ikke-lineær studie. Bølgene vil skape frekvens og mekanisk resonans. For dette kunne det blitt utført en lineær dynamisk studie, vibrasjonsanalyse. Alt i alt ble det valgt å ikke gjennomføre flere studier på trinsen siden resultatene fra den statiske analysen ikke var kritiske. Resultatene viser at trinsen er overdimensjonert og designet kan optimaliseres. Materialvalget kunne også vært valgt til et noe lettere material. For eksempel kunne hele trinsen vært i plast. Dette kunne blitt simulert i SW og bekreftet om det ville holdt påkjenningene.

Dimensjoneringen av tannhjul og tannreim kunne blitt gjort enklere ved å benytte standard deler. Siden trommelstativet i utgangspunktet ikke hadde begrensninger på senteravstand mellom tannhjulene, kunne stativet blitt dimensjonert etter disse isteden. Dette ville gjort prototypeprosessen hurtigere og billigere. Det er ikke tatt hensyn til stramming på reim, dette er noe som kan vise seg å være nødvendig.

Et av effektmålene var å gi større bruksområde og flere oppdrag til Otter og Blueye Pro. Dette avhenger ikke bare av at det er mulig å montere et LARS på Otter, men også at samspillet mellom dem fungerer. MR tok selv ansvar for å programmere kommunikasjonen mellom Otter og Blueye Pro. Da dette enda ikke er ferdig programmert, er det ikke mulig å si noe enda om Otter og Blueye Pro vil få større bruksområder. Prosjektet avhenger nå av det videre arbeidet.

## 9. Konklusjon

I dette kapittelet blir det sett tilbake på målene som ble satt i kapittel 1.4, og basert på disse settes en konklusjon av prosjektet. Utover dette kommer det forslag til videre arbeid.

Det første resultatmålet var å utvikle et LARS som tilfredstilte behovet og kravene. Disse ble presentert under problemdefinering og begrensninger. Konseptet har blitt presentert og godkjent av MR, og det kan derfor konkluderes med at dette målet er oppnådd. Kravene har blitt tatt i betraktning under hele prosessen, og det er forsøkt å lage et konsept som er modulbasert og funksjonelt. Systemet er modulbasert, og kan derfor både monteres og demonteres uten store påvirkninger på Otter. Om konseptet fungerer i praksis er enda ikke blitt testet.

Det andre resultatmålet var å utvikle en prototype av konseptet. Det ble 3D-printet en prototype av det valgte konseptet, og det er påbegynt produksjon av en fullskala prototype. Prototypeprosessen er startet av MR, men ble ikke ferdigstilt innen slutføring av rapporten grunnet lang leveringstid på komponenter. Etter det er laget en fullskala prototype vil det være mulig å bekrefte om systemet fungerer i praksis.

Prosjektgruppen har gjennom våren 2021 fått god forståelse i det å jobbe med produktutvikling. Prosjektgruppen har opparbeidet seg ferdigheter og kunnskap innen gruppearbeid, designtenkning, CAD-modellering og akademisk rapportskrivning. På bakgrunn av dette mener prosjektgruppen at det har blitt produsert en akademisk rapport som tar for seg utviklingen av et system for sjøsetting og opphenting av Blueye Pro montert på Otter.

Med utgangspunkt i vårt arbeid kan systemet optimaliseres og videre utvikles. Optimalisering av konseptet krever flere iterasjoner, noe det ikke ble tid til grunnet tidsbegrensningen. Det er mulig å spare inn på blant annet vekt, materialbruk og kostnad flere steder. Videre utvikling kan være å se på om systemet fungerer med andre ROV-modeller. For videre arbeid bør det prioriteres å ferdigstille en prototype som kan bekrefte om konseptet fungerer eller ikke.

Resultatet fra prosjektet har levert et konkret bidrag til utviklingen av en «drone hjelper drone»-løsning, som forhåpentligvis kan bidra til større bruksområder og oppdrag for Otter og Blueye Pro. Om dette effektmålet nås avhenger nå av videre arbeid av MR og BR.

## 10. Referanseliste

- [1] Maritime Robotics, "maritimerobotics.com," UÅ. [Online]. Available: <https://www.maritimerobotics.com/otter>. [Accessed 9 mars 2021].
- [2] Blueye Robotics, "blueye.no," UÅ. [Online]. Available: <https://www.blueye.no/produkter/pro>. [Accessed 9 mars 2021].
- [3] R. D. Christ and R. L. Wernli Sr, The ROV manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles, 2. ed., Waltham: Elsevier Ltd, 2014.
- [4] National Research Council, Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, Washington DC: The national academies press, 2005.
- [5] Maritime Robotics, "Unmanned surface vehicle," UÅ. [Online]. Available: <https://www.maritimerobotics.com/mariner>. [Accessed 1 februar 2021].
- [6] Kongsberg, "Marine Robots," UÅ. [Online]. Available: <https://www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-surface-vehicles/>. [Accessed 13 mars 2021].
- [7] M. Holan, "ndla.no," 16 mai 2018. [Online]. Available: <https://ndla.no/nb/subject:22/topic:1:101556/?filters=urn:filter:5b028a77-1c35-4774-8e10-49e1bac2d6fd>. [Accessed 2 mars 2021].
- [8] D. G. Ullman, The Mechanical Design Process, Fourth Edition, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [9] J. J. Kaufman and R. Woodhead, Stimulating Innovation in Products and Services: With Function Analysis and Mapping, Wiley, 2006.
- [10] T. Helsing, "sixsigmastudyguide.com," 2019. [Online]. Available: <https://sixsigmastudyguide.com/design-for-x-dfx/>. [Accessed 2 mars 2021].
- [11] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, Manufacturing, 7 ed., Singapore: Pearson, 2014.
- [12] H. Falck-Ytter, Materialteknologi Del 2 Konstruksjonsmaterialer, 1st Edition ed., Yrkesoppl ring, 1985.
- [13] O. A. Opdal and M. H. Storm, "Utslippsfri plast," ZERO, Oslo, 2011.
- [14] L. E. Helseth, "Store norske leksikon," 2018. [Online]. Available: <https://snl.no/ABS-plast>. [Accessed 14 april 2021].

- [15] Alumeco Group, "Alumeco Group, aluminiumsdata," U.Å. [Online]. Available: <https://www.alumeco.no/kunnskap-og-teknikk/aluminiumsdata/bruk-av-legering>. [Accessed 20 april 2021].
- [16] J. Johannessen, Tekniske tabeller, Cappelen, 2002.
- [17] A. Dørum, Maskindeler 1, 2018 ed., Trondheim: Akademika, 2001.
- [18] P. M. Kurowski, Engineering Analysis with SolidWorks Simulations, 2017 ed., SDC Publications, 2017.
- [19] F. Irgens, "Dimensjoneringskriterier," in *Fasthetslære*, Tapir akademisk forlag, 2007.
- [20] Electromotiveforces.blogspot.com, "On the Drawing Board adventures in electronic circuit design," 2 april 2012. [Online]. Available: <http://electromotiveforces.blogspot.com/2012/04/equation-for-determining-belt-size-of.html>. [Accessed 12 mai 2021].
- [21] J. Follesø, *CTO Blueye Robotics*, Trondheim: Blueye Robotics, 2021.
- [22] Progressive Automations, "progressiveautomations.com," [Online]. Available: <https://www.progressiveautomations.com/products/waterproof-linear-actuator?variant=18277370953795>. [Accessed 3 mai 2021].
- [23] RS Components, "no.rs-online.com," [Online]. Available: <https://no.rs-online.com/web/p/dc-motors/6685525/>. [Accessed 3 mai 2021].
- [24] DNV GL, "DNV GL Ship Rules Part 3 Ch. 11 Sectipn 2.4 Lifting appliances," 2019. [Online]. Available: <http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2019-07/DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch11.pdf>. [Accessed 15 mars 2021].
- [25] Linak, "linak.no," UÅ. [Online]. Available: <https://www.linak.no/produkter/lineaere-aktuatorer/#/what-are-the-different-types-of-electric-linear-actuators>. [Accessed 15 april 2021].
- [26] A. Viggen, "Blueye.no," 2020. [Online]. Available: <https://www.blueye.no/blog/test-av-blueye-pro-drone-pa-ivar-asen-i-nordsjoen>. [Accessed mars 29 2021].

## 11. Vedleggsliste

Vedlegg 1: Møtereferat	I
Vedlegg 2: Idemyldring	IV
Vedlegg 3: Beregninger	XI
Vedlegg 4: Det valgte konseptet	XXVIII
Vedlegg 5: Materialliste	XL
Vedlegg 6: Maskintegninger	XLI

## Vedlegg 1: Møtereferat

I dette vedlegget gjengis kort møtereferat fra møter mellom gruppen, bedriften og veileder.

### 06.01.21

Til stede: Sverre, Rasmus og Kirsti

Agenda: Forberedelser til oppstartsmøte

### 07.01.21

Til stede: Kirsti, Sverre, Rasmus, Eirik (MR), Runar (MR) og Evangelos (NTNU)

Agenda: Definere problemstilling, sette begrensninger for oppgaven, kommunikasjon og fildeling gjennom prosjektet

Referat: Er det mulig å montere LARS på Otter? Hovedfokus på det mekaniske. Skal få 3D modeller av Otter og Blueye Pro. Kan komme med forslag til designendringer på Otter.

Kommunikasjon på Whats App.

Neste møte i uke 4.

### 28.01.21

Til stede: Rasmus, Sverre, Kirsti, Eirik og Runar

Agenda: Omvisning på MR og workshop

Referat: tilbakemeldinger på ideer, vekten bør være sentrert på Otter, må stabilisere / feste Blueye Pro under transport. MR er åpen for alle forslag og ønsker ikke å begrense gruppen unødvendig. Jobbe videre med å utvikle nye ideer.

### 19.02.21

Til stede: Rasmus, Kirsti, Sverre og Evangelos

Agenda: Veiledning på oppsett og struktur av rapport

### 01.03.21

Til stede: Kirsti, Sverre, Rasmus og Rune (BR)

Agenda: Prøvekjøre Blueye Pro og intervju BR.



03.03.21

Til stede: Kirsti, Sverre, Rasmus, Eirik, Runar og Hugo (MR)

Agenda: Presentere ideer, tilbakemeldinger og evaluering

Referat: Nytt møte onsdag neste uke, komme med forslag på to til fire helhetlige konsepter.

10.03.21

Til stede: Rasmus, Sverre, Kirsti, Hugo, Runar og Eirik

Agenda: presentere nye konsept og evaluering

Referat: Utføre tester for å evaluere ideene

12.03.21

Til stede: Kirsti, Rasmus, Sverre og Eirik

Agenda: Utføre tester med Otter og Blueye Pro

19.03.21

Til stede: Rasmus, Kirsti, Sverre og Evangelos

Agenda: Tilbakemelding på utkast 1 og videre arbeid med struktur

23.03.21

Til stede: Kirsti, Sverre og Kristine Thevik (NTNU)

Agenda: Innspill og tips til beregninger og valg av motor

09.04.21

Til stede: Kirsti, Rasmus og Evangelos

Agenda: struktur på oppgaven og spørsmål om simulering

12.04.21

Til stede: Rasmus, Sverre, Kirsti og Eirik

Agenda: Har fått stipend på 50 000kr fra OAC til bruk på prototype

Referat: forberede til presentasjon av konsept

15.04.21

Til stede: Rasmus, Sverre, Kirsti, Eirik, Rune og Christian (BR)

Agenda: presentasjon av konsept

16.04.21

Til stede: Rasmus, Sverre, Kirsti, Eirik, Rune og Christian

Agenda: diskutere videre prosess for prototype

Referat: gjøre små endringer på SW tegninger, designe lokk og egen kabeltrommel til systemet. Tenk produksjonsmetode i designprosessen.

30.04.21

Til stede: Kirsti, Rasmus og Evangelos

Agenda: Gjennomgang av tilbakemeldinger på struktur

14.05.21

Til stede: Kirsti, Sverre, Rasmus og Evangelos

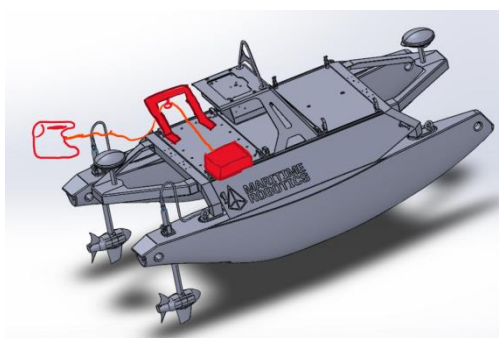
Agenda: siste møte for prosjektperiode

## Vedlegg 2: Idemyldring

Dette vedlegget presenterer noen av ideene som ble skapt under idemyldringen. Noen av ideene tar for seg hele systemet, mens andre kun har fokusert på enkelt komponenter. Hver ide beskrives med en tekst og et bilde, samt en kort begrunnelse til hvorfor ideen ble avskrevet.

### Ide #1

Dette konseptet er inspirert av LARS som ofte sees på større båter. Systemet består av en A-ramme med en talje, figur 44. Inne i boksen ligger den motoriserte kabeltrommelen. Trommelen er plassert på motsatt side av A-rammen for å oppnå balanse mellom de to konstruksjonene, og forhindrer at Otter blir ustabil. Figur 44 illustrerer hvordan systemet ser ut når dronen er i vannet. Ved opphenting av den heises dronen opp etter kabelen, deretter vipper A-rammen innover slik at dronen ligger mellom kabeltrommelen og bena på A-rammen. Ved bena på A-rammen er det montert to lineær aktuatorer som skaper bevegelsen.

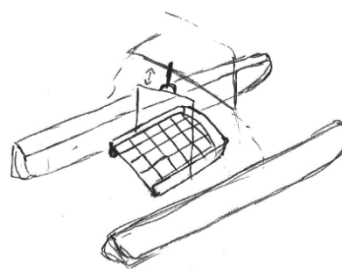


Figur 44: Ide #1

Denne ideen ble ikke tatt videre da konstruksjonen blir veldig stor på en så liten båt.

### Ide #2

Dette konseptet består av en kurv som heves og senkes gjennom midtåpningen på Otter, illustrert i figur 45. Dronen kan da enkelt kjøre av og på kurven ved sjøsetting og opphenting. Kurven vil være laget av plast og ha gitterform. Gitteret vil sørge for å slippe ut alt vannet når den heises opp. Valget av plastmaterialet er for å skåne dronen mot riper og skader metall-materialer oftere kan gi.

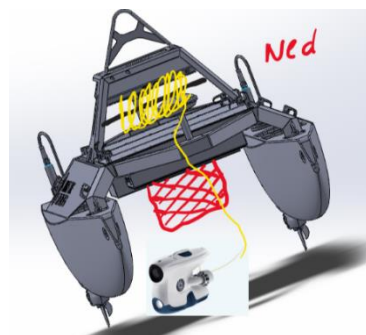


Figur 45: Ide #2

Denne ideen ble evaluert til å være ustabil under transport og kreve stor plass for å kunne heves høyt nok.

### Ide #3

Kabeltrommelen er utformet med en elektrisk motor som er drivkraften for å heise opp dronen etter kabelen. Etter at dronen er heist opp vil et gitter vippes opp som et gulv. Når dronen skal slippes ut er det bare å vippe ned gulvet som vist på figur 46. Gulvplaten vil være laget av et plastmateriale for å være lett på Otter og skånsomt mot dronen.

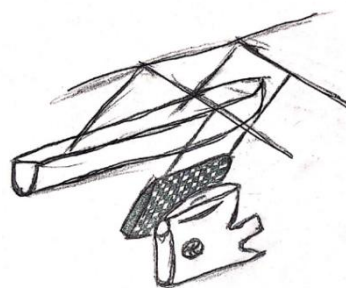


Figur 46: Ide #3

Denne ideen ble evaluert til å ikke være realistisk mulig med tanke på størrelsesforholdet mellom drone og Otter. Den opplevdes også som en ide som ville være ustabil under transport.

### Ide #4

Skissen viser et snitt av Otter og konstruksjonen. Planen er at det skal senkes ned to plater eller former på hver sin side av dronen som vist på figur 47. Overflaten av disse formene skal være kledd i et gummimateriale for å skape friksjon og beskytte dronen mot slag. Etter at dronen er fanget mellom de to formene, heises armene opp igjen.



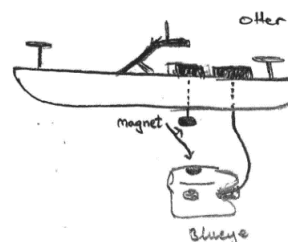
Figur 47: Ide #4

Utfordringene med en slik konstruksjon er å få fanget dronen slik at den treffer formen perfekt. Det må også gjøres beregninger på hvor hardt armene kan gripe uten å påføre dronen skade.

### Ide #5

Ved denne ideen skal sammenkoblingen mellom Otter og drone forekomme ved magnetisme som illustrert på figur 48.

Tanken er å bruke en magnet som kan aktiveres og deaktiveres. Magneten skal heves og senkes ved hjelp av en

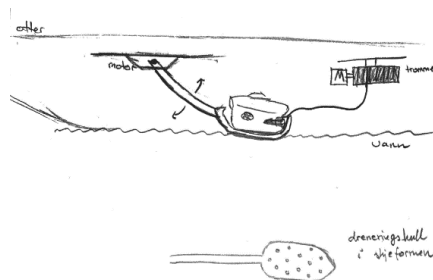


Figur 48: Ide #5

egen trommel og deretter styres til ønsket posisjon i y-retning. Det vil da også monteres en magnet på oversiden av dronen som kan pare seg med magneten festet på Otter. I tillegg vil det være en egen trommel som kontrollerer kabelen til dronen. Denne ideen vil ikke være mulig da dronen har et kompass på innsiden. Kompasset brukes for å fortelle operatøren hvilken retning dronen kjører, og en magnet vil forstyrre dette.

## Ide #6

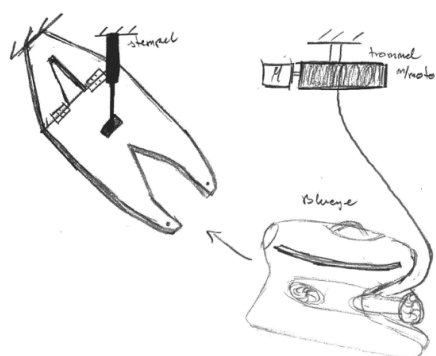
En forenklet skisse som illustrert på figur 49 viser understellet til Otter horisontalt sett fra venstre. Tanken er å ha en arm, hvor en skje-form er festet til enden. Denne skjeen har dreneringshull for å slippe ut vann og dermed unngå unødvendig vekt ved sjøsetting og opphenting. Denne armen heves og senkes ved hjelp av en motor. Trommelen skal stå alene og ha en egen motor.



Figur 49: Ide #6

## Ide #7

Denne skissen viser ikke plassering på Otter og illustrerer kun selve ideen, figur 50. Konstruksjonen vil være festet midt under rammen til Otter. Blueye Pro har to utstikkere på hver sin side, som minner om finner. Planen er at disse finnene skal gli inn på en mottakerplate, samtidig som trommelen trekker inn kabel. Platen er hengslet og kan derfor vinkles noe. Et stempel festet i platen sørger for å løfte platen slik at dronen kommer ut av vannet.

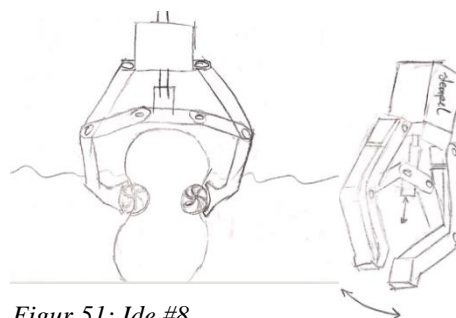


Figur 50: Ide #7

Finnene til Blueye Pro er svært tynne, og det er derfor usikkert om de vil tåle å ta all vekten. Et stempel vil også påføre mye unødvendig vekt til konstruksjonen. Derfor ble denne ideen evaluert bort.

## Ide #8

Ideen her er at en klo skal kunne gripe og holde dronen ved opphenting, og slippe den ut ved sjøsetting, figur 51. Denne drives av et hydraulisk stempel som beveger seg slik at kloen åpner og lukker seg. Kloen må også kunne heves og senkes på en måte.



Figur 51: Ide #8

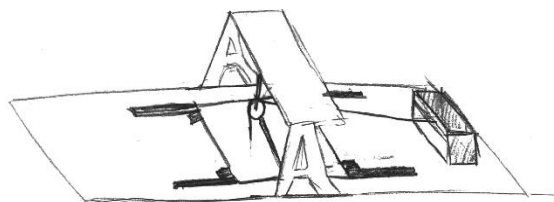
Utfordringen med denne ideen er at kloen skal treffe dronen perfekt for å få grep. Dersom det er bølger og bevegelse i vannet vil dette bli veldig utfordrende. Det må også hær bli gjort beregninger på hvor hardt kloa kan gripe for å holde vekten uten å påføre skade på dronen.

## Idemyldring og evaluering

Videre presenteres fire ideer som ble vurdert som gjennomførbare og en evalueringsmatrise som sammenligner ideene.

### Ide #A

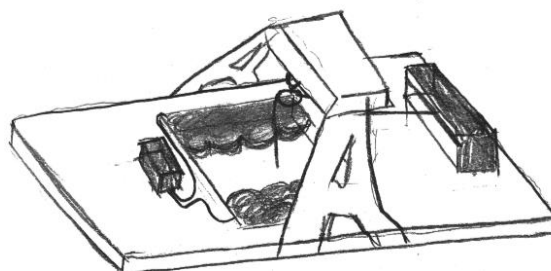
Ideen bak dette konseptet er å skape en åpning i rammen til Otter. Det blir montert to lineær aktuatorer på hver sin side av åpningen. Disse skal skyve to porter horisontalt slik at det blir en åpning i midten på Otter. Kabeltrommelen skal være drivkraften til systemet ved å heve og senke dronen. Kabelen går via en trinse som er montert i targabøylen midtsentrert over åpningen. Ved opphenting løftes dronen ut av vannet og opp gjennom åpningen i Otter. Når dronen er oppe skal lineær aktuatorene lukke portene, og dronen kan senkes ned slik at den hviler på portene. Ideen er illustrert i figur 52.



Figur 52: Ide #A

### Ide #B

Denne ideen benytter seg også av kabelen til å løfte dronen ut av vannet slik som i Ide #A og er illustrert på figur 53. For å sikre dronen under transport og for å beskytte den mot slag er det montert oppblåsbare fendere i sidene på rammeåpningen. Når dronen er løftet opp fra vannet vil disse fendrene ved hjelp av en kompressor blåses opp og låse dronen fast.

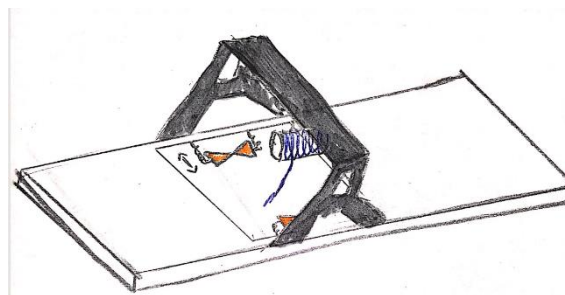


Figur 53: Ide #B

## Ide #C

Ide #C, figur 54 er nokså lik ide #B.

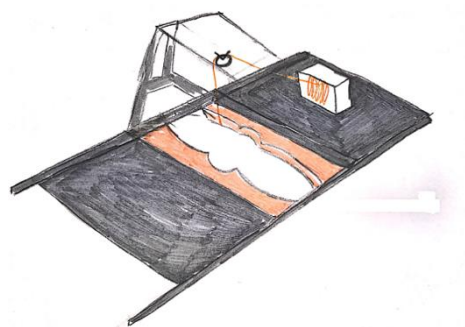
Hovedforskjellen mellom disse er at på denne ideen er låsemekanismene minimalisert. I stedet for å ha oppblåsbare fendere er det montert båtruller i rammen til Otter. Disse båtrullene er montert fast til sidene med fjærer slik at når dronen kommer opp vil disse bevege seg litt tilbake og være med på å avlaste kabelen til en viss grad. Her er også trinsen i targabøylen vridd for å lettere få dronen opp i ønsket posisjon.



Figur 54: Ide #C

## Ide #D

Denne ideen er en formvariasjon av ide #C og er illustrert på figur 55. Her vil kabeltrommelen være drivkraften til systemet ved å heve og senke dronen på samme måte som på ide #A. Kabelen vil trekke dronen i midtåpningen av rammen til Otter. Her er båtrullene fra ide #C erstattet med en polstret form som er tilpasset formen til Blueye Pro. Formen vil ikke låse fast dronen under transport, men dronen vil bli holdt stabilt slik at man unngår slagskader. Denne formen vil heller ikke bidra til å avlaste kabelen, men planen er heller å forsterke den delen av kabelen som er mest utsatt for strekkspenninger.



Figur 55: Ide #D

## Evalueringssmatrise:

Da disse fire ideene er ganske like, ble det bestemt å sammenligne dem i en evalueringssmatrise, tabell 17. Hensikten med denne matrisen var å få et bilde av de ulike styrkene og svakhetene til de ulike konseptene. Evalueringsskriteriene ble satt med baktanke om at det endelige konseptet skal være en prototype. Det er derfor vektlagt muligheten til å produsere en prototype fremfor faktorer som pris og levetid. Evalueringsskriteriene som ble satt var:

**Enkel å montere:** Både ROV og USV reduserer behovet for antall mennesker. Det er derfor viktig å bevare denne tankegangen også når LARS skal monteres på *Otter*.

**Kostnad:** For å muliggjøre tanken om å bygge en prototype er det en fordel at konstruksjonen holdes så billig som mulig.

**Pålitelighet:** Da det ikke vil være mennesker i nærheten under selve sjøsettingen og opphenting, er det viktig at systemet er pålitelig. Operatøren må være sikker på at alt går som det skal og at systemet er pålitelig hver gang det brukes.

**Stabilitet:** Et krav fra BR var å minimere slag og støt som dronen utsettes for under transport ut til ønsket lokasjon. Det er derfor viktig at konseptet tar hensyn til at dronen ikke henger og slenger, men er sikret stabilt.

**Sikkerhet:** Det er viktig at det er lagt inn sikkerhetsfaktorer i systemet for å sikre at ingenting kan gå galt.

**Produksjon:** For å kunne teste prototypene er det viktig at den kan produseres raskt. Prosjektet har en satt tidsfrist gruppen jobber opp mot.

**LCA (Livssyklus):** Da prototypen mest sannsynlig vil kreve endringer og bli skrotet, er livssyklusen til materialene en viktig faktor for gruppen. Gruppen ønsket ikke at prototypen skulle ende opp som forsøpling og vurderte derfor i hvilken grad hvert konsept kunne gjenvinnes. Det ble sett på antall komponenter og bruksmuligheter for dem videre.



Evalueringsskriterier	Konsepter				Beste løsning
	#A	#B	#C	#D	
Enkelt å motere	2	3	4	4	4
Kostnad	3	2	4	4	4
Pålitelighet	4	4	4	3	4
Stabilitet	3	5	3	4	5
Sikkerhet	4	4	4	4	4
Produksjon	3	2	3	4	4
LCA	3	2	4	4	4
Totalt	22	22	26	27	29

Tabell 18: Evalueringsmatrise

Resultat:

Etter evalueringen og sammenligning er det konsept #D som oppnår høyeste resultat. Ut fra tabellen er det mulig å se hvilke punkter dette konseptet oppnår lavere karakter på enn noen av de andre konseptene. Videre blir det sett på hvordan konsept #D kan endres for å styrke det.

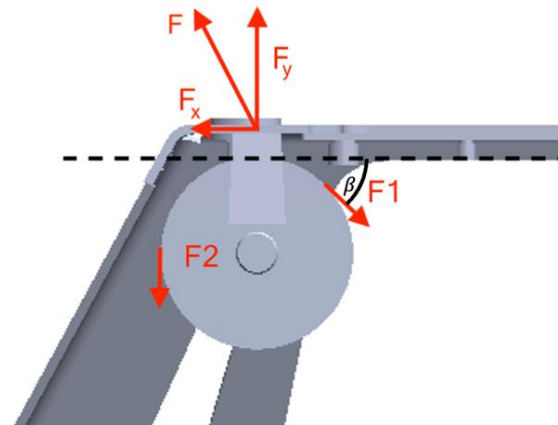
## Vedlegg 3: Beregninger

### Skrueberegning

Av det helhetlige LARS, ble det antatt at trinsen var en kritisk komponent. For å undersøke om trinsen ville tåle de belastningene den ble utsatt for, ble det gjennomført beregninger og simuleringer. Beregningene gikk i hovedsak på dimensjonering av festeskrueene. Ville festeskrueene holde, og kunne de eventuelt dimensjoneres opp eller ned.

Først ble det sett på festeskrueene til trinsen. For å kunne utføre en forenklet beregning ble kreftene i systemet lokalisert, illustrert på figur 34. Kraftene ble deretter dekomponert.

Den største kraften som virker på trinsen er snorkraften som oppstår i kabelen festet til Blueye Pro. Det ble lagt til noe ekstra vekt på massen til dronen, da den vil veie noe mer når den bryter vannoverflaten. Basert på SW tegningene ble det antatt en vinkel,  $\beta$ , på snorkraften mellom trinsehjul og kabeltrommelen.



Figur 34: Fordeling av krefter

$$m_{blueye(drenert)} \approx 10kg$$

$$\text{Antar } \beta \approx 30^\circ$$

$$F_2 = m_{blueye} \cdot g = 10kg \cdot 9,81m/s^2 \approx 100N$$

$$F_1 = F_2$$

Etter  $F_1$  og  $F_2$  ble funnet, måtte kreftene i x- og y-retning bli funnet. Disse kreftene virker der skruene er festet.  $F_2$  virker kun i y-retning, og trenger derfor ikke dekomponeres.  $F_1$  derimot virker i vinkel, og må dekomponeres:

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin(\beta) = 100N \cdot \sin(30^\circ) = 50N$$

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos(\beta) = 100N \cdot \cos(30^\circ) \approx 90N$$

For å finne verdien av kreftene i x- og y-retning ble **formel 1** brukt, summen av kreftene satt lik 0 (Newtons 1. lov):

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow F_2 + F_{1y} = F_y \rightarrow 100N + 50 = 150N$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_x = F_{1x} \rightarrow F_x = 90N$$

Det ble valgt å se bort i fra skjærspenningen ( $F_x$ ) som ville oppstå i skruen, og det ble sett nærmere på normalspenning/strekkspenning. For de videre beregningene var det behov for å vite hvor stor den aksiale spenningen var. Ved dimensjonering av aksialspenningen ble det lagt til sikkerhetsfaktorer.  $\eta_{sikkerhetsfaktor}$  tar hensyn til dynamiske påvirkninger, slik som bølger og ujevnheter i trekraften fra trommelen som kan resultere i akselererende kraft. I tillegg ble  $\mu_{vektusikkerhet}$  lagt til som en sikkerhetsfaktor på vekten til dronen. Når dronen bryter skvalpesonen, vil den være fylt med vann. Dette vannet dreneres, men det må bli tatt hensyn til vekten vannet legger til. Sikkerhetsfaktorene er hentet fra DNV GL sine standarder [24]. Design load er summen av SWL (safe working load), og ble funnet ved å multiplisere kraften i y-retning med sikkerhetsfaktorene, addert med egenvekten til trinsen multiplisert med G. Egenvekten til trinsen er 1,7kg, hentet ut fra *mass properties* i SW.

$$\eta_{sikkerhetsfaktor} = 1,3$$

$$\mu_{vektusikkerhet} = 1,2$$

Dimensjonerende aksialspenning til skruen:

$$F_{a,trinse} = F_y \cdot \eta_{sikkerhetsfaktor} \cdot \mu_{vektusikkerhet} + m_{egenvekt} \cdot G$$

$$\rightarrow F_{a,trinse} = 150N \cdot (1,3 \cdot 1,2) + 1,7kg \cdot 9,81m/s^2 \approx 250N$$

Beregnet først moment  $T_t$ , friksjon på gjengen og stigningsmotstand i festeskruen:

$$T_t = F_a \cdot \tan(\varepsilon + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2}$$

**Formel 2:**  $F_a = \frac{F_{a,trinse}}{n_{antall\ skruer}} = 125N$

$\varepsilon = \text{Friksjonsvinkel}$

$\alpha = \text{Stigningsvinkel}$

$d_2 = 5,350$

$\mu = \text{Friksjonskoeffisient} = 0,2$ , antar at  $\mu=0,2$  [17] s.8.11

$P_{\text{grove gjenger M6}} = 1,0$  Tekniske Tabeller s.116

$$\tan(\alpha) = \frac{P}{\pi \cdot d_2} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1,0}{\pi \cdot 5,350}\right) \rightarrow \alpha \approx 3,4^\circ$$

$$\tan(\varepsilon_1) = \frac{\mu}{\cos(30^\circ)} \rightarrow \varepsilon = \tan^{-1}\left(\frac{0,20}{\cos(30^\circ)}\right) \rightarrow \varepsilon = 13,0^\circ$$

$$T_t = F_a \cdot \tan(\varepsilon_1 + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2} = 125N \cdot \tan(13,0^\circ + 3,4^\circ) \cdot \frac{5,350}{2} \approx 98Nmm$$

$$(\text{Forspenning} = F_a \cdot \tan(\alpha) \cdot \frac{d_2}{2} = 125N \cdot \tan(3,4^\circ) \cdot \frac{5,350}{2} \approx 20Nmm)$$

Deretter ble jevnførende spenning i skruen etter tiltrekking beregnet, ved bruk av **formel 3**.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

For metriske ISO grovgjenger  $60^\circ$  gjelder **formel 4**:

$$\sigma = \frac{F_a}{A_s} = \frac{125N}{20,1mm^2} \approx 6N/mm^2$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} d_s^2 = \frac{\pi}{4} (6 - 0,9382 \cdot P)^2 \approx 20mm^2$$

For å videre beregne de jevnførende spenningene ble det tatt hensyn til torsjon i bolten med *formel 5*:

$$\tau = \frac{T_t}{W_p} = \frac{98Nmm}{21,3mm^3} \approx 5N/mm^2$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot (d - 1,2268 \cdot P)^3}{16} = \frac{\pi \cdot (6 - 1,2268 \cdot 1,0)^3}{16} = 21,3mm^3$$

Sammenlagt ved å benytte *formel 3* ble den jevnførende spenningen:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(6N/mm^2)^2 + 3 \cdot (5N/mm^2)^2} \approx 10N/mm^2$$

Hvor stor jevnførende spenning som er tillatt i skruen avhenger av kvaliteten på skruen.

Fasthetsklasse 8.8 ble valgt på skrue og 8 ble valgt på mutter. Årsaken til dette er at 8.8 er den vanligste kvaliteten på festeskruer da det ikke er ønskelig med plastisk deformasjon i skruen.

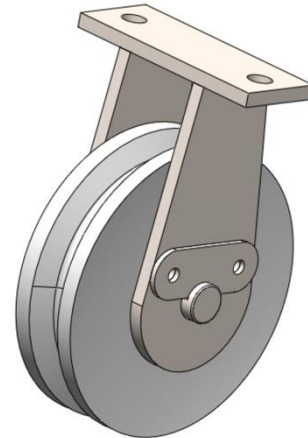
$$\text{Flytegrense: } \sigma_f = 8 \cdot 8 \cdot 10N/mm^2 = 640N/mm^2$$

$$\text{Bruddgrense: } \sigma_b = 8 \cdot 100N/mm^2 = 800N/mm^2$$

$$\sigma_f > \sigma_j \Rightarrow \text{skruen holder}$$

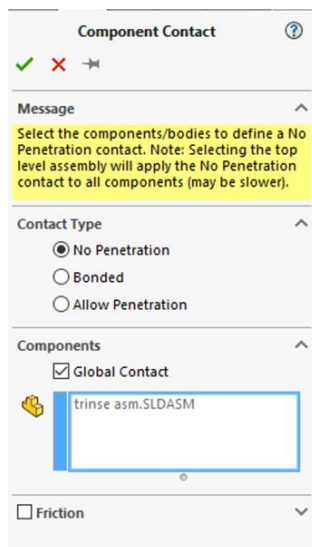
## Simulering av trinse i SolidWorks

Det ble gjennomført en lineær statisk analyse av trinsesammenstillingen. Trinsesammenstillingen består av en festeplate, to armer, trinsehjulet og en aksling, som vist i figur 35. Trinsen er forbundet med to bolter samt et rullelager mellom trinsehjul og trinseaksel. Materialet på alle trinsedelene er AISI 316 stainless steel sheet. Trinsehjulet består av ABS-plast.



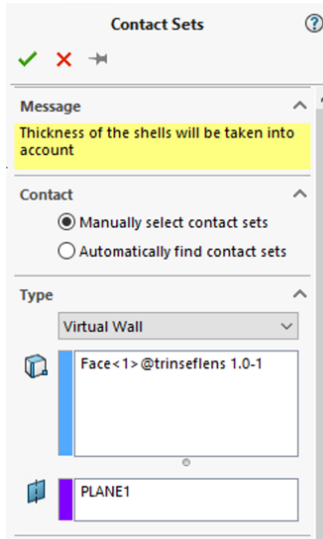
Figur 35: Trinsesammenstilling

Påkjenningene trinsen utsettes for er de samme som i skrueberegningen, i figur 34. Denne analysen tar kun hensyn til kreftene fra ROV og trommel. For å kunne gjennomføre beregningene i SW må det først legges til noen betingelser:



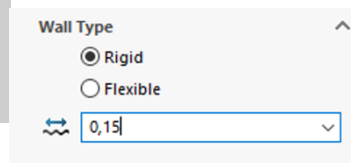
Figur 56: Kontakt betingelser

Kontakt betingelser (figur 56): Valgte «no penetration» i kontakt type. Dette gjør at delene stoppes ved kontakt. Under avansert ble det valgt «node to node», noe som betyr at delene berører hverandre uten mye gliding.

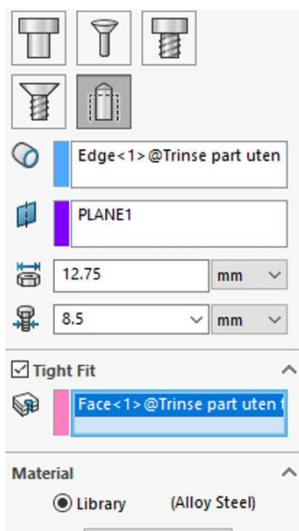


Figur 57: Kontaktsett

Kontaktsett (figur 57): Brukte «Virtual Wall» som erstatter en komponent. I dette tilfellet ble det øverste planet til festeplaten valgt. Det ble antatt en friksjonsfaktor på 0,15 og «wall type» «Rigid» (figur 58). Dette ble gjort for å simulere forbindelsen uten å ha med targabøylen trinsen er festet i.

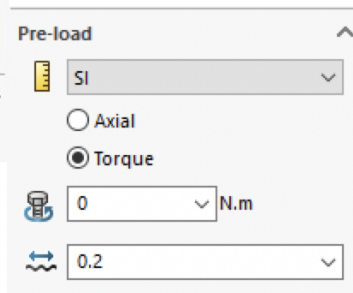


Figur 58: Kontaktsett, «wall type»

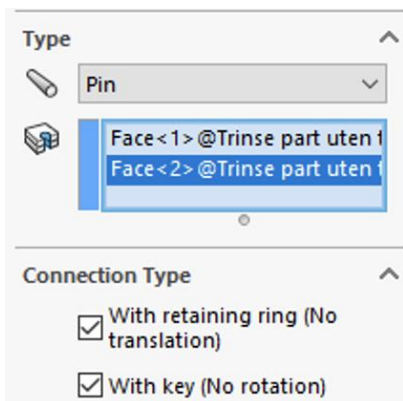


Figur 59: Bolteforbindelse

Bolteforbindelse (figur 59): Sammen med «Virtual wall» ble det brukt en «Foundationbolt». Det ble bestemt en forspenningskraft på 0 Nm i hver bolt (figur 60), dette er fordi boltene ikke skal utnytte friksjonen mellom platene i x-retning. Det ble også brukt «Tight fit», som benyttes når boltens stivhet er større enn delens stivhet. Disse boltene representerer festeskruene til trinsen.

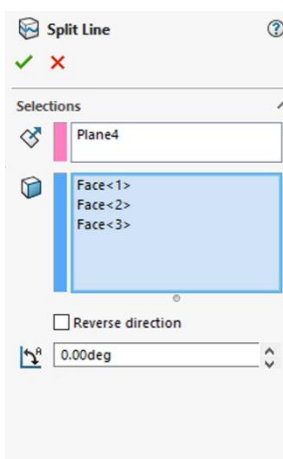


Figur 60: Bolteforbindelse, forspenning



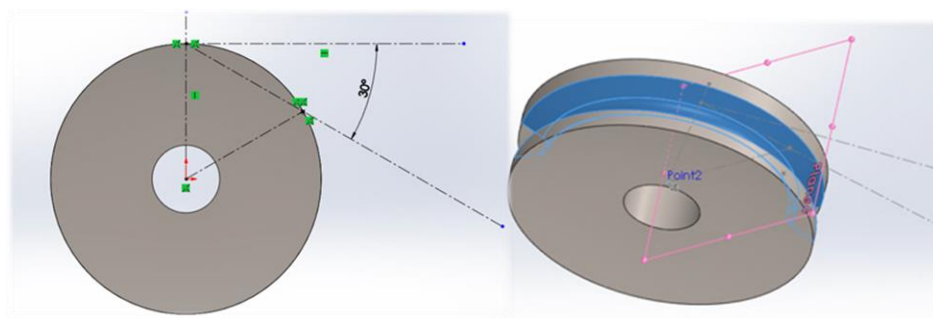
Pin kontakt (figur 61): I forbindelsen mellom trinsearm og trinsestang ble det lagt inn en pin. Denne brukes for å låse trinsestangen mot armen.

Figur 61: Pin kontakt



For å fordele kreftene på trinsehjulet ble det brukt «Split line» (figur 62). Ved å gjøre dette var det mulig å velge de områdene som ble belastet (figur 63)

Figur 62: Split line

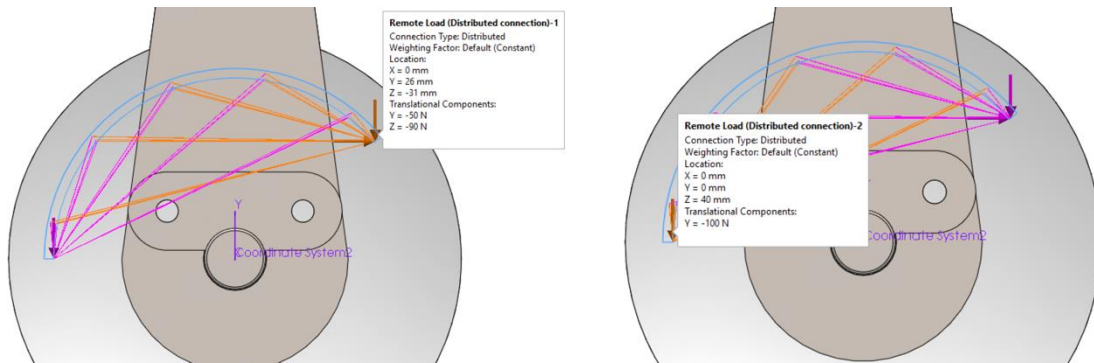


Figur 63: Split line, vinkel

External loads: Brukte «Remote load» for å påføre kreftene fra kabelen (figur 64).  $F_{2y} = 100\text{N}$ ,  $F_{1y} = 50\text{N}$  og  $F_{1x} = 90\text{N}$ . Disse ble plassert der kabelen er i kontakt med trinsa.

«Location» er avstand fra valgt koordinatsystem. «Translational Components» er krefter i x- og y-retning. Remote load gir muligheten til å forenkle kompliserte sammenstillinger, i dette tilfellet kabelen. Aktiverte ikke «large displacement» fordi den ikke vil simulere når *remote load* er benyttet.

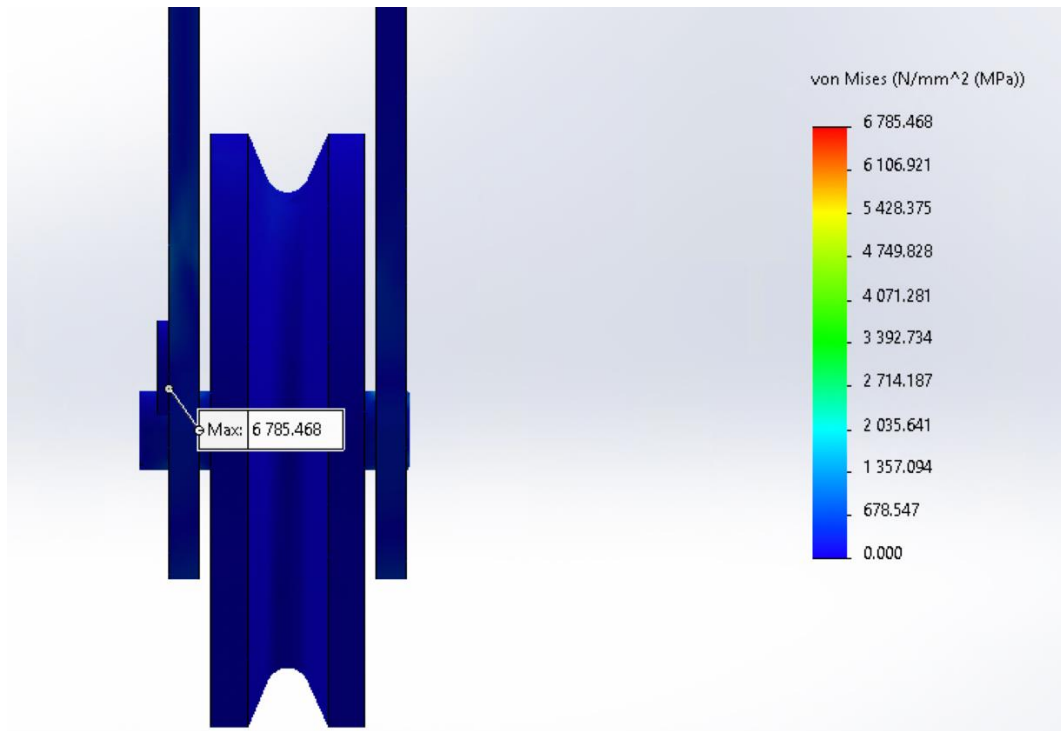




Figur 64: External load 1 og external load 2

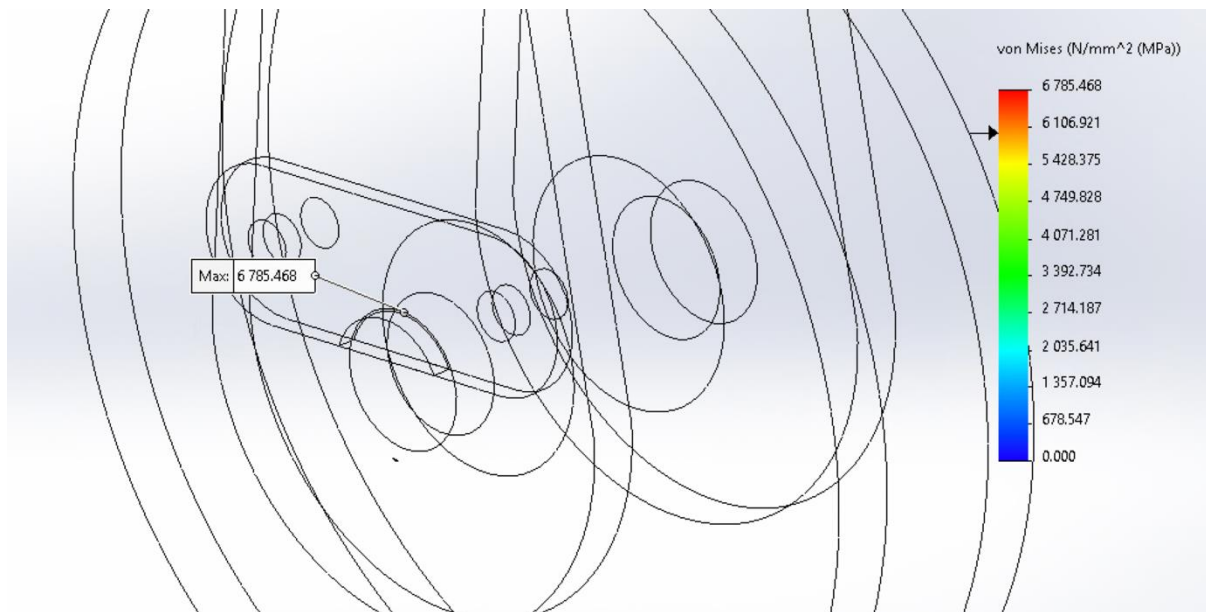
Til slutt ble det brukt grov elementnett kvalitet, og fikk plottene til Von Mises spenninger i MPa og forskyvningene i mm. Brukte tallformatet «floating» og viser maksimalverdier.

Resultatet fra simuleringen vises i figur 65. Maksimal spenning som oppstår er 6785 MPa og ser ut til å være et singularitetspunkt.



Figur 65: Maksimal spenning

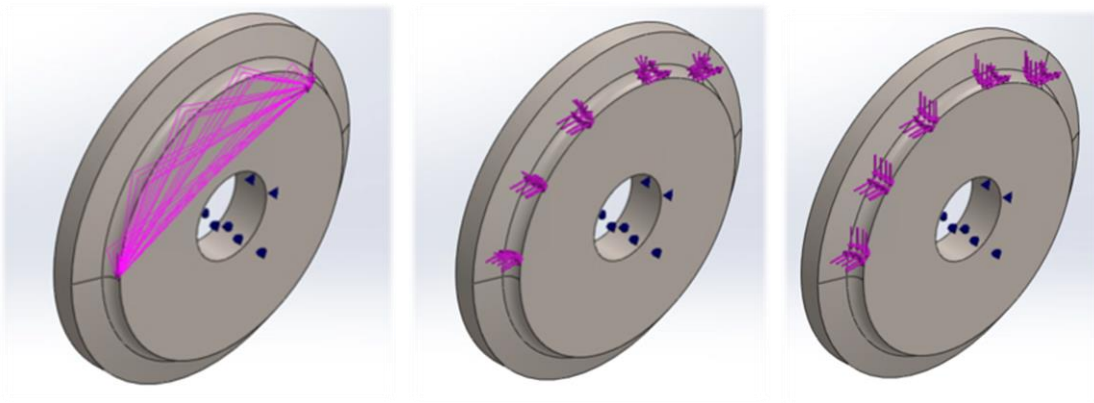
ISO clipping er en funksjon hvor man velger områdene der Factor of Safety (FOS) er mindre enn ønsket verdi, i dette tilfellet 6000MPa. Dette vises på figur 66.



Figur 66: Singularitetspunkt

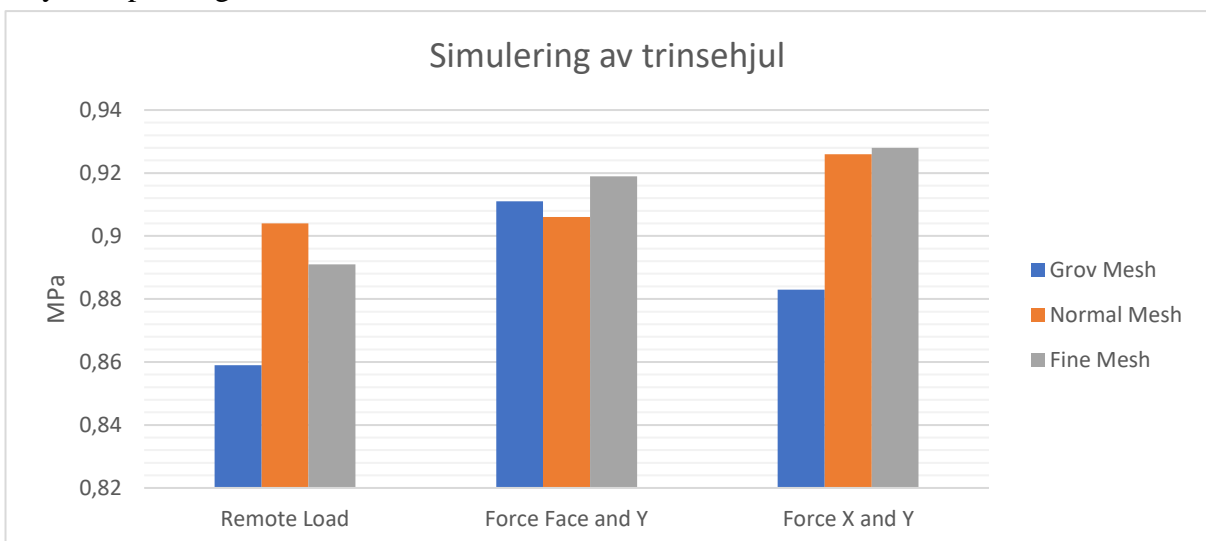
Det ble forsøkt å forfine elementnettet for å se om punktet ville konvergere. Da punktet ikke konvergerte er det et singularitetspunkt. Figur 66 viser Von Mises plot av trinsesammenstillingen som viser området med faktor over 6000MPa. Dette får tydelig frem punktet som opplever høyest spenning.

Dette bekreftet mistanken om singularitetspunkt, og valgte derfor å isolere trinsehjulet for videre simulering. Benyttet da bearing support som «Fixture». For å sikre best mulig resultat ble det valgt å se på de ulike verdiene som oppsto ved ulik type kraftpåkjenning. Til venstre i figur 36 er det påført Remote load, i midten virker kreftene på planet og i y-retning, mens til høyre virker kreftene i x- og y-retning.



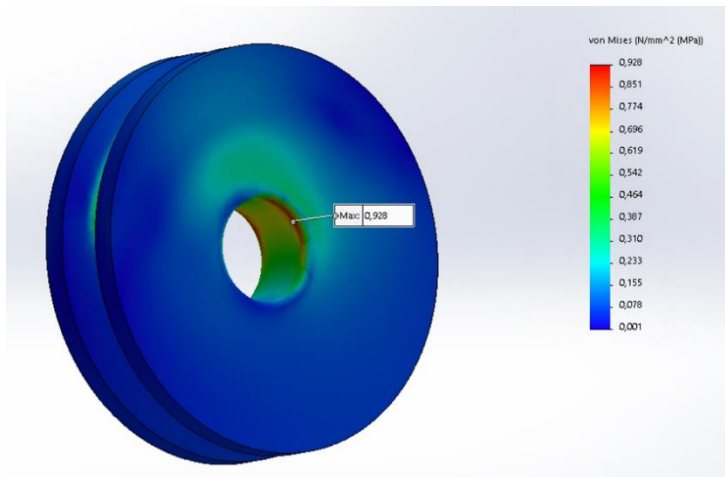
Figur 36: Ulike kraftpåkjenninger

Figur 37 viser resultatet av simuleringen av de ulike kraftpåkjenningene. Det vises på denne figuren at spenningsresultatene konvergerer til en viss grad. Ved gjentatte kjøring med forfining av elementnett, flater spenningstoppene ut. De ulike kraftpåkjenningene gir omtrent samme verdi ved fint elementnett, og det konkluderes med at det er nok å simulere videre med kreftene påført i x- og y-retning. Valget falt på denne kraftpåkjenningen da den ga de høyeste spenningene.



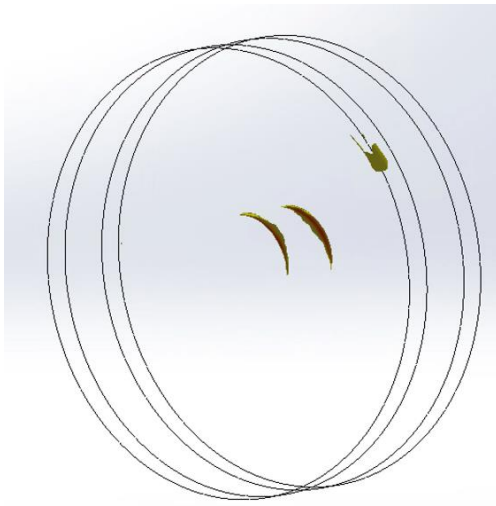
Figur 37: Sammenligning av ulike kraftpåkjenninger

Figur 38 viser resultatet fra simuleringen av trinsehjulet, påført spenninger i x- og y-retning. Plotet avbilder Max von Mises spenninger og deres plasseringer. Punktet med størst spenninger ligger inne i hullåpningen på trinsehjulet, og er på 0,928 MPa.



Figur 38: Max von Mises

I figur 39 vises spenningene over 0.7 MPa og hvor de befinner seg. Disse områdene vil være de mest belastede på trinsehjulet, men spenningene som oppstår er ikke store nok til å kategoriseres som kritiske og trinsehjulet vil tåle påkjenningene.



Figur 39: Spenninger over 0,7MPa

Forbehold om unøyaktighet i simulering blir tatt hensyn til fordi det ble gjort tilnærminger og antakelser. Noen av antakelsene var at kontaktområder ikke endret seg under belastning.

I en ikke-lineære/anisotropisk studie kunne det blitt sett på resultatene av hvert løsningsstrinn. Men siden det ikke var stor påkjenning vil det ikke være nødvendig å simulere en ikke-lineær studie. Ved å se på «List pin/bolt/bearing force» kunne kreftene på alle sammenføyningsforbindelsene blitt funnet, men disse vil ikke være relevant å henvise til siden det ikke er de svakeste områdene i sammenstillingen.

Trinsehjulet kunne vært endret til stainless steel sheet, som resten av trinsedelene, for å redusere sannsynligheten for svikt. Verdiene var så langt under flyt- og bruddgrensetilstand at det velges å beholde ABS-plast på trinsehjulet for å spare vekt. Strekkfastheten, tensile strength, til ABS-plast er 30 MPa, noe resultatet av simuleringen var godt under. Konkluderte derfor med at sammensettingen tåler belastningene og at ytterligere dimensjonering ikke var nødvendig. Basert på stivheten til kabelen er trinsehjulet dimensjonert med en diameter på 100mm. Viser det seg at trinsehjulet kan ha en mindre diameter under prototyping, kan man dimensjonere noe ned uten bekymring for svikt. Dersom det neddimensjoneres mye, bør det gjennomføres en ny simulering.

## Motorberegninger

For å vite noe om hvor sterk motor det var behov for, ble det utført noen enkle beregninger.

- Hastighet: basert på samtaler med Blueye Robotics.

$$v = 0,3m/s$$

- Masse:

$$m = 10kg$$

Vekten av Blueye Pro + vann. Lagt inn sikkerhetsfaktor da Blueye Pro vil være fylt med vann når den trekkes opp.

- Forventet kraft:

$$F = mg = 10kg \cdot 9,81m/s^2 = 100N$$

- Deldiameter kabeltrommel: trommel med kabel:

$$d = 0,25m$$

- Rotasjonshastighet til trommel:

$$\omega_{trommel} = \frac{v}{r} = \frac{0,3m/s}{0,125m} = 2,4rad/s$$

- Dreiemoment:

$$T = F \cdot r = 100N \cdot 0,5 \cdot 0,25m = 12,5Nm$$

- Akseleffekt:

$$P_{aksel} = \omega_{trommel} \cdot T = 2,4rad/s \cdot 12,5Nm = 30W$$

## Beregninger drivverk

Måter å definere oversetning på er ved bruk av **Formel 7**:  $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$ .

Vinkelhastigheten i trommelen ble regnet ut under «motorberegninger» og ble brukt videre for å finne de andre verdiene.

$$n_3 = \frac{\omega_3 \cdot 60}{2\pi} = \frac{2,4 \text{ rad/s} \cdot 60}{2\pi} = 23 \text{ rpm}$$

$$\frac{n_1}{n_3} = \frac{d_3}{d_1} \Rightarrow n_1 = \frac{d_3 \cdot n_3}{d_1} \Rightarrow n_1 = \frac{(37,5) \cdot 23 \text{ rpm}}{37,5 \cdot \frac{2}{3}} \Rightarrow n_1 = 34,5 \text{ rpm}$$

$d_1$  er satt lik  $d_3$  multipliserer med  $\frac{2}{3}$  for å få en passende diameter, siden trommelhjulet skal ha et lavere turtall enn levelwinderen der  $1:\frac{3}{2}$  størrelsesforhold virker fornuftig. Den viktigste størrelsen på tannhjul er modulen  $m$ , **Formel 8**:  $m = P/\pi$ . For å finne tannhulets deling,  $P$ , kan omkretsen av tannhullet målt langs delskirken benyttes:

$$O = \pi \cdot d = z \cdot P \Rightarrow d = \frac{P}{\pi} \cdot z = m \cdot z$$

$$P = \frac{\pi \cdot d_3}{z_3} = \frac{\pi \cdot 37,5 \text{ mm}}{27} = 4,36, z_3 = 27, \text{ bestemt fra design av tannhjul i SW}$$

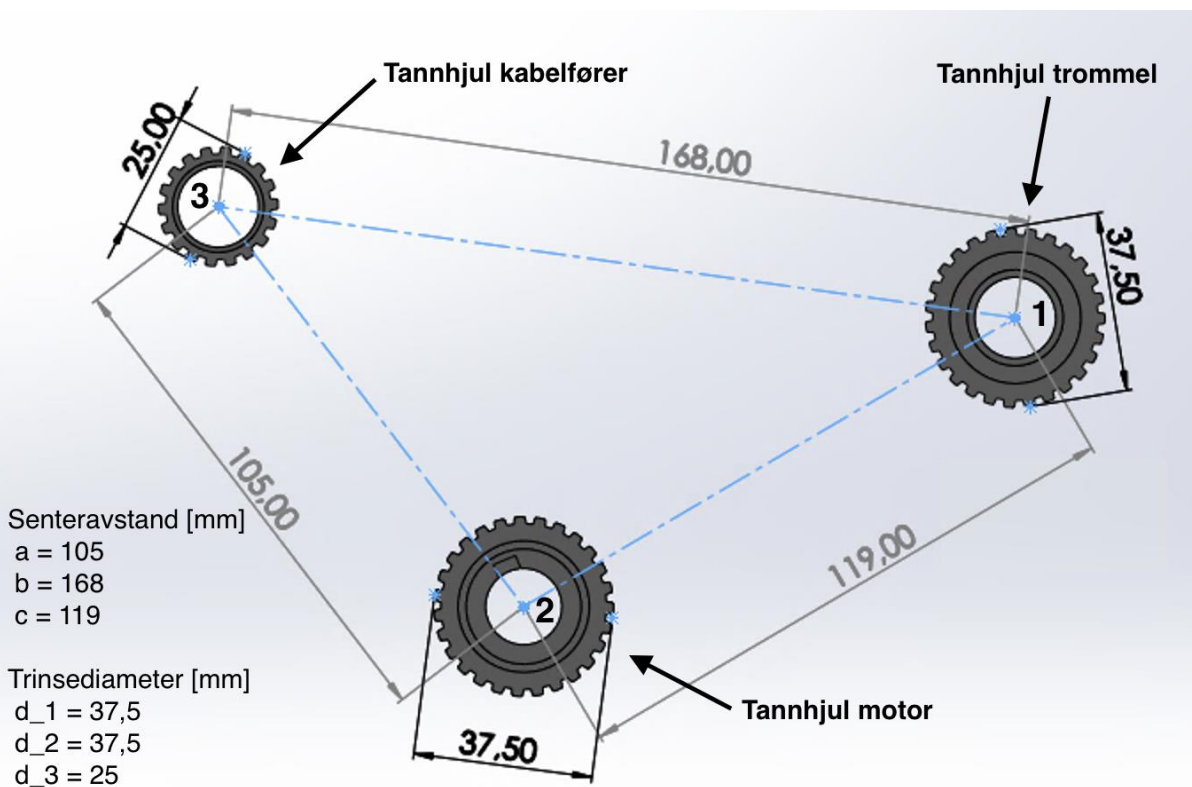
Benytter samme formel, men her med verdier fra tannhjul 3, kabelfører:

$$z_1 = \frac{\pi \cdot d_1}{P} = \frac{\pi \cdot 25 \text{ mm}}{4,36} = 18 \text{ tenner}$$

$$m_1 = \frac{d_1}{z_1} = \frac{25}{18} = 1,39$$

$$m_3 = \frac{d_3}{z_3} = \frac{37,5}{27} = 1,39$$

$m_1 = m_3 \Rightarrow$  korrekt dimensjonert for at tannreim kan benyttes



Figur 67: Dimensjoner drivverk, senteravstand og diameter til tannhjul

For å beregne lengden til tannreima benyttes senteravstand og diameterne til tannhjulene.

**Formel 9** viser en måte å gjøre det på. [20]

$$\begin{aligned}
 \text{Formel 9: } L &= \sqrt{a^2 - \frac{(d_2 - d_3)^2}{4}} + \sqrt{b^2 - \frac{(d_3 - d_1)^2}{4}} + \sqrt{c^2 - \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}} \\
 &+ (2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{d_1 - d_2}{2 \cdot c}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{d_1 - d_3}{2 \cdot b}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c}\right)) \cdot \frac{d_1}{2} \\
 &+ (2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{d_2 - d_3}{2 \cdot a}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{d_2 - d_1}{2 \cdot c}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{c^2 + a^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c}\right)) \cdot \frac{d_2}{2} \\
 &+ (2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{d_3 - d_1}{2 \cdot b}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{d_3 - d_2}{2 \cdot a}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right)) \cdot \frac{d_3}{2}
 \end{aligned}$$



Avrundede verdier hentet fra figur 67.

$$\begin{aligned}
 L = & \sqrt{(105\text{mm})^2 - \frac{(37,5\text{mm} - 25\text{mm})^2}{4}} + \sqrt{(168\text{mm})^2 - \frac{(25\text{mm} - 37,5\text{mm})^2}{4}} \\
 & + \sqrt{(119\text{mm})^2 - \frac{(37,5\text{mm} - 37,5\text{mm})^2}{4}} + (2\pi \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{37,5\text{mm} - 37,5\text{mm}}{2 \cdot 119\text{mm}}\right) \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{37,5\text{mm} - 25\text{mm}}{2 \cdot 168\text{mm}}\right) \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{(168\text{mm})^2 + (119\text{mm})^2 - (105\text{mm})^2}{2 \cdot 168\text{mm} \cdot 119\text{mm}}\right)) \cdot \frac{37,5\text{mm}}{2} + (2\pi \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{37,5\text{mm} - 25\text{mm}}{2 \cdot 105\text{mm}}\right) \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{37,5\text{mm} - 37,5\text{mm}}{2 \cdot 119\text{mm}}\right) \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{(119\text{mm})^2 + (105\text{mm})^2 - (168\text{mm})^2}{2 \cdot 105 \cdot 119\text{mm}}\right)) \cdot \frac{37,5\text{mm}}{2} + (2\pi \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{25\text{mm} - 37,5\text{mm}}{2 \cdot 168\text{mm}}\right) \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{25\text{mm} - 37,5\text{mm}}{2 \cdot 119\text{mm}}\right) \\
 & - \cos^{-1}\left(\frac{(105\text{mm})^2 + (168\text{mm})^2 - (119\text{mm})^2}{2 \cdot 105\text{mm} \cdot 168\text{mm}}\right)) \cdot \frac{25\text{mm}}{2} \\
 = & 392\text{mm} + 47\text{mm} + 29\text{mm} + 29\text{mm} = 497\text{mm}
 \end{aligned}$$

Lengde på tannreim = 497mm

Antall tenner på tannreim:

$$z_{\text{tannreim}} = \frac{L}{P} = \frac{497\text{mm}}{4,36\text{mm/tann}} = 114 \text{ tenner}$$

Hastigheten kableførerens vil bevege seg i avhenger av omdreiningstallet til motoren. Det ble tatt utgangspunkt i et turtall fra motoren på 25rpm. Beregningene ovenfor viser at turtallet til kableførerens er 37,5rpm. Den andre faktoren som påvirker hastigheten, er antall gjenger på levelwinderen.

$$k_{\text{antall gjenger}} = 23$$

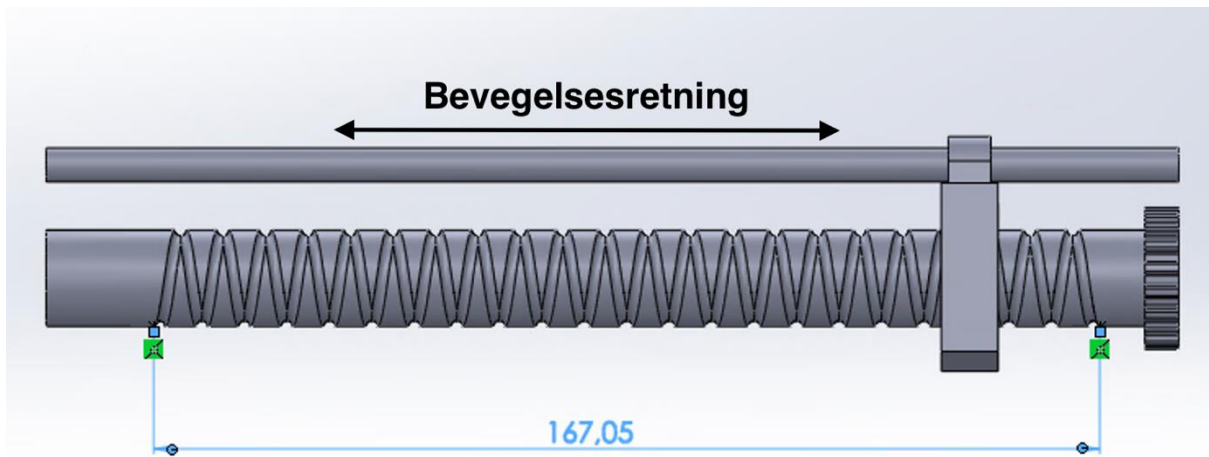
$$l_{\text{avstand m/gjenger}} = 167\text{mm}$$

$$n_{\text{kablefører}} = 37,5\text{rpm}$$

Finner hastigheten kableførerens, figur 68, beveger seg per sekund:

$$\text{Formel 10: Hastighet [mm/s]} = n_{\text{kablefører}} \cdot \frac{l_{\text{avstand m/gjenger}}}{k_{\text{antall gjenger}}}$$

$$\text{Hastighet [mm/s]} = \frac{37,5\text{rpm}}{60\text{s}} \cdot \frac{167\text{mm}}{23} \approx 5\text{mm/s}$$



Figur 68: Levelwinder screw

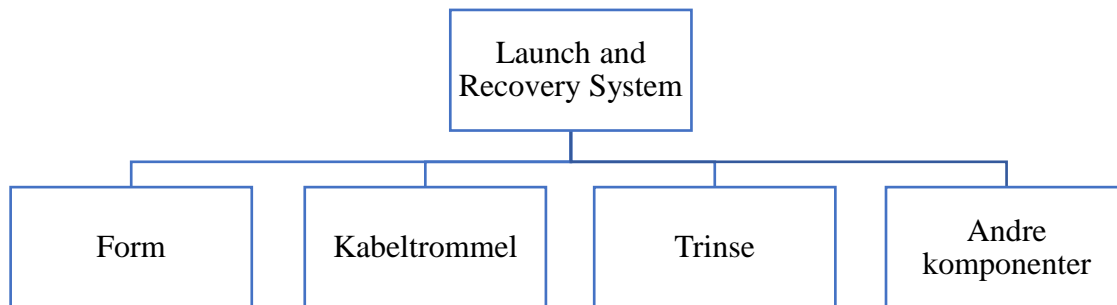
Hastighet med nytt antall gjenger:

$$k_{\text{ny antall gjenger}} = 15$$

$$\text{Hastighet } \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right] = n_{\text{kablefører}} \cdot \frac{l_{\text{avstand m/gjenger}}}{k_{\text{ny antall gjenger}}} = \frac{37,5\text{rpm}}{60\text{s}} \cdot \frac{167\text{mm}}{15} \approx 7\text{mm/s}$$

## Vedlegg 4: Det valgte konseptet

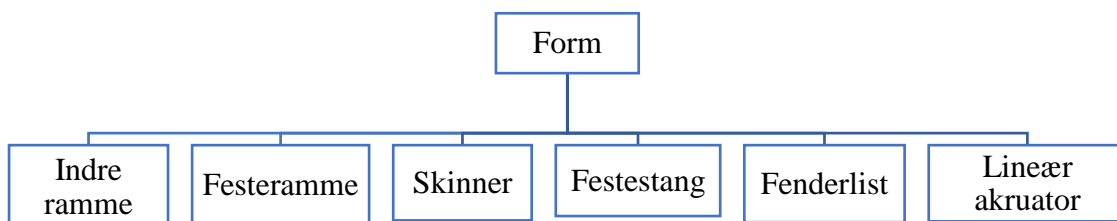
Dette vedlegget gir en mer detaljert beskrivelse av de ulike komponentene i det valgte konseptet. De fleste delene er designet og tegnet selv, mens noen av delene anskaffes som standardkomponenter. Figur 27 viser hoved-delene i systemet. Videre dekomponeres disse delene.



Figur 27: Dekomponering av LARS

### Form

Figur 69 viser de ulike komponentene i sammenstillingen til formen.



Figur 69: Form, dekomponering

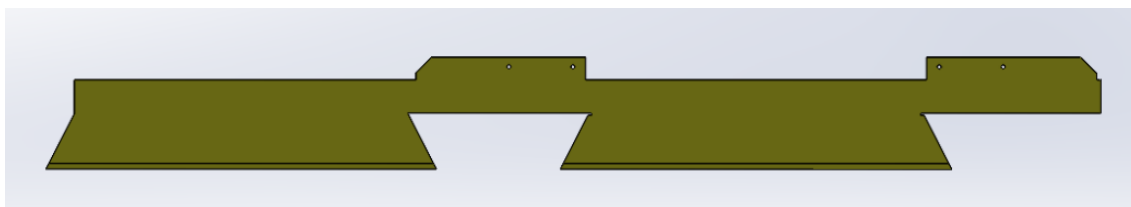
## Indre ramme



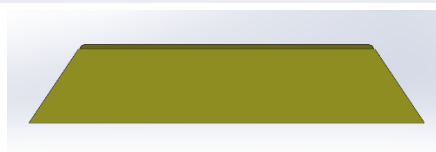
Figur 70: Indre ramme

Den indre rammen, som er vist på figur 70, er formet som en trakt slik at dronen har størst mulig treffåpning. Det store åpne rommet gjør at dronen kan trekkes opp uavhengig av rotasjonsretningen, uten å kile seg fast. Den øvre delen av rammen er rektangulær for å passe med rammen til Otter. Det er laget to festehull på hver side, som brukes til å feste indre rammen til sammenstillingen. Materialet som er valgt til den indre rammen er ABS-plast. Årsaken til dette er at plast vil være mer skånsomt mot Blueye Pro enn ett metallisk materiale. Skallet til Blueye Pro er laget av ABS-plast, og kan ved sammenstøt mot metall få riper og kutt. ABS-plast er også lett og korrosjonsbestandig.

Ved produksjon vil den indre rammen lages i to ulike deler, for å forenkle produksjonsprosessen. Delene vil vannskjæres av en tynnplate på 6mm. Eventuelt kunne hele formen blitt laget som en del ved å bruke produksjonsteknikken plaststøping. Plaststøping er ikke lønnsomt når det kun skal lages en. Fordelen med vannskjæring er at det gir rene kutt, krever lite til ingen etterarbeid og er miljøvennlig. Profilene ble designet i sheet metal, noe som gjør det mulig å legge CAD filene direkte inn i maskinen. De to sideprofilene fra figur 71 og hovedprofilen fra figur 72 må deretter bøyes til dimensjonert vinkel. Til slutt plastsveises sideprofilene til hovedprofilen.



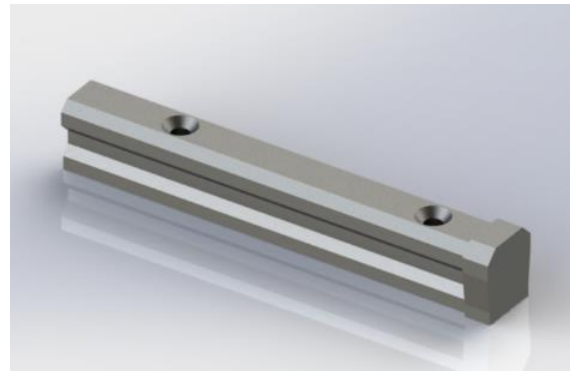
Figur 72: Hovedprofil



Figur 71: Sideprofil

## Skinne

På innsiden av indre rammen er det festet to skinner som er illustrert på figur 73. Skinnene er montert slik at de går 20mm utenfor den indre rammen.



Figur 73: Skinne

Det er valgt å benytte seg av to forsenkede skruehull, tilpasset M6 skruer, for å feste skinnene til indre rammen. De forsenkede

skruehullene gjør at skruene flukter med overflaten til skinnen, fordeler hullkrefter og hindrer skinnene fra å bevege seg over tid. Dette bidrar til at festestangen vil kunne gli, uten å kile seg fast. Siden skruene skal festes gjennom flere komponenter, har hullene normal passform slik at det er enklere å montere delene.

Materialet skinnene skal produseres i er teflon. Teflon egner seg godt fordi det er et materiale med lav friksjon, noe som gir god glid. Ved å smøre skinnene med marinfett øker vannresistansen og beskytter mot rust.

Ved produksjon vil CNC- fresing bli benyttet til å produsere skinnene. Dette gjøres ved at CAD filene også her blir lagt direkte inn i maskinen. Denne produksjonsmetoden blir benyttet da den gir fine overflater og har høy nøyaktighet, noe som er viktig for at festestangen og skinnene skal kunne gå i spor.

## Festestang

Festestangen som er illustrert på bilde 74 forflytter seg frem og tilbake langs skinnene, der en lineær aktuator er drivkraften bak bevegelsen. Funksjonen til festestangen er å forsikre at dronen blir låst fast mellom stangen og fenderlisten. Dette gjøres for å unngå



Figur 74: Festestang

slagskader under transport og for å avlaste kabelen. Festestangen er designet slik at kraften fra festestangen mot dronen blir fordelt på flere punkter for å unngå skader på dronen. Materialet som er valgt til festestangen er aluminium, fordi det er et lett og slitesterkt

material. Den siden av festestangen som går i klem med dronen vil være kledd med en fender av gummi.

Ved produksjon vil festestangen bli maskinert av en CNC styrt maskin på samme måte som skinnene. Denne produksjonsmetoden blir benyttet for å få fine overflater og nøyaktige spor.

## Festeramme

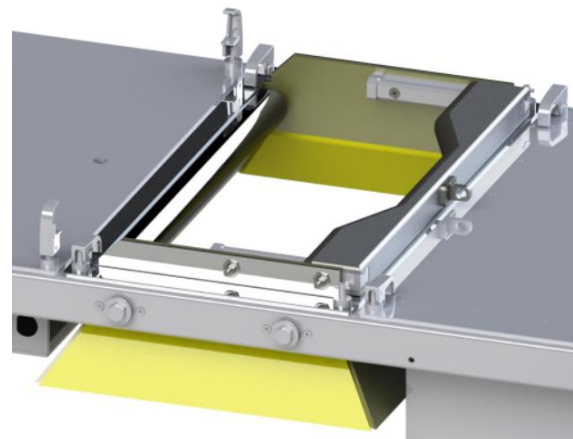
På festerammen monteres den indre rammen via fire festepunkter. Videre monteres festerammen til Otter-rammen via fire festepunkter i hvert ytterhjørne som er vist på figur 75. Festerammen er designet til å være lik de originale toppplatene til Otter. Denne løsningen gjør det mulig å benytte seg av de allerede eksisterende «lift and turn handle» og oppfyller ønsket til MR om et modulbasert konsept.



Figur 75: Festeramme

Festerammen festes til den indre rammen og skinnene med de samme forsenkede M6 boltene som brukes på skinnene. Sammenstillingen er illustrert på figur 76.

Materialet som er valgt for festerammen er 5083 aluminiumlegering. Dette har blitt valgt da materialet har lav vekt, lang levetid og er korrosjonsbestandig. Dette er også det samme materialet som de andre topp-platene til Otter. I tillegg kan materialet enkelt formes, noe som gjør det lettere å få delen produsert.

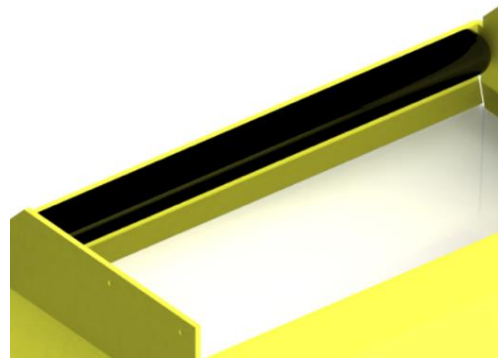


Figur 76: Sammenstilling

Ved produksjon blir festerammen vannskjært av en 3mm tynnplate. Dette blir gjort av samme grunnlag som den indre rammen. Festerammen ble også designet i sheet metal slik at CAD filen kunne brukes direkte i maskinen. Etter at profilen er skjært ut må den bøyes 90°, for å oppnå ønsket form.

## Fenderlist

Langsiden av den indre rammen er polstret med en fenderlist. Dette er gjort for å beskytte dronen mot slag og støt under transport. Fenderlisten vil bli produsert av Rygg Gummi AS. Fenderlisten er 520mm lang slik at den dekker hele langsiden til indre rammen som på figur 77. I tillegg er den hul slik at den har større inntrengingsdybde enn en solid fenderlist.



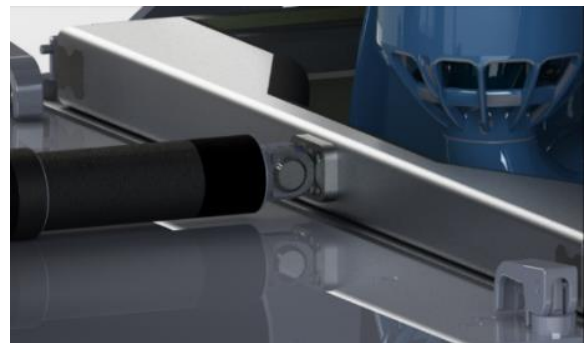
Figur 77: Fenderlist

## Lineær aktuator

Lineær aktuatoren, figur 78, er montert til festestangen ved hjelp av en brakett og en bolt som vist i figur 79. Valget endte på Modell: PA-06-6-22 fra ProgressiveAutomations, ved hjelp fra Eirik Hovstein i MR. Denne lineære aktuatoren oppfyller krav til slaglengde, pris, vanntoleranse, strømkilde og størrelse. Den har en slaglengde på 152mm og IP67M. I tillegg er den kompakt og har en total lengde 198mm.



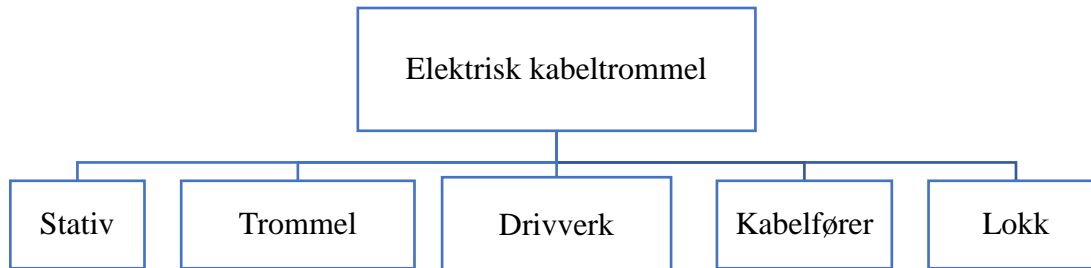
Figur 78: Lineær aktuator



Figur 79: Feste lineær aktuator

## Elektrisk kabeltrommel

Figur 80 viser de ulike komponentene i sammenstillingen til den elektriske kabeltrommelen.



Figur 80: Elektrisk kabeltrommel, dekomponering

### Stativ

Hensikten til stativet er å holde de ulike komponentene til den elektriske kabeltrommelen. Stativet, figur 81, er designet til å ha en enkel geometri, slik at det skal være enklest mulig å produsere det. Det er også forsøkt å komprimere stativet så mye som mulig slik at det akkurat er plass til de nødvendige komponentene. Stativet festes til bakre del av Otter-rammen med to bolter. Siden deler av stativet

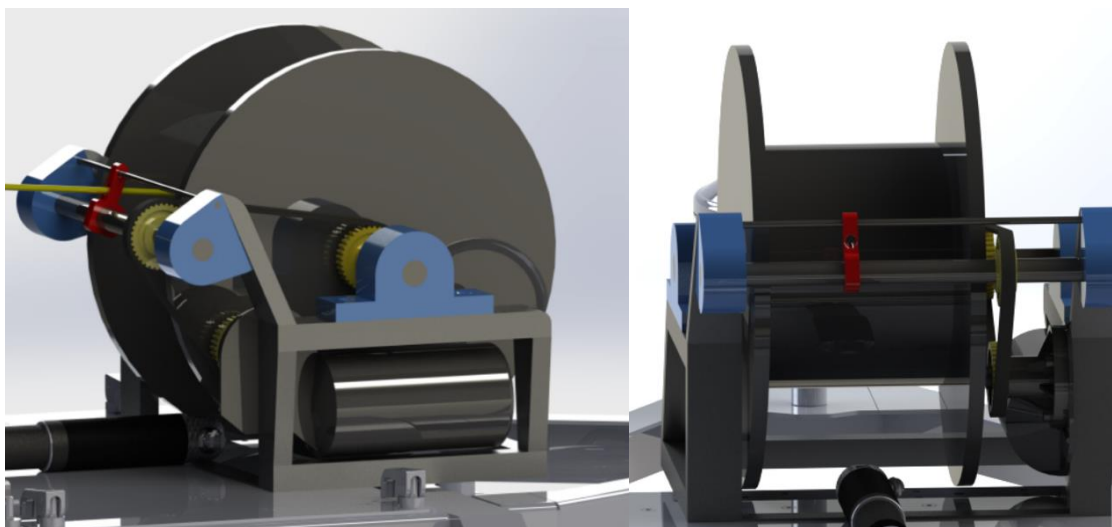


Figur 81: Stativ

vil være plassert utenfor Otter-rammen er det valgt å ha en tett bunn på stativet. Dette er for å unngå at sjøsprøyt kommer rett inn til de elektriske komponentene. Det ble valgt å produsere stativet i aluminium, for å holde så lav vekt som mulig på systemet. Dette er også et sterkt materiale som vil tåle rotasjonene til trommelen. Stativet vil bli produsert ved først å vannskjære de ulike delene, for deretter å bli sveiset sammen.



## Trommel



Figur 30:

Den nye trommelen, vist i figur 30, tar utgangspunkt i dimensjonene til BR sin kabeltrommel. Det vil si at indre diameter er 17mm, og ytre diameter er 31mm. Den nye trommelen er i seg selv fortsatt lik den gamle. Forskjellen på den nye trommelen og den gamle er at elektronikken i lokket er flyttet og stativet som følger med er fjernet. Denne trommelen er laget av polykarbonat, og produseres med plaststøping. BR kjøper tromlene fra en leverandør, og tilpasser dem. På trommelen vil det være festet 150m kabel, som er forbundet til Blueye Pro. Dersom det er behov, kan kabelen erstattes med en lengre kabel. Gjennom kjernen til trommelen går det en metallstang. Den er festet til en metallplate i kjernen av trommelen, hvor platen er festet til trommelveggene. Metallstangen er opplagret på begge ytterkanter og festet i trommelstativet. Dette er gjort for å stive av trommelen for å få den mer stabil. Opplagringene er fotlager og festes til stativet med to bolter hver. Denne delen kjøpes som en standard og blir levert i støpejern. På den ene siden av trommelen er det montert et tannhjul på metallstangen. Dette tannhjulet overfører rotasjon fra motoren til trommelen via en reim.

## Kabelfører



Figur 82: Kabelfører

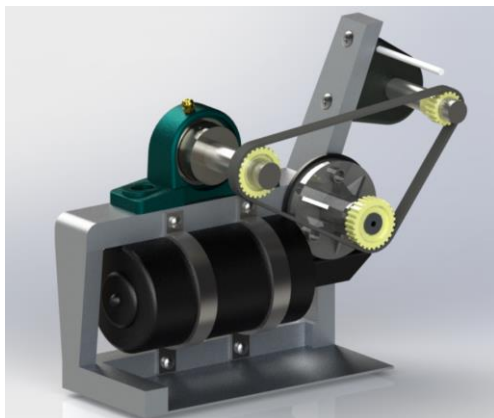
Fremfor trommelen er det festet en kabelfører, illustrert på figur 82. Kabelføreren har som funksjon å kontrollere at kabelen fordeler seg jevnt på trommelen for å unngå oppsamling av kabel. Kabelføreren er opplagret til stativet i to fotlager, som festes med to bolter hver som illustrert på figur 30. De to fotlagrene er også standard, og av samme materiale som fotlagrene til trommelen. Forskjellen er at disse lagrene har diameter 17mm. Mellom de to lagrene går det en levelwinder screw og en glatt stang. Levelwinderen har diameter 17mm, mens den glatte har diameter 5mm. Den glatte stangen er i ro, mens stangen med spor roterer. På stangen med spor er det festet en blokk, førerblokk. Inne i førerblokken er det en tapp som følger sporet på skruen og på toppen av blokken er det en liten utstikker med to hull som illustrert på figur 83. Det øverste hullet går parallelt med stengene, mens det nedre hullet er perpendikulært på trommelen. Gjennom det nedre hullet skal kabelen gå, mens kabelblokken beveger seg langs skruen med spor. Hullet er kledd med gummi materiale for å tilføre friksjon mot kabelen. Gjennom det øvre hullet i blokken går den glatte stangen. Denne forbindelsen hindrer blokken i å rotere, slik at den kun beveger seg rettlinjet. På stangen med spor er det også festet et tannhjul. Tannhjulet er forbundet med drivverket som skaper bevegelsen.



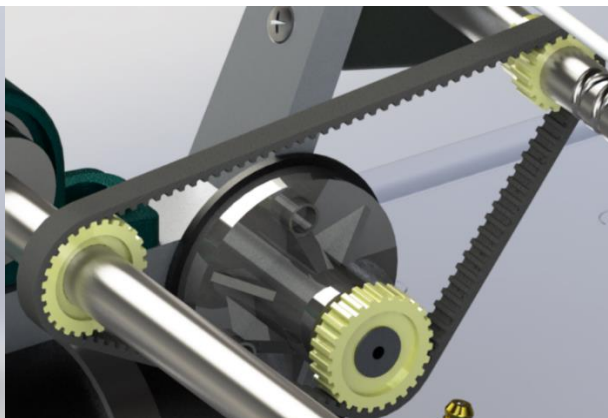
Figur 83: Kabeltrommel, førerblokk

Materialet som blir brukt på levelwinderen er AISI 316. Dette ble valgt da dette materialet er svært korrosjonsbestandig og blir ofte brukt på levelwindere. Blokken blir laget i aluminium da dette er en liten komponent som ikke belastes for høye spenninger. Begge disse delene blir produsert av en CNC styrt fres fordi de er komplekse og krever høy nøyaktighet.

## Drivverk



Figur 84: Snitt av drivverk

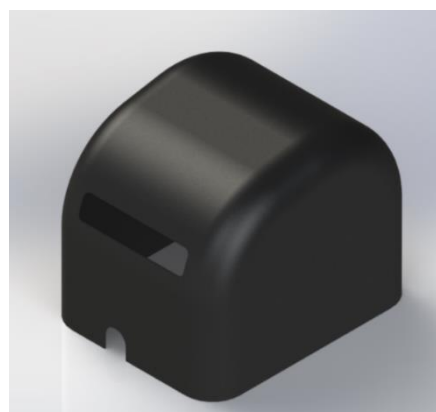


Figur 40: Reimforbindelse

Motoren som driver hele systemet, er en likestrømsmotor med snekkegir. Denne motoren ble valgt, i samråd med Eirik Hovstein, fordi den oppfyller kravene til styrke, pris, vekt og størrelse satt i kapittel 4. Motoren er 12V, 40W og leverer en hastighet på 25rpm. Snekkegiret har motorbrems, som er en fordel under transport av dronen. Dette er fordi motorbremsen holder systemet i låst stilling, slik at kabelen ikke gir etter mens dronen er oppe. Motoren blir festet til stativet med to sadler, som vist på figur 84. Kraften overføres fra motoren til kabeltrommel og kabelfører, ved hjelp av tannhjul og reim som illustrert på figur 40.

## Deksel

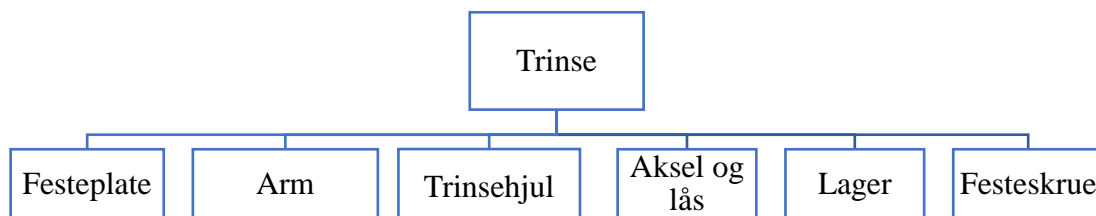
Kabeltrommelsystemet er tildekket med et deksel, figur 29. Det er to årsaker til dette. Den første grunnen er for å beskytte elektronikken mot sjøsprøyt. Den andre årsaken er designmessig. Dekselet lages i aluminium som pulverlakkeres, for å få likt utseende som Otter. Ved produksjon vil det skjæres ut tre profiler som valeses og sammenføres med sveis.



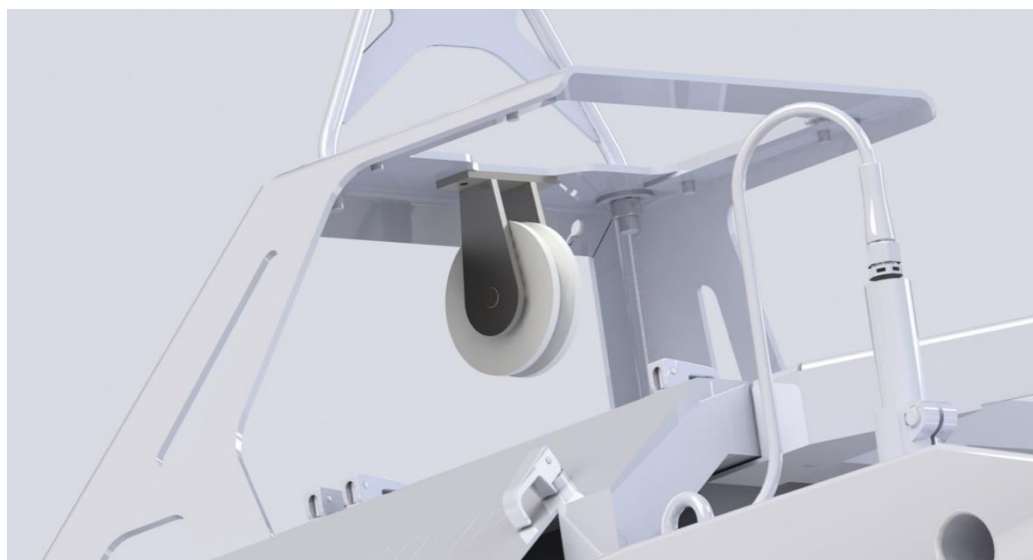
Figur 29: Deksel

## Trinse

Trinsen er festet i targabøylen på Otter. Figur 85 dekomponerer de ulike delene i sammenstillingen, og figur 32 illustrerer trinsesammenstillingen.



*Figur 85: Trinse, dekomponering*



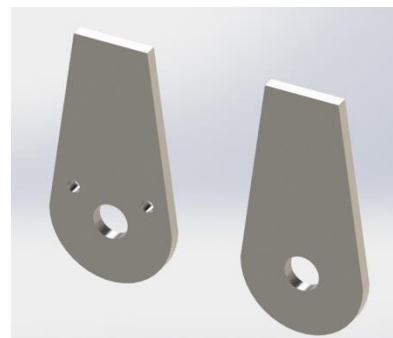
*Figur 32: Trinse*

## Festeplate

Festeplaten ble dimensjonert med lengde 30mm, bredde 80mm og tykkelse 5mm for å passe targabøylen best mulig, og monteres til targabøylen med to festeskruer i størrelse M6. I kapittel 6 beregnes det hvorfor denne størrelsen er valgt. Materialet som er valgt til denne delen er rustfritt stål. Dette ble valgt fordi trinsen vil være utsatt for korrosjons. Produksjonsprosessen til festeplaten er ved vannskjæring av en 5mm tynnplate.

## Arm

Det er designet to armer i samme materiale som festeplaten. Hver arm har en tykkelse på 5mm. Lengden på armene er tilpasset størrelsen på trinsehjulet. På armen til venstre i figur 86 er det boret ut 3 hull, der de to øverste hullene har diameter på 5mm og er festehull til låsen. Det nedre hullet har diameter 14mm, og er boret ut til å passe trinseakselen.

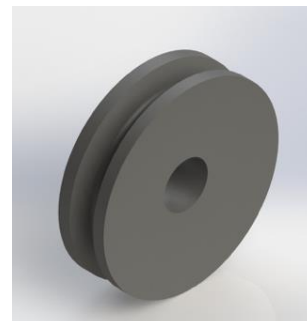


Figur 86: Trinse, arm 1 og 2

Trinsearmene blir produsert på samme måte som festeplaten, men her fra en tynnere plate. Deretter kilsveises disse sammen med 30mm senteravstand fra hverandre

## Trinsehjul

Trinsehjulet til trinsesammenstillingen, figur 87, er dimensjonert med en ytterdiameter på 100mm. Diameteren må være så stor fordi kabelaen som blir brukt har en anbefalt bøyeradius på 50mm. Her blir det benyttet ABS-plast over aluminium som materiale. ABS-plast blir valgt fordi det er det billigste alternativet og det ikke er behov for styrkeegenskapene til aluminium. I kapittel 6.2 Simuleringsstudiet blir trinsen simulert. Denne delen vil bli kjøpt ferdig fra leverandør av økonomiske grunner. Trinsehjulet har et hull med diameter 20mm, der et lager skal plasseres.



Figur 87: Trinsehjul

## Aksel og lås

Låsen er formet som en plate og har to hull med diameter 5mm, slik at det passer overens med trinsearmen. Låsen skal festes til den ene armen med en pin i hvert hull som sammenføyningsmetode. Det er frest ut et spor i akselen slik at låsen passer, figur 88. Dette sørger for at akselen holder seg på plass slik at trinsehjulet ikke forsvinner dersom det blir bevegelser. Akselen kan enkelt monteres ved å ta ut den ene pinen og deretter dra ut aksel og tre på kabel. Disse delene er av rustfritt stål. Låsen produseres med stansing av tynnplate og akselen maskineres med en diameter på 14mm.



Figur 88: Trinse, aksel og lås

## Lager

Lageret behøver ikke å tåle høye omdreiningshastigheter da trommelen vil trekke i en hastighet på 25rpm. Den radielle kraften vil være kabelkreftene, noe som er beregnet til å være små. De aksielle kreftene vil være så små at de er neglisjerbare. Det som er viktig å prioritere er at lageret må kunne ha lav friksjon ved lav hastighet, lav innkjøpspris og kreve minst mulig vedlikehold.

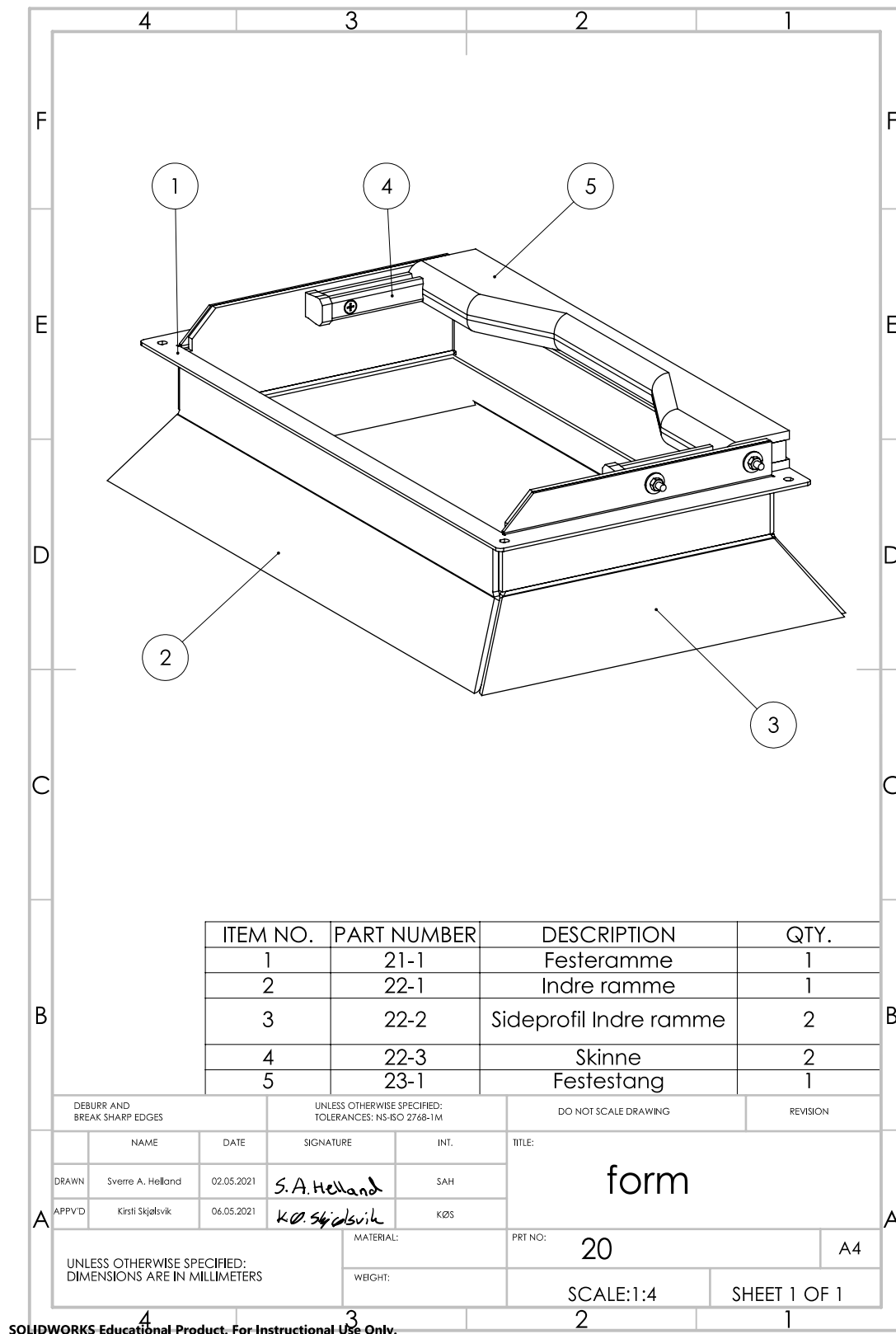
Valget falt på et sylindrisk rullelager fordi det imøtekommer krav til funksjon. Beregning av lager er omfattende for kun å se på en trinse med svært små belastninger. Derfor ble det valgt å ikke gjøre beregninger på dette. På markedet vil det være et godt nok utvalg av rullelager som imøtekommer kravene med god margin.

Noen av fordelene ved valg av et rullingslager fremfor et glidelager er lav startmotstand og mindre kraftforbruk. Friksjonsmotstanden i et rullingslager er halvparten eller mindre av friksjonsmotstanden i et glidelager. Det er større driftssikkerhet hos et rullingslager, samtidig som de er mer plassbesparende. Driften av disse er mindre omfattende med minimalt forbruk av smøremiddel og de har lange smøreintervaller, større renslighet og er lette å skifte ut.

## Vedlegg 5: Materialliste

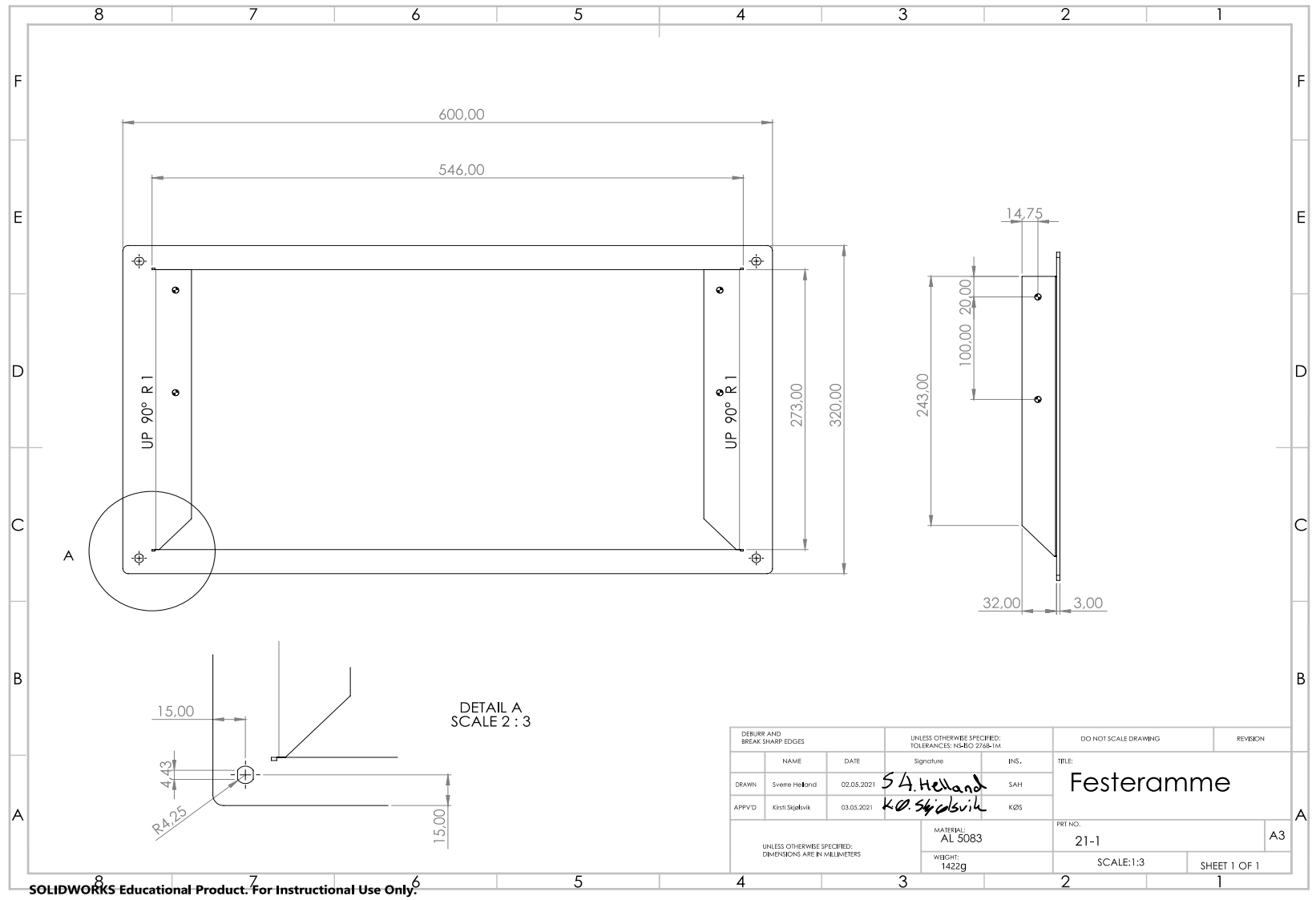
Serie	Navn	Del nr	antall	Material
<b>10 - Hovedsammenstilling</b>				
	Form	20	1	N/A
	Kabeltrommel	30	1	N/A
	Trinse	40	1	N/A
<b>20 - form</b>				
21	Festeramme	21-1	1	AL 5083
	Lift and turn handle	21-2	4	AISI 316
22	Indre ramme	22-1	1	ABS
	Sideprofil Indre ramme	22-2	2	ABS
	Skinne	22-3	2	PTFE
	Fenderlist	22-4	1	Gummi
23	Festestang	23-1	1	5083
	Brakett festestang	23-2	1	Iron Steel
	Fenderbeskyttelse	23-3	1	Gummi
24	Lineær aktuator IP67M	24-1	1	N/A
	brakett lineær aktuator	24-2	1	Iron Steel
<b>30 – Elektrisk kabeltrommel</b>				
31	Stativ	31-1	1	AL 5083
32	T34-2rommel	32-1	1	Polykarbonat
	Aksling trommel	32-2	1	AISI 316
	Fotlager 1	32-3	2	N/A
	Tannhjul 1 Ø 20/37,5	32-4	1	POM
33	Motor	33-1	1	N/A
	Reim	33-2	1	Armert gummi
	Sadel	33-3	2	AISI 316
	Tannhjul 2 Ø 16/37,5	33-4	1	POM
34	Level winder screw	34-1	1	AISI 316
	Fotlager 2	34-2	2	N/A
	Førerblokk	34-3	1	AL 5083
	Tapp	34-4	1	AL 5083
	Støttestang	34-5	1	PTFE
	Tannhjul 3 Ø 17/25	34-6	1	POM
35	Deksel	35-1	1	Al 5083
<b>40 - trinse</b>				
41	Festeplate	41-1	1	AISI 316
42	Arm 1	42-1	1	AISI 316
	Arm 2	42-2	1	AISI 316
43	Trinsehjul	43-1	1	ABS
	lager	43-2	1	N/A
44	Aksel	44-1	1	AISI 316
45	Lås	45-1	1	AISI 316
	Pin	45-2	2	AISI 316

## Vedlegg 6: Maskintegninger



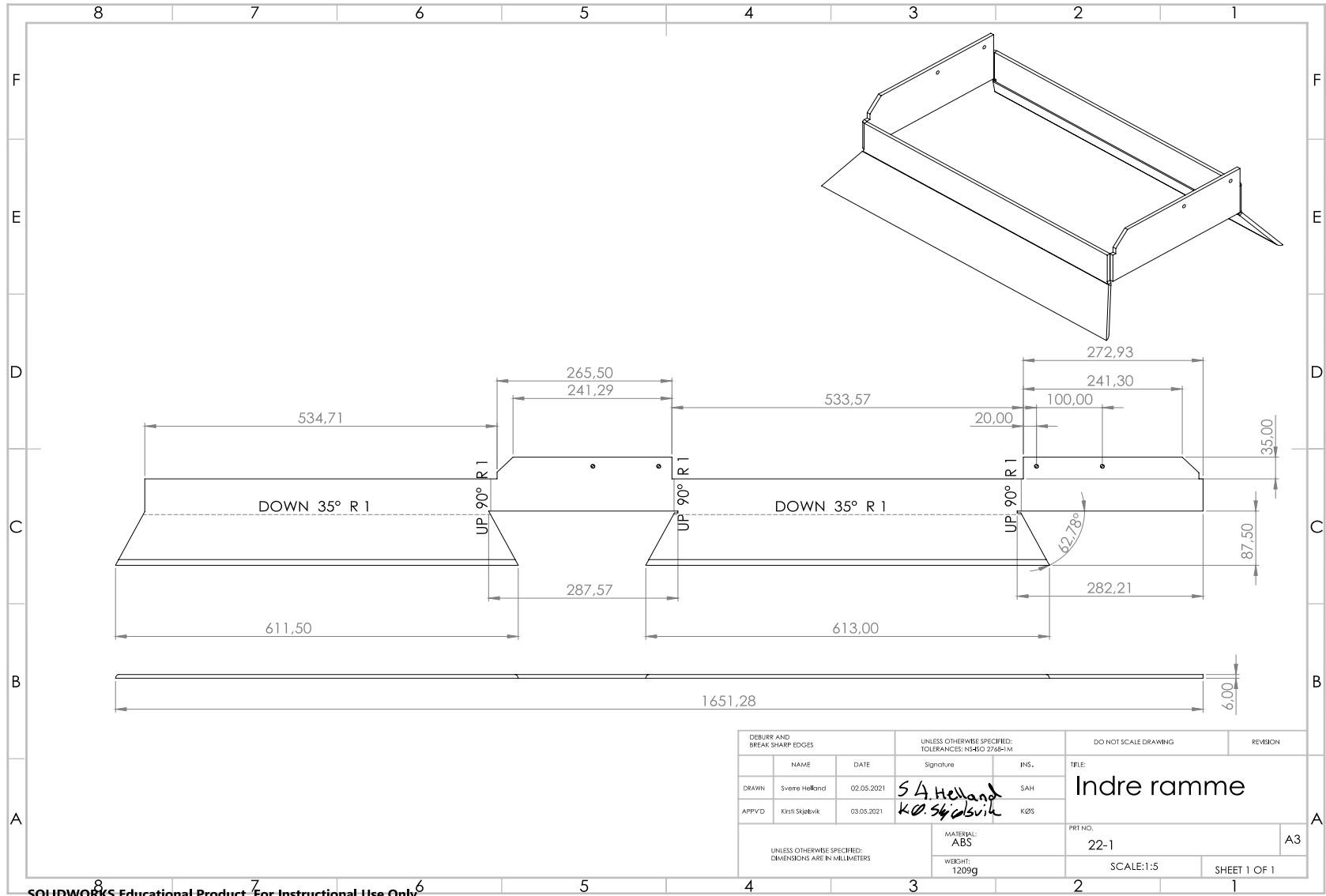
Maskintegning 1: Form, sammenstilling





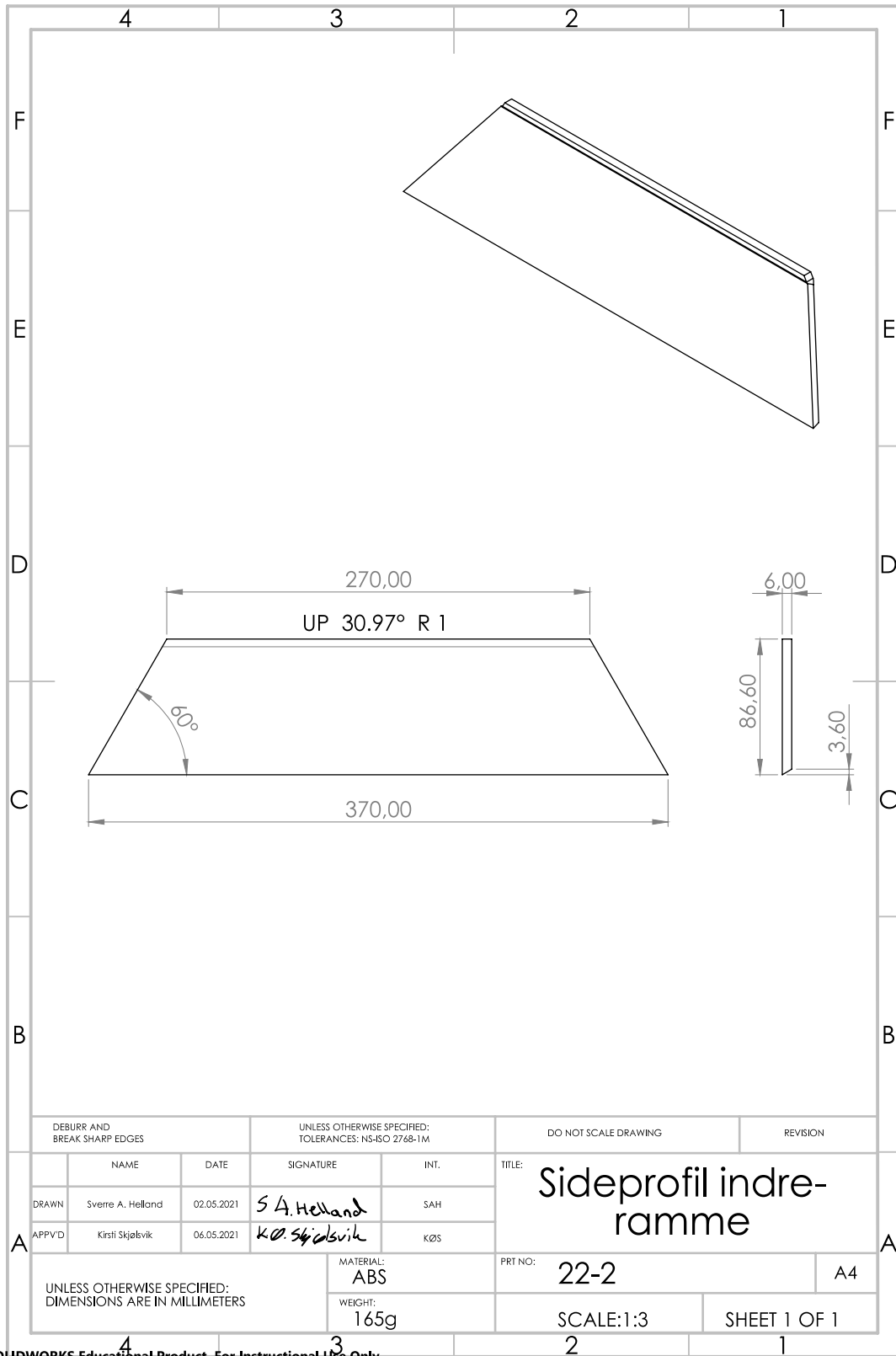
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 2: Festeramme

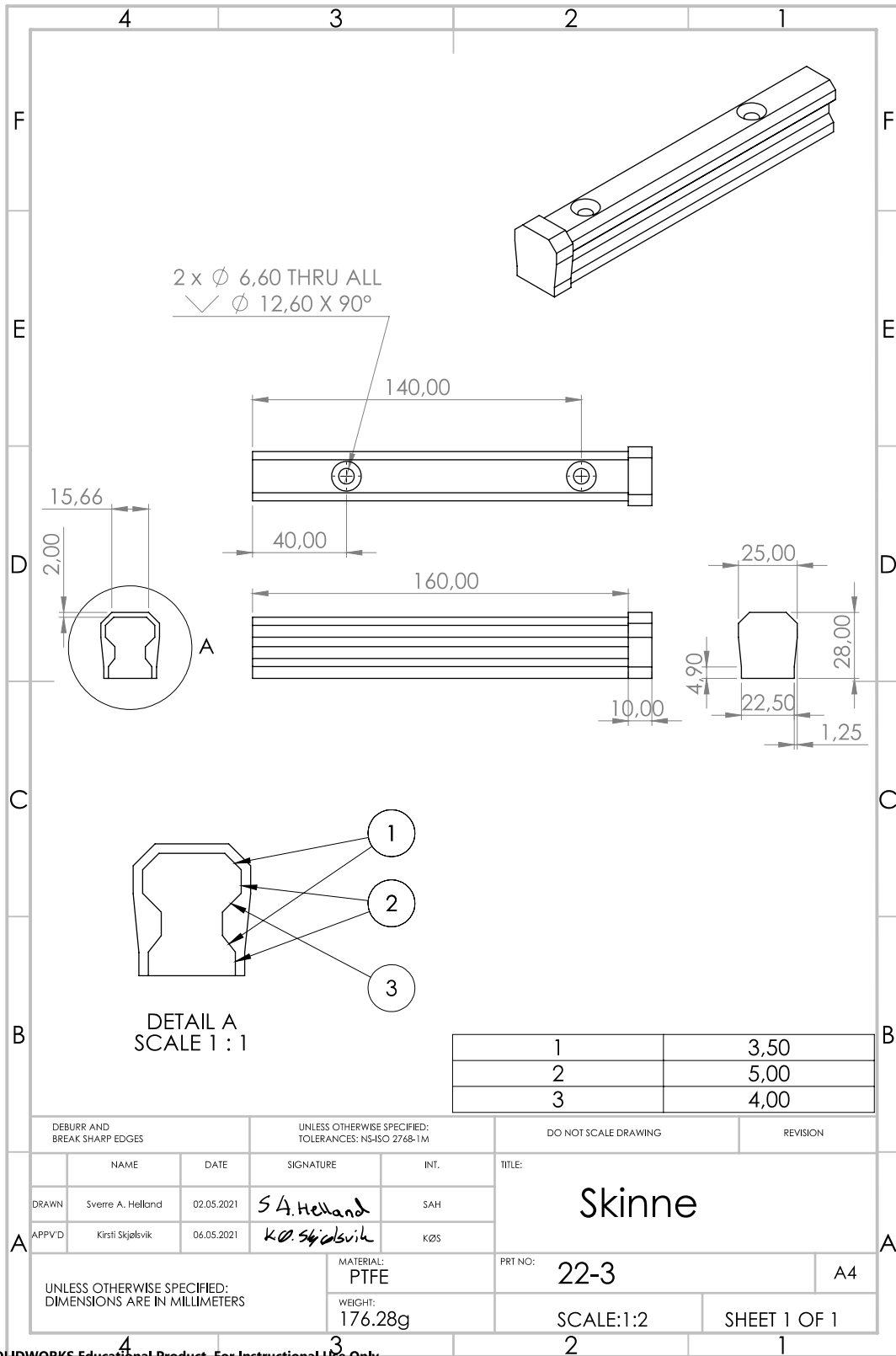


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 3: Indre ramme, del 1

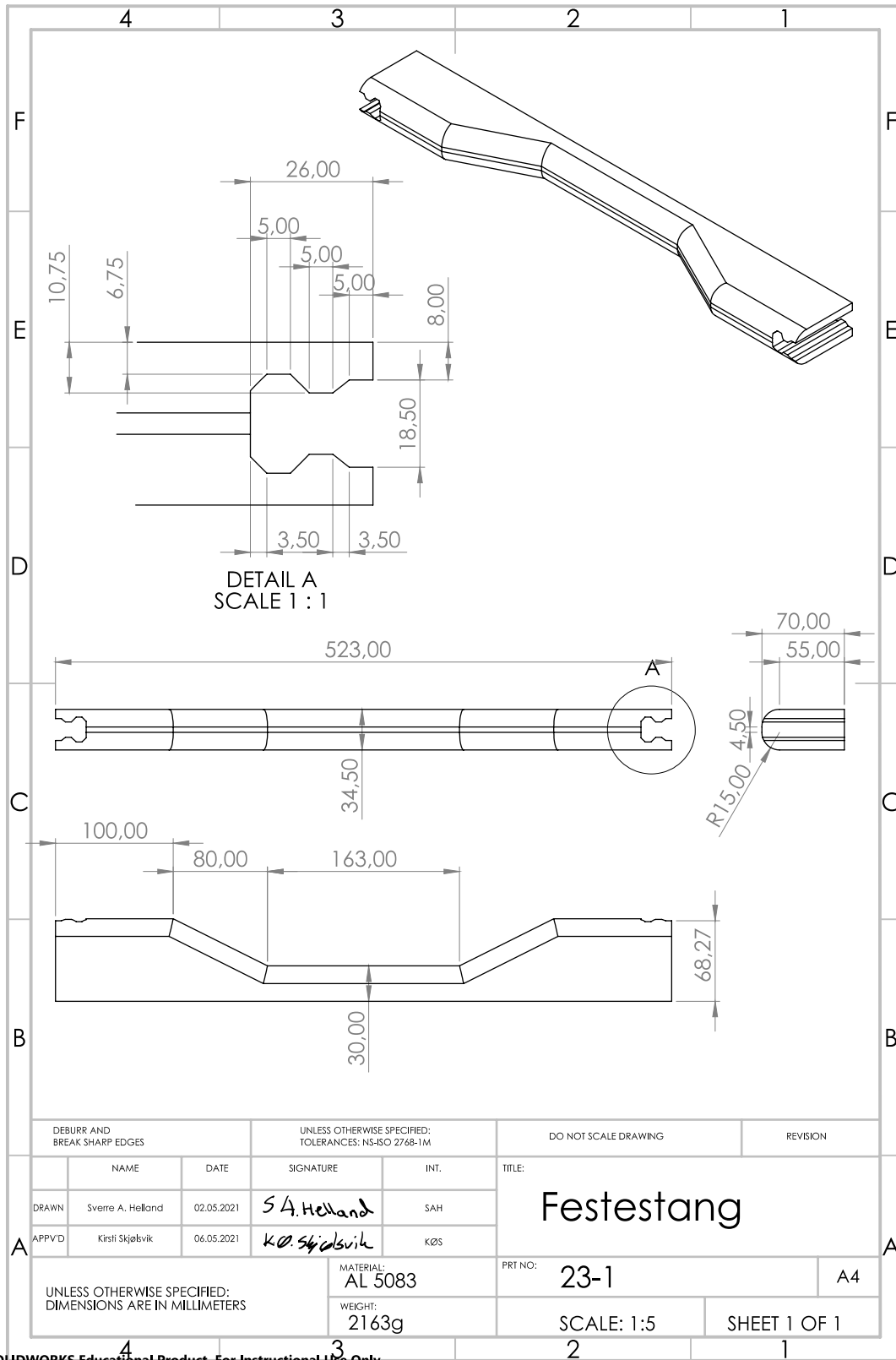


Maskintegning 4: Indre ramme, del 2



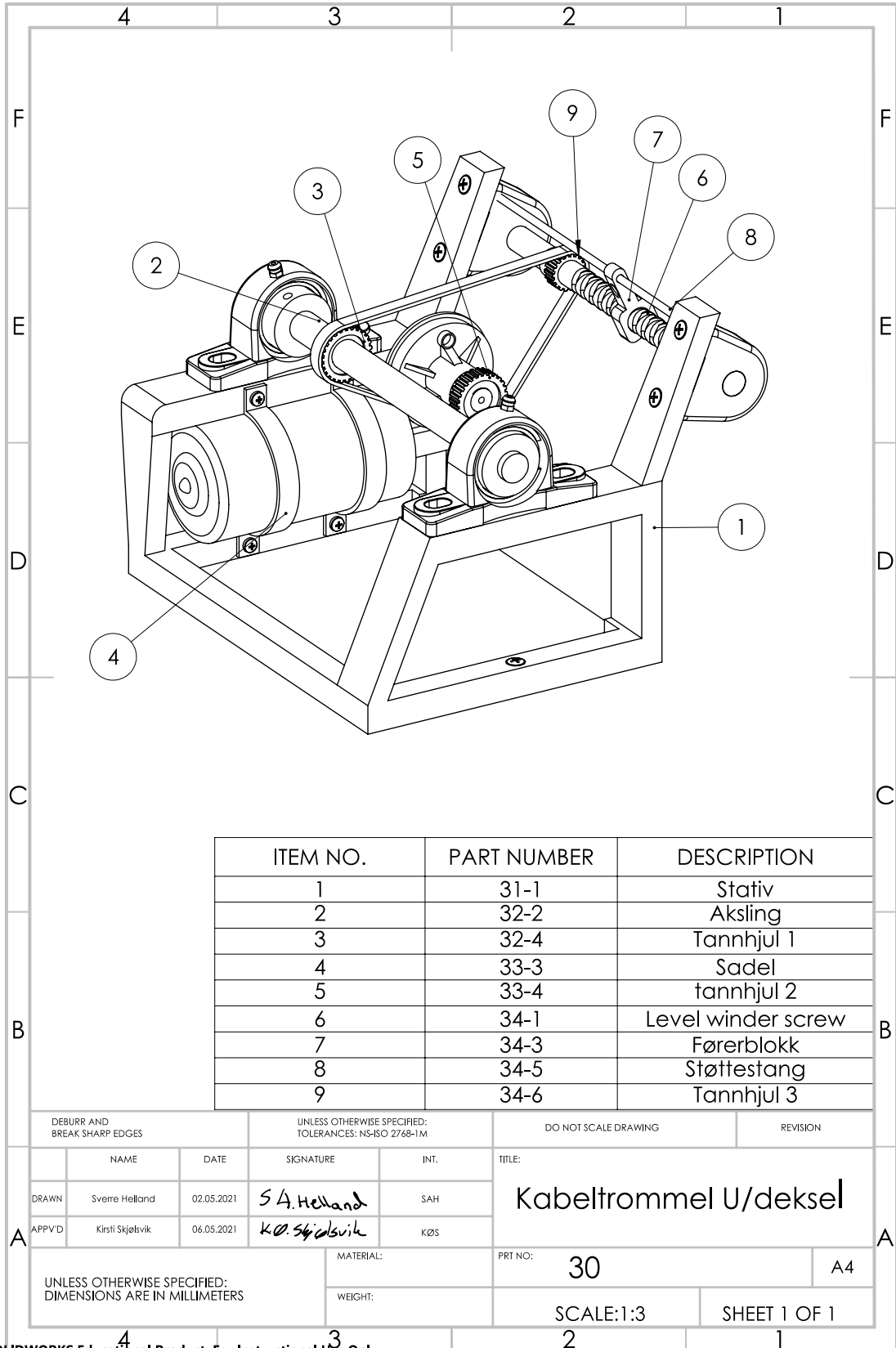
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 5: Skinne



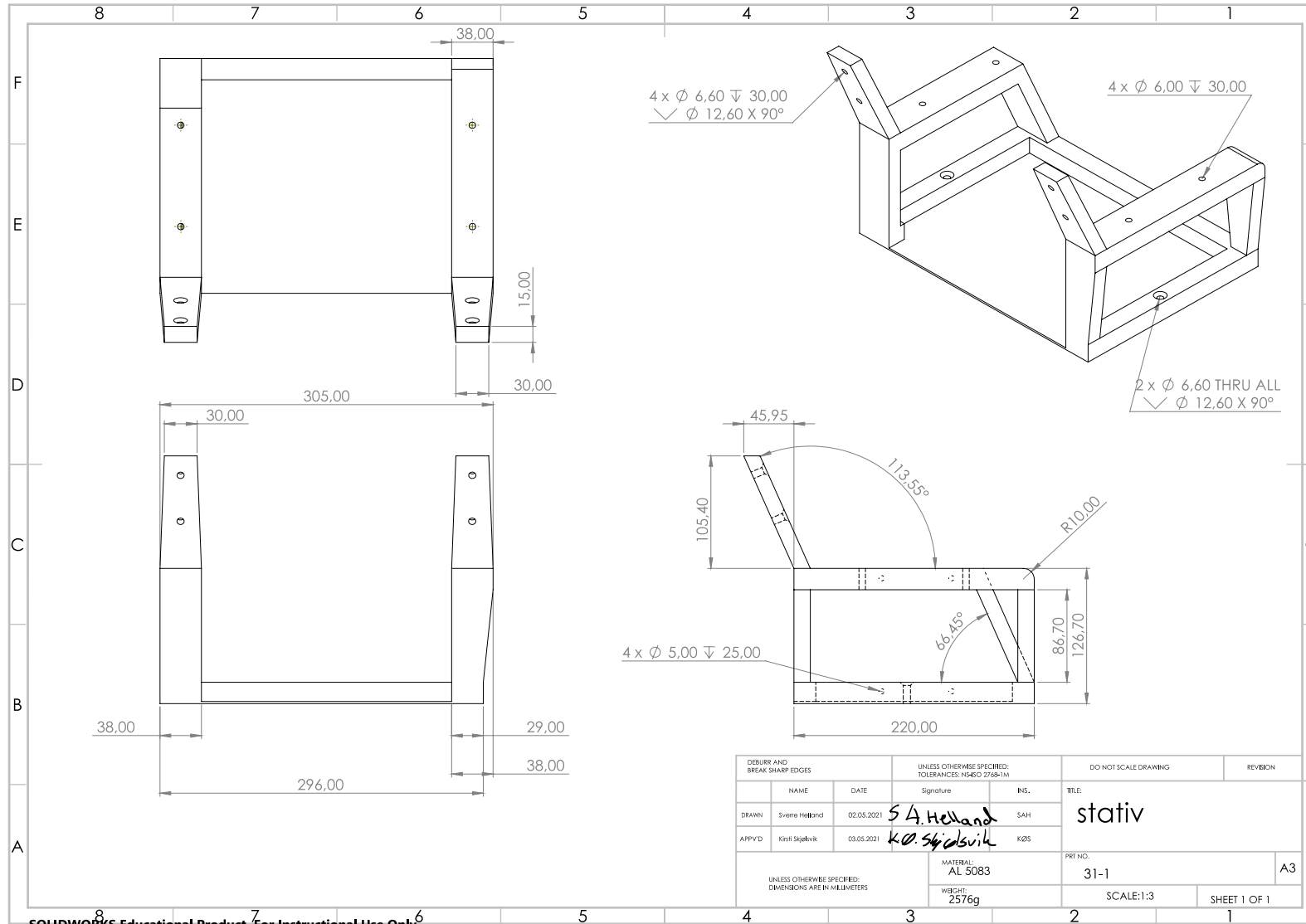
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 6: Festestang



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

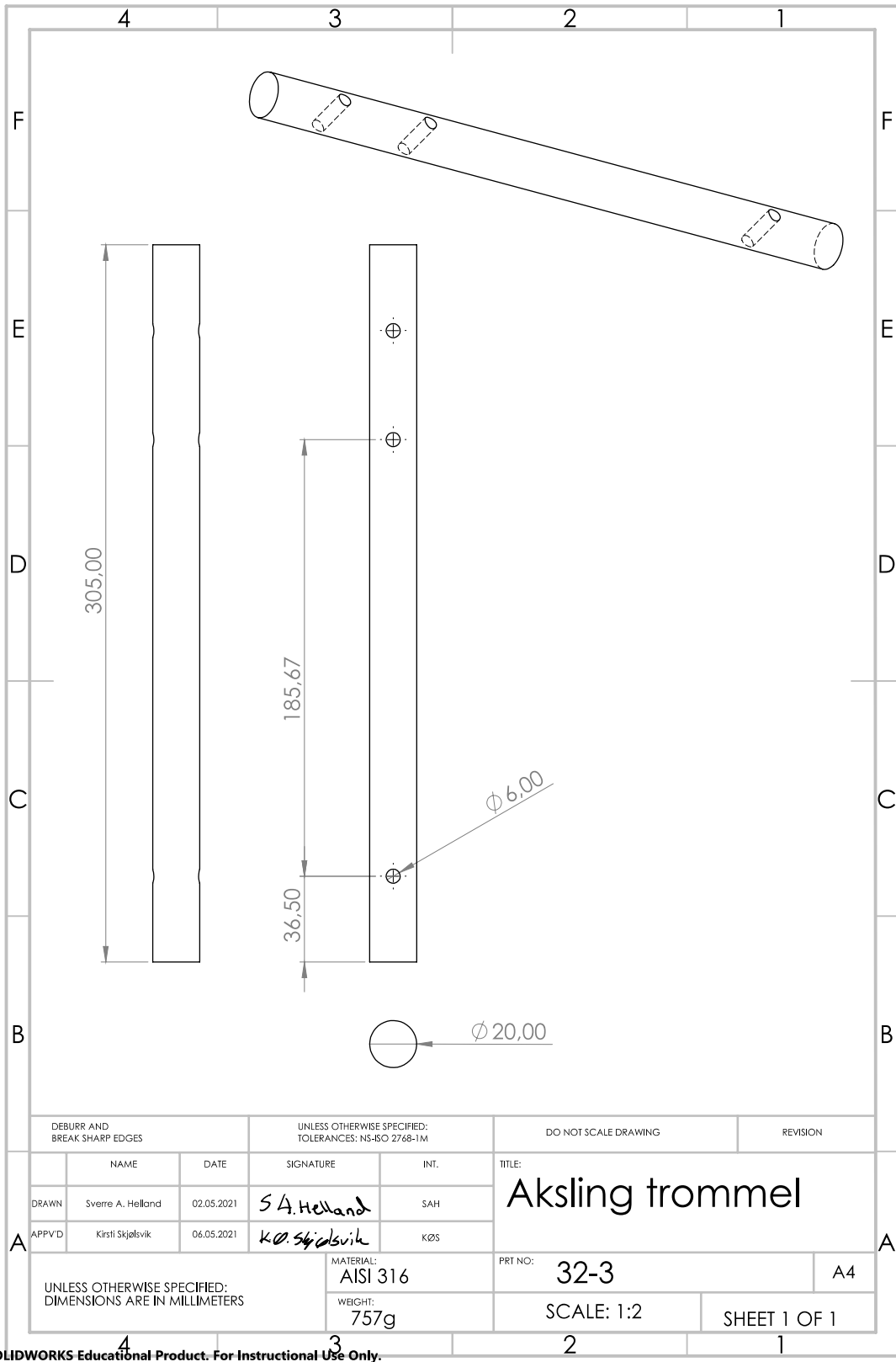
Maskintegning 7: Kabeltrommel u/deksel, sammenstilling



DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TOLERANCES: NS48C 2768-1M		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	DATE	Signature	INS.	TITLE:			
DRAWN: Sverre Høiland	02.05.2021	S.A. Helland	SAH	stativ			
APP'VD: Kristi Skjeltvik	03.05.2021	K.O. Skjeltvik	KØS	PRT NO. 31-1			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			MATERIAL: AL 5083	SCALE: 1:3		SHEET 1 OF 1	
			WEIGHT: 2576g			A3	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 8: Stativ

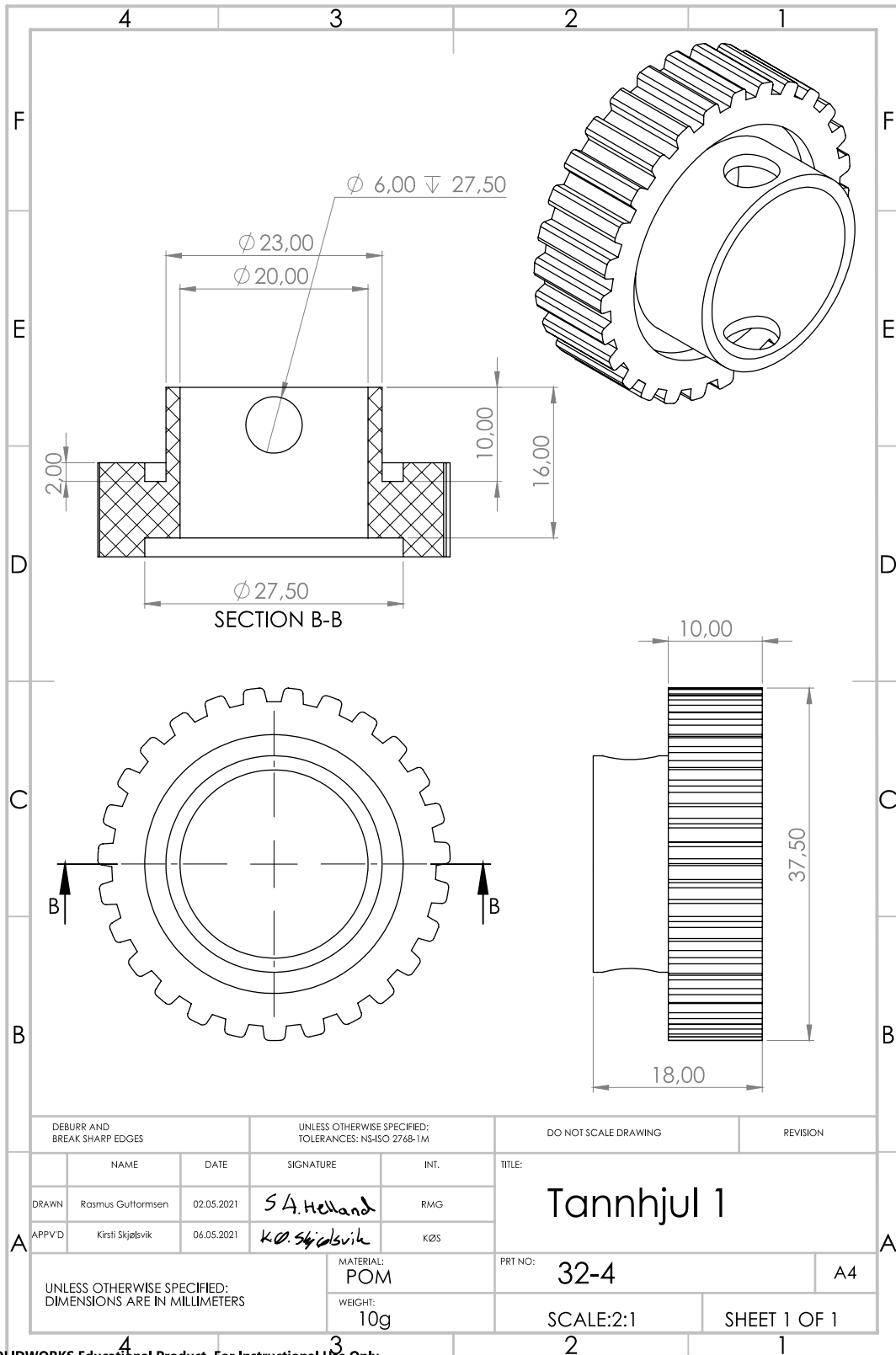


DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TOLERANCES: NS-ISO 2768-1M		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	DATE	SIGNATURE	INT.	TITLE:
DRAWN	Sverre A. Helland	02.05.2021	<i>S.A. Helland</i>	SAH	<b>Aksling trommel</b>
APPV'D	Kirsti Skjølsvik	06.05.2021	<i>K.Ø. Skjølsvik</i>	KØS	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			MATERIAL: AISI 316	PRT NO: 32-3	A4
			WEIGHT: 757g	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

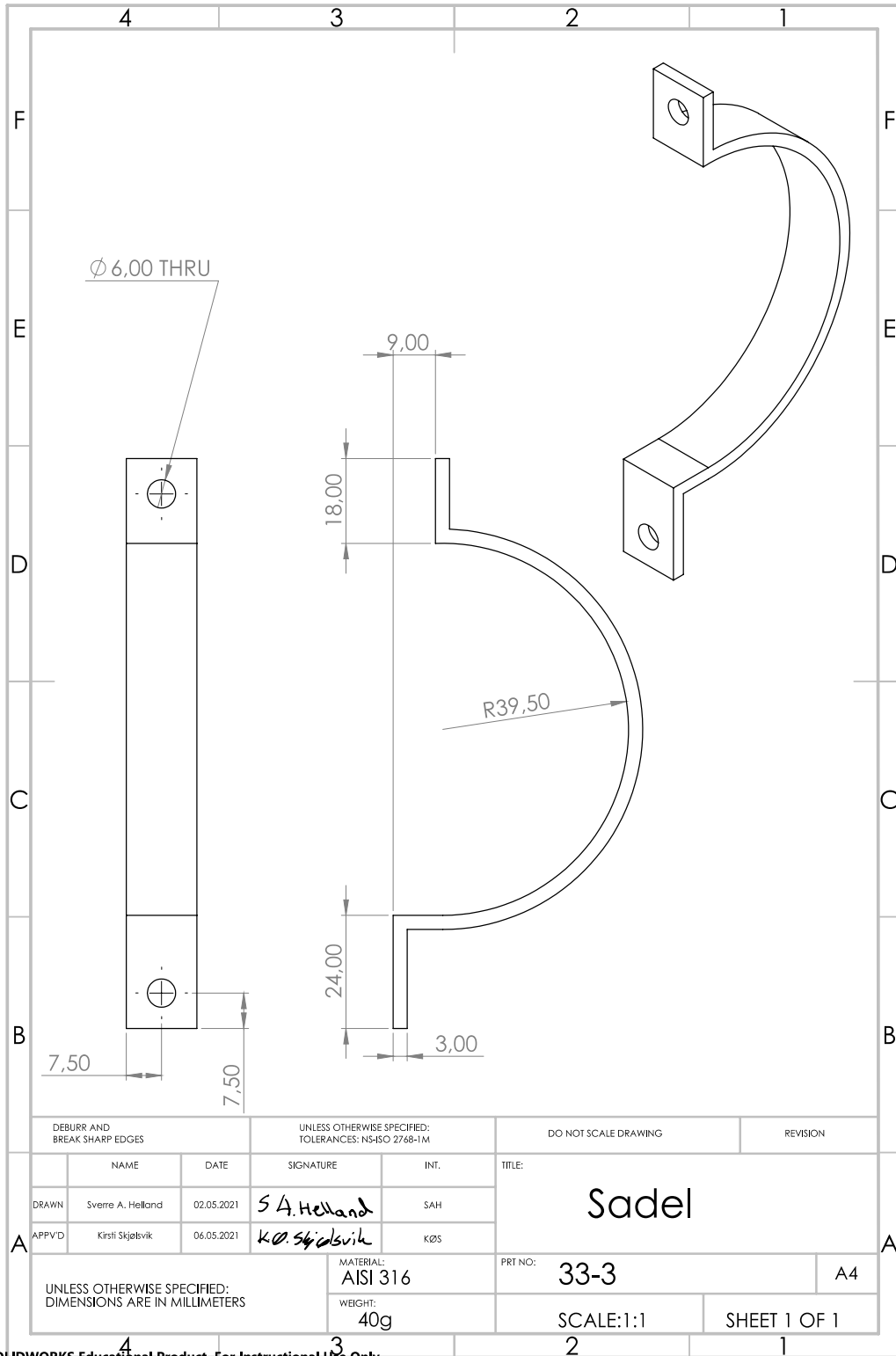
Maskintegning 9: Aksling kabeltrommel





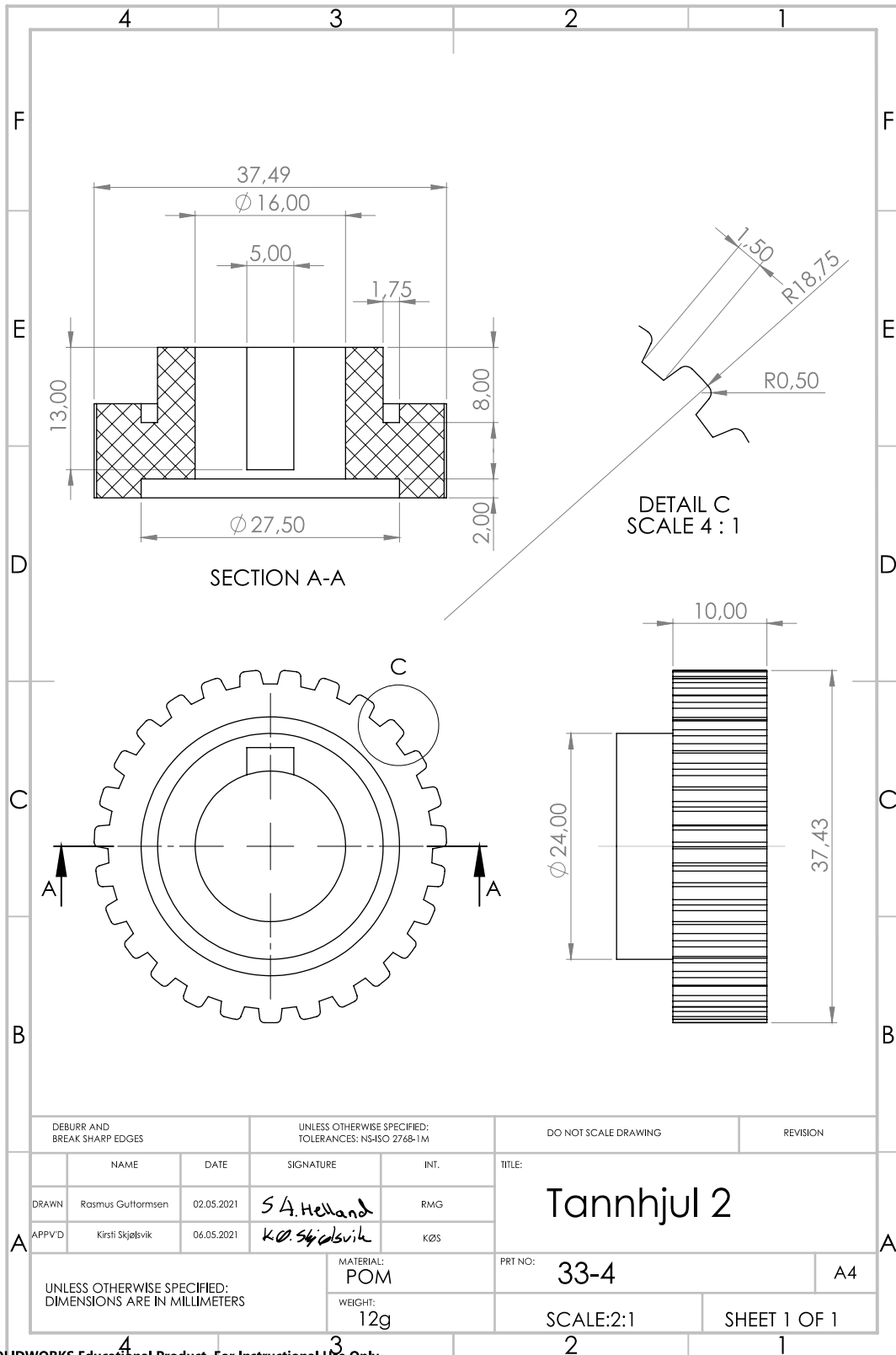
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 10: Tannhjul kabeltrommel



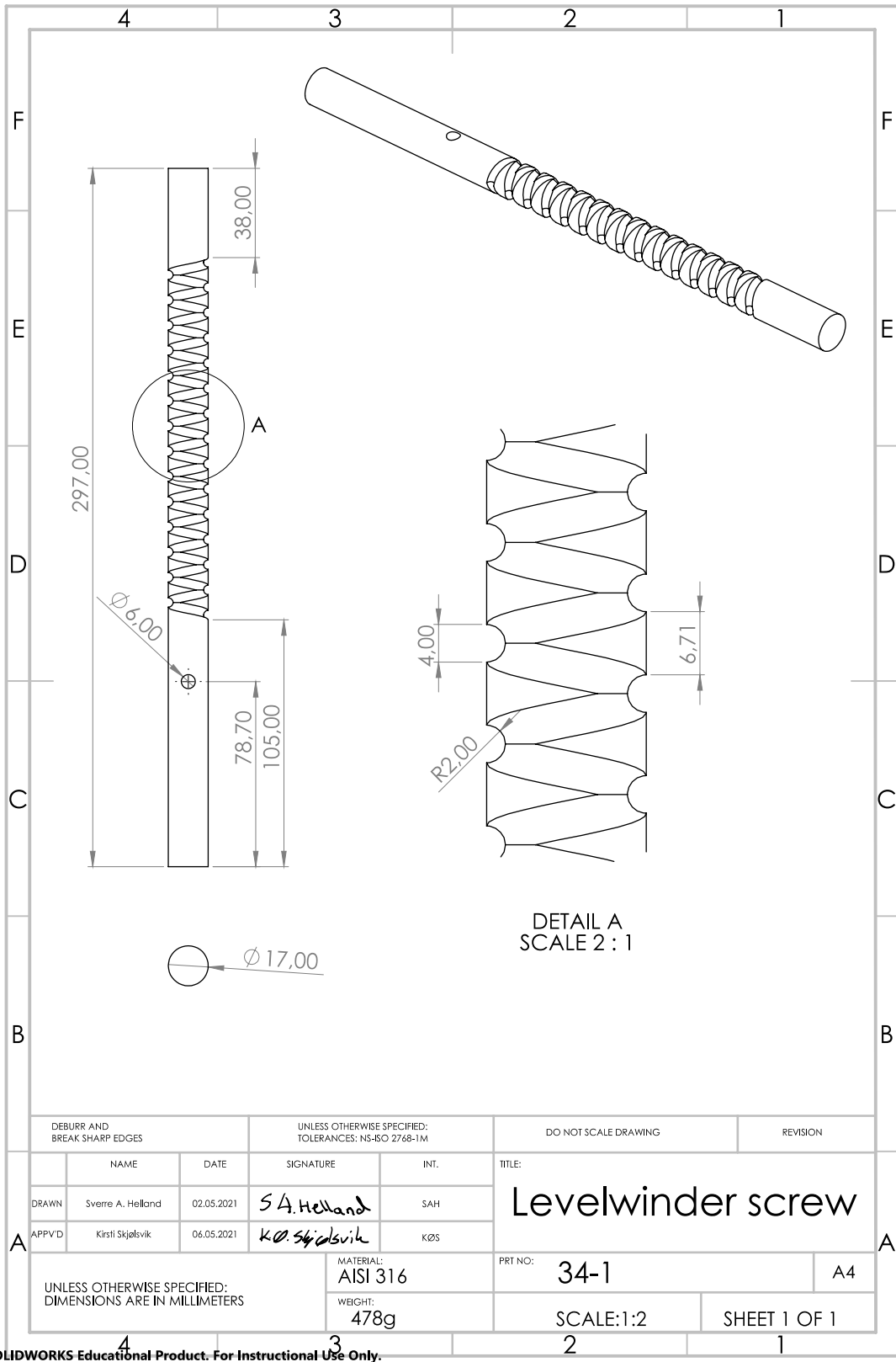
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 11: Sadel



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 12: Tannhjul motor

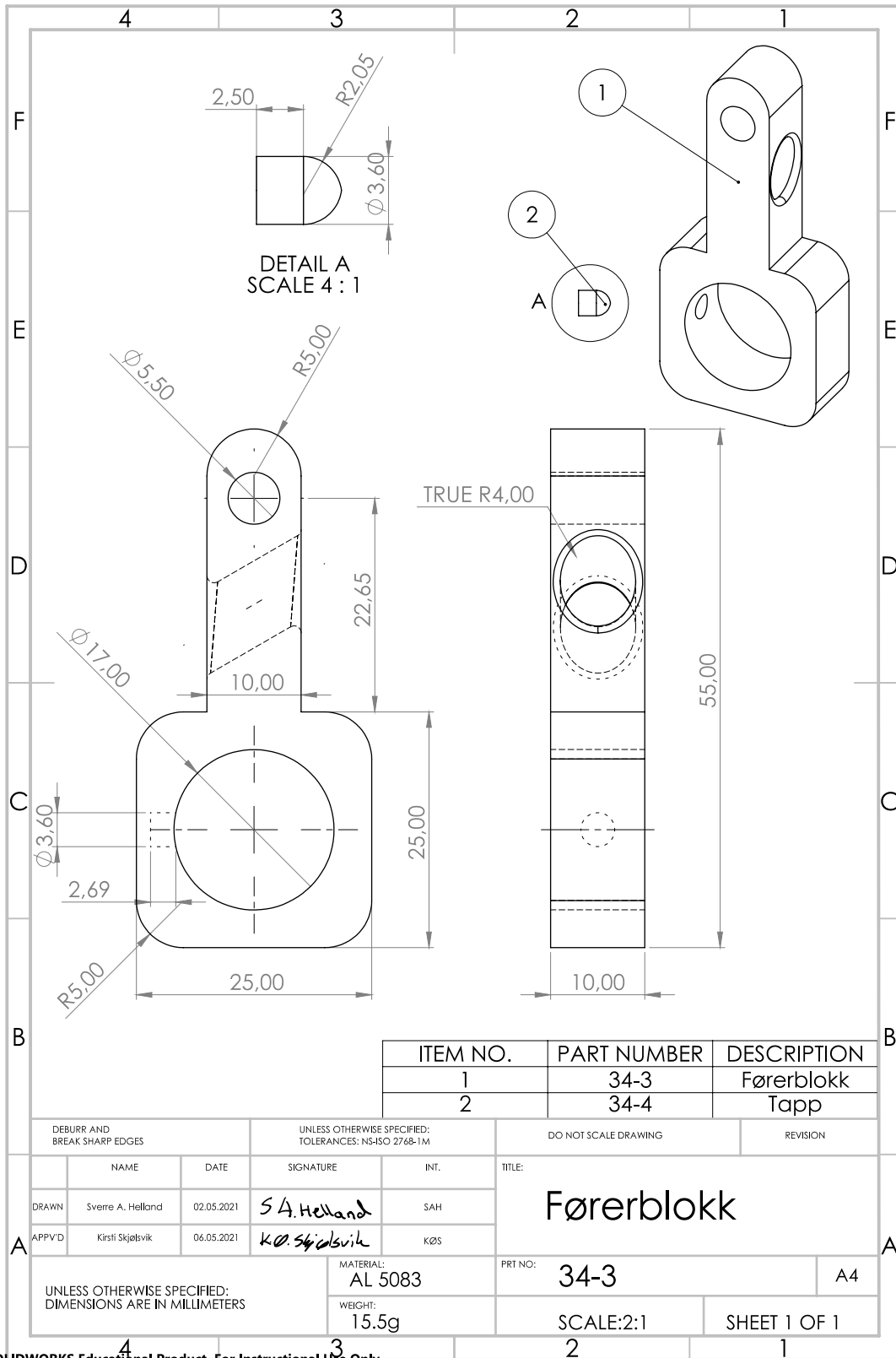


DETAIL A  
SCALE 2 : 1

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TOLERANCES: NS-ISO 2768-1M		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	DATE	SIGNATURE	INT.	TITLE:
DRAWN	Sverre A. Helland	02.05.2021	<i>S.A. Helland</i>	SAH	Levelwinder screw
APPV'D	Kirsti Skjølsvik	06.05.2021	<i>K.Ø. Skjølsvik</i>	KØS	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			MATERIAL: AISI 316	PRT NO: 34-1	A4
			WEIGHT: 478g	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

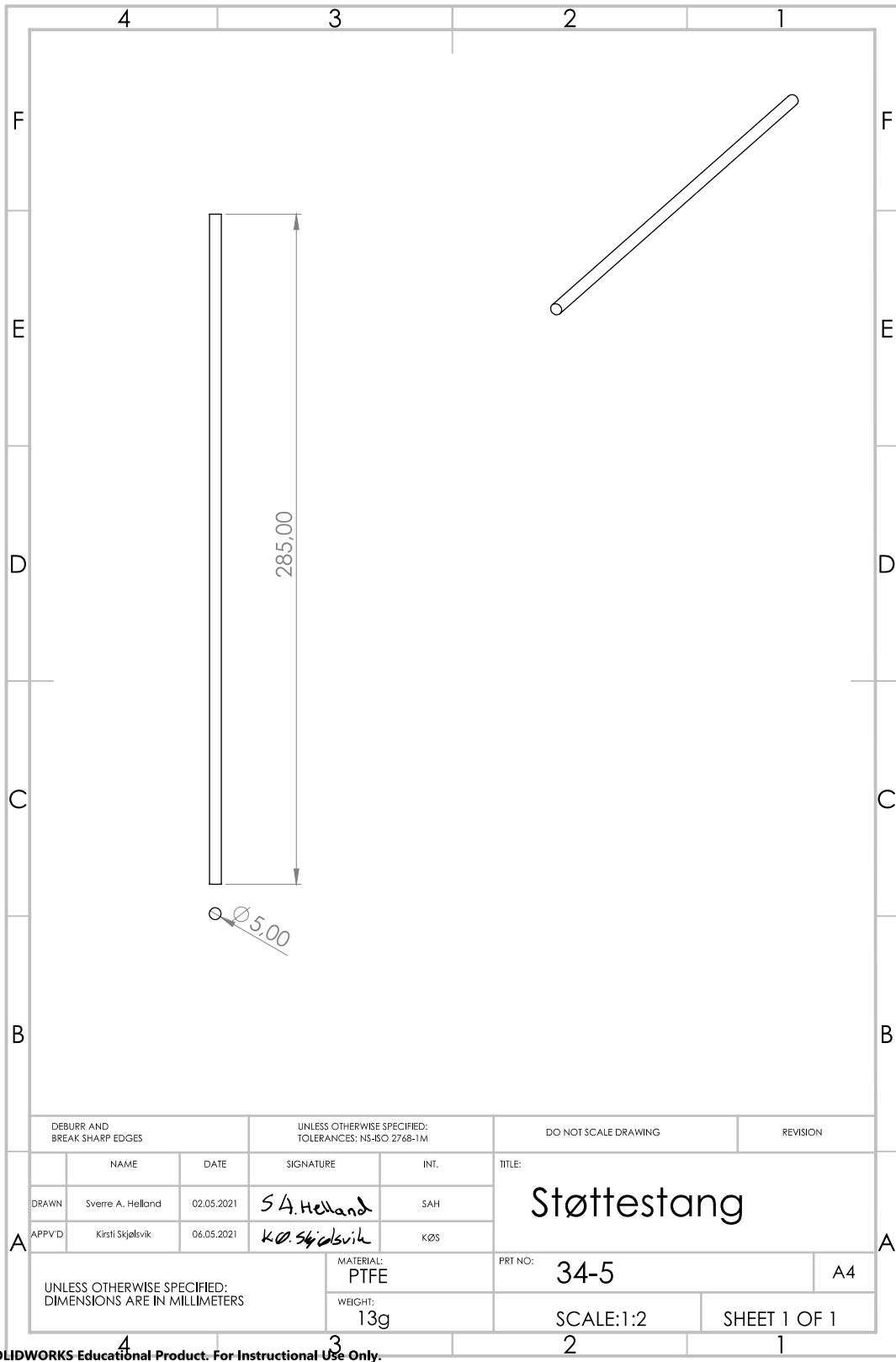
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 13: Levelwinder screw



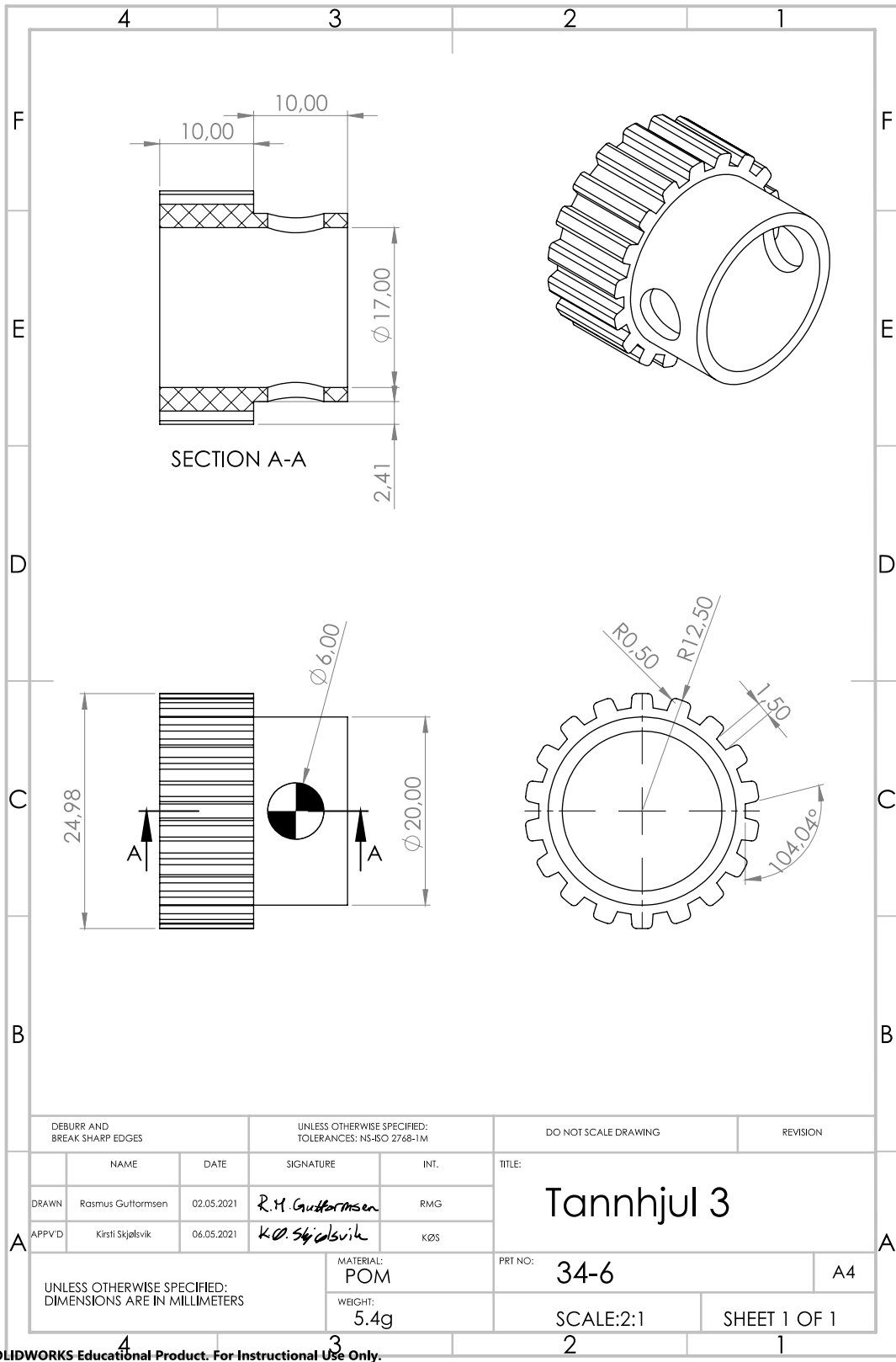
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 14: Førerblokk og tapp



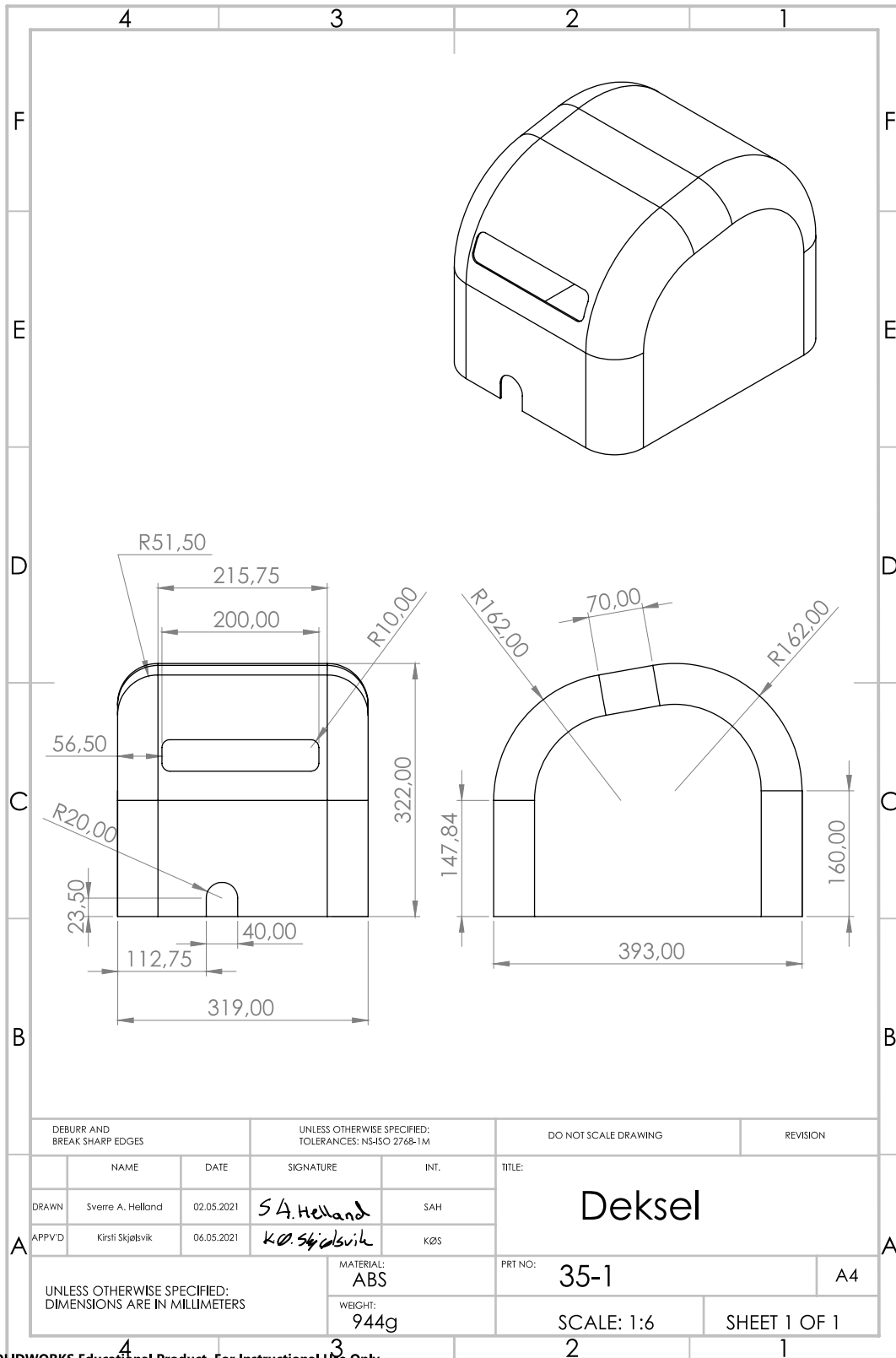
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 15: Støttestang



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

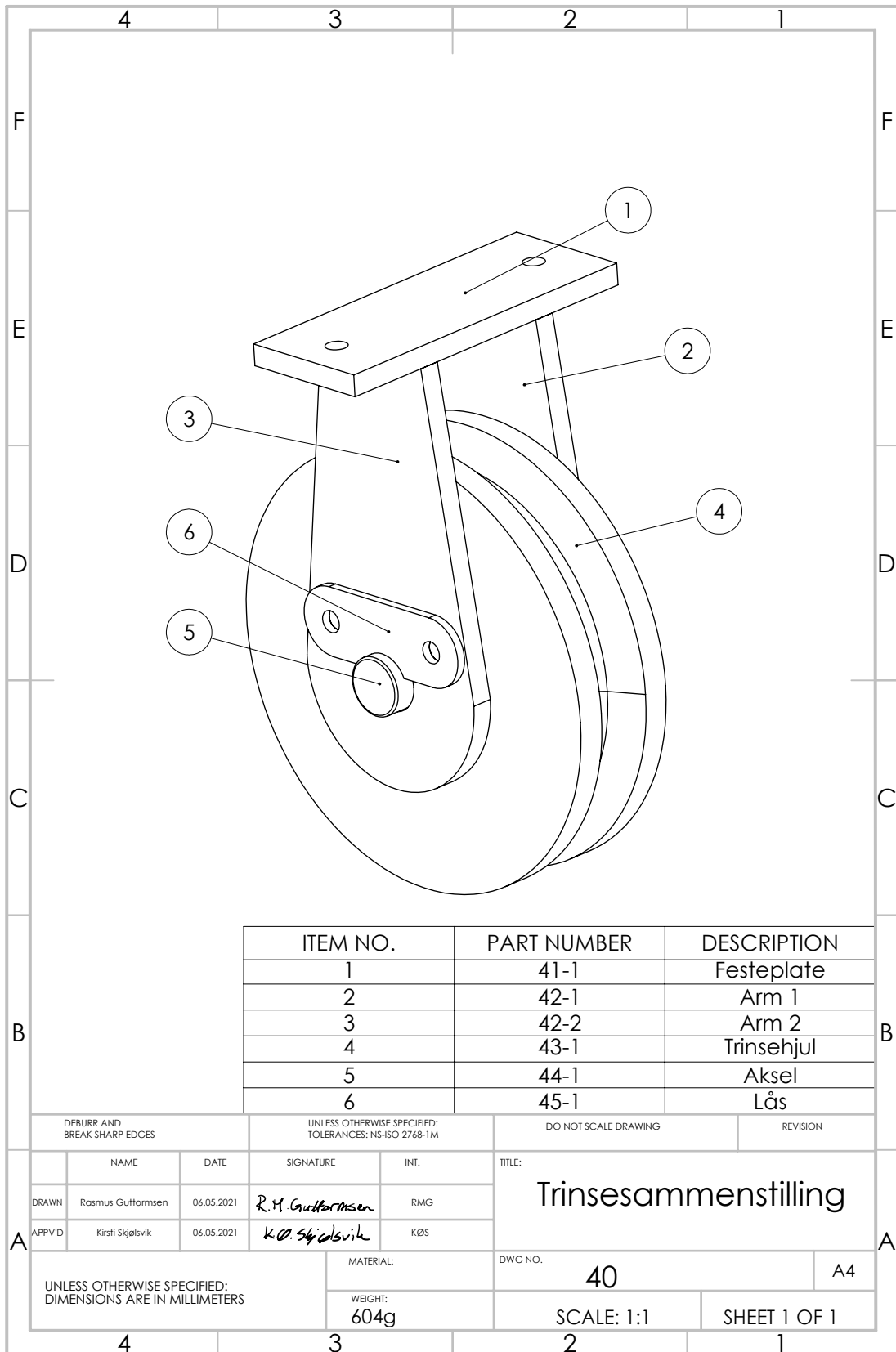
Maskintegning 16: Tannhjul kabelfører



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Maskintegning 17: Deksel

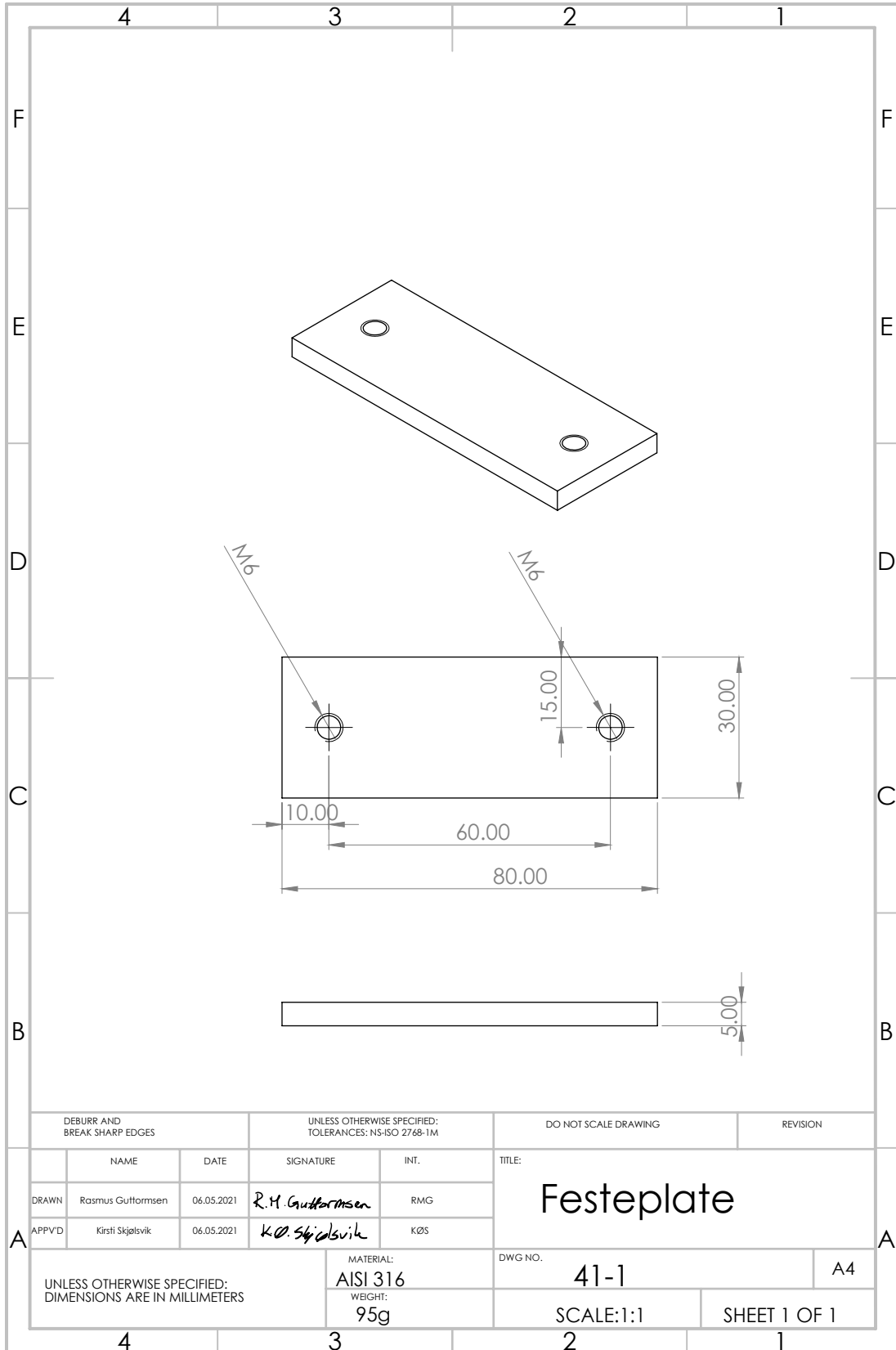




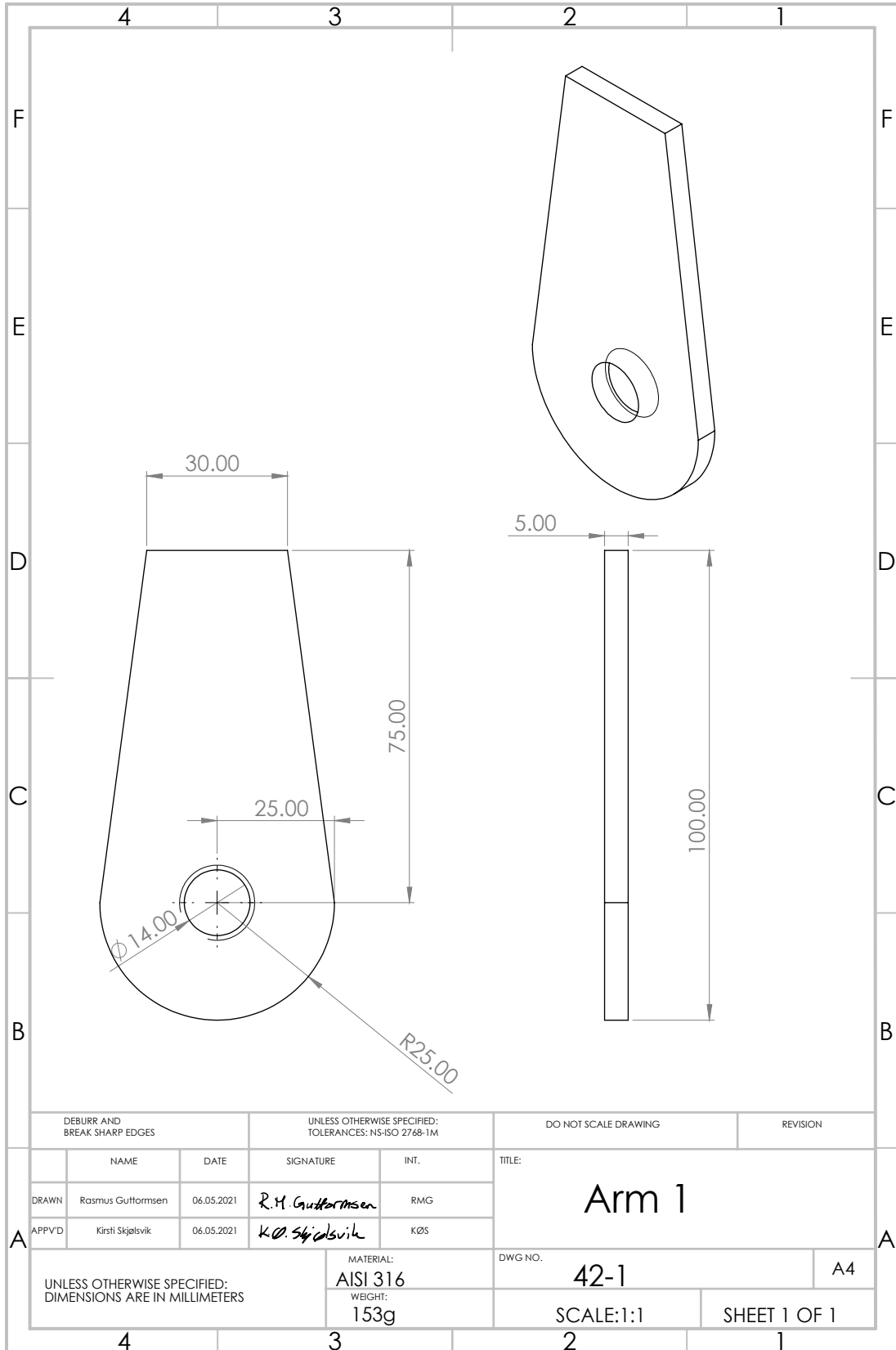
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	41-1	Festeplate
2	42-1	Arm 1
3	42-2	Arm 2
4	43-1	Trinsehjul
5	44-1	Aksel
6	45-1	Lås

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TOLERANCES: NS-ISO 2768-1M		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		DATE		SIGNATURE		INT.	
DRAWN		Rasmus Guttormsen		06.05.2021		R.H. Guttormsen	
APPVD		Kirsti Skjølsvik		06.05.2021		K.S. Skjølsvik	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				MATERIAL:		DWG NO. 40	
				WEIGHT: 604g		SCALE: 1:1	
						SHEET 1 OF 1	

Maskintegning 18: Trinse, sammenstilling

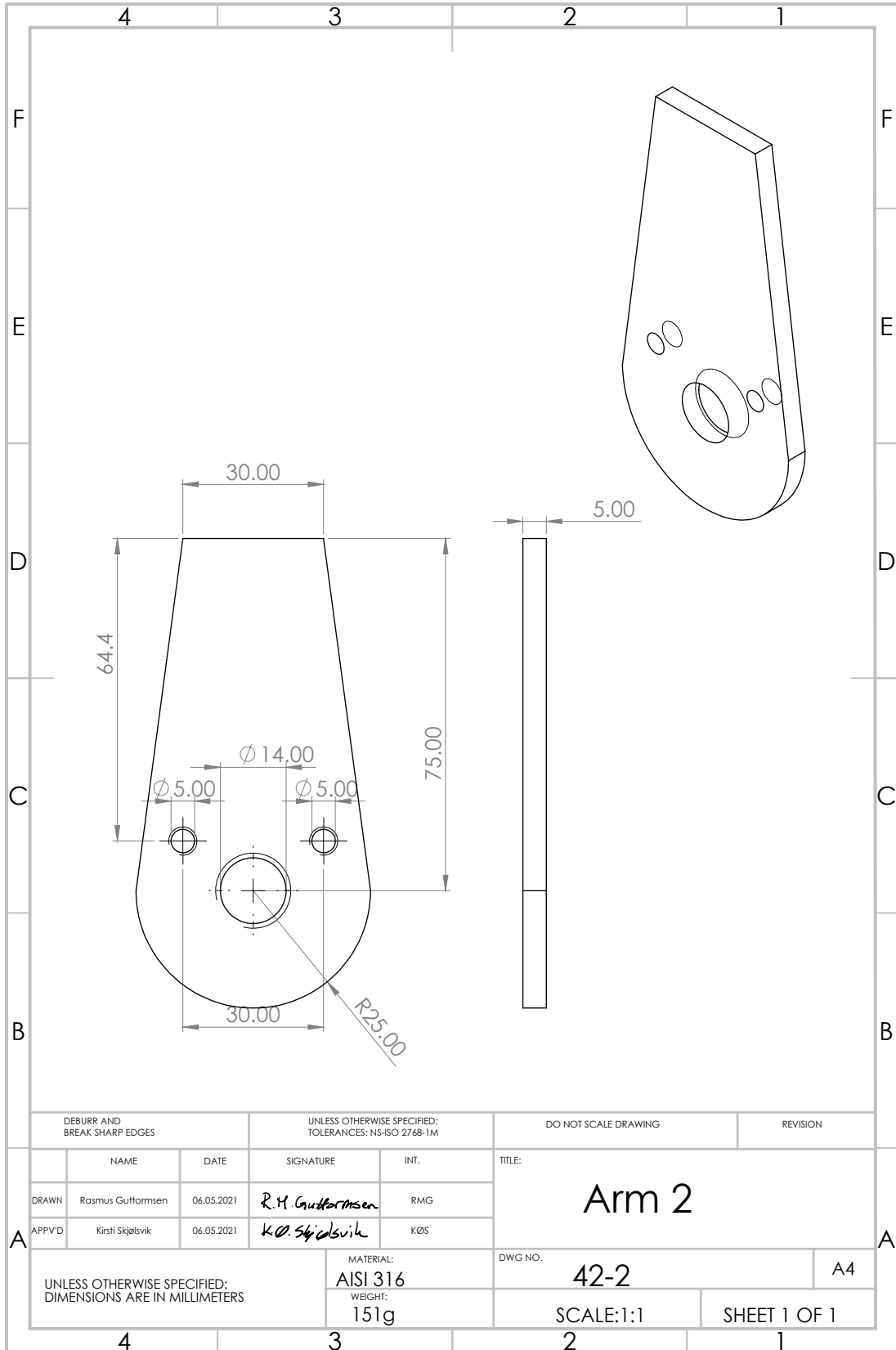


Maskintegning 19: Festeplate

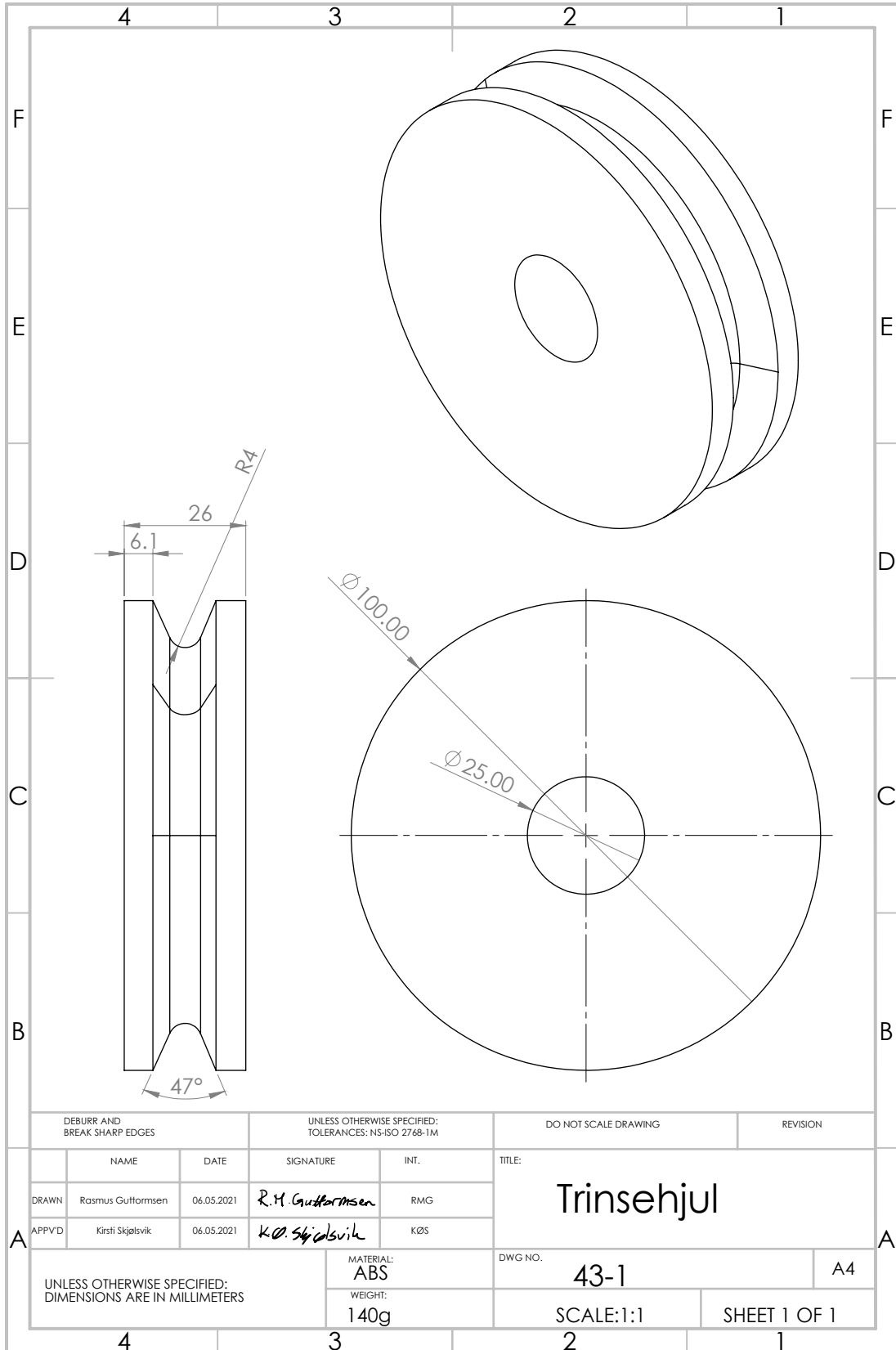


DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TOLERANCES: NS-ISO 2768-1M		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	DATE	SIGNATURE	INT.	TITLE:
DRAWN	Rasmus Gutformsen	06.05.2021	<i>R.H. Gutformsen</i>	RMG	Arm 1
APPV'D	Kirsti Skjølsvik	06.05.2021	<i>K.O. Skjølsvik</i>	KØS	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			MATERIAL: AISI 316	DWG NO. 42-1	A4
			WEIGHT: 153g	SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1

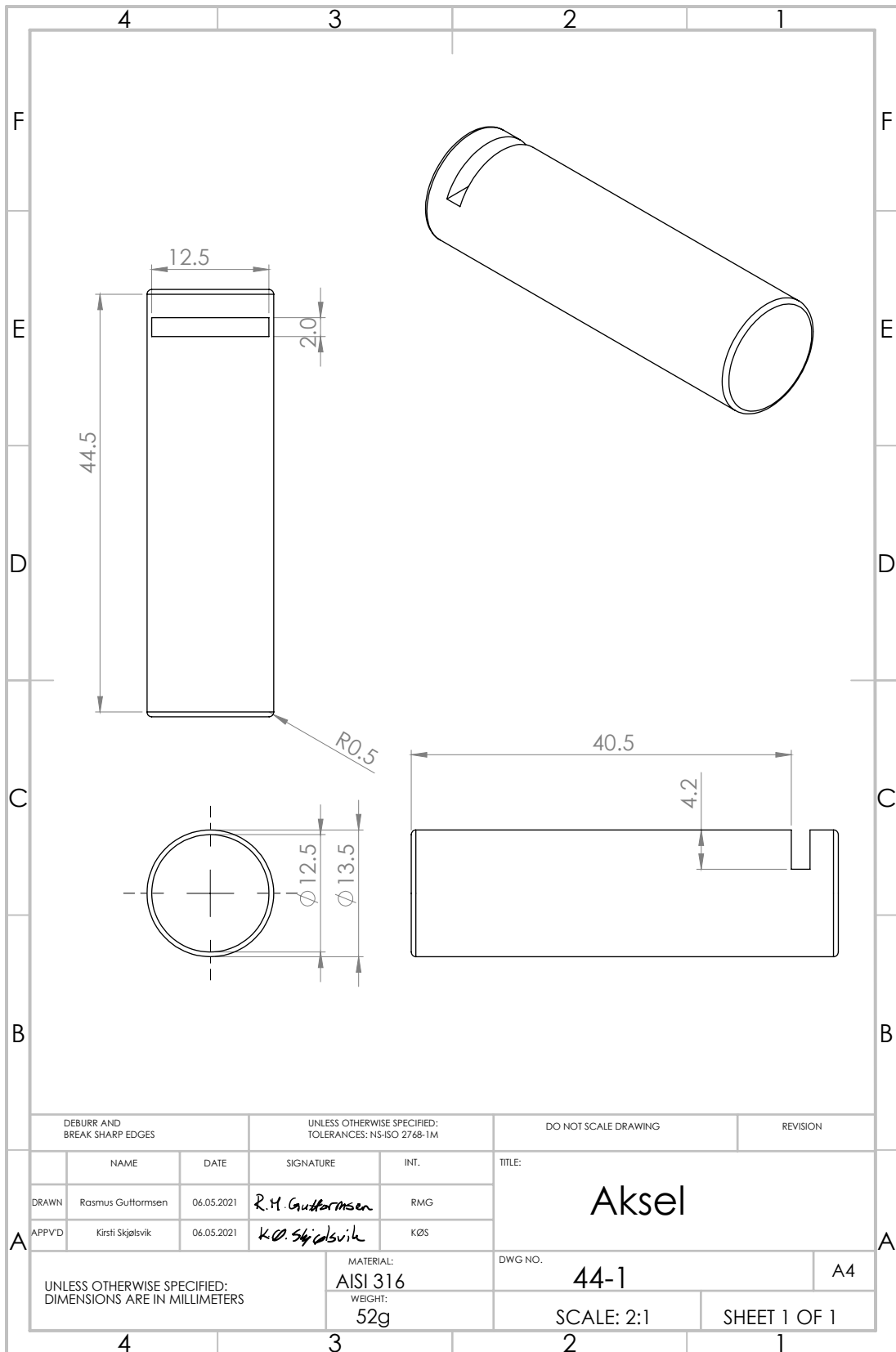
Maskintegning 20: Trinsearm



Maskintegning 21: Trinsearm m/lås

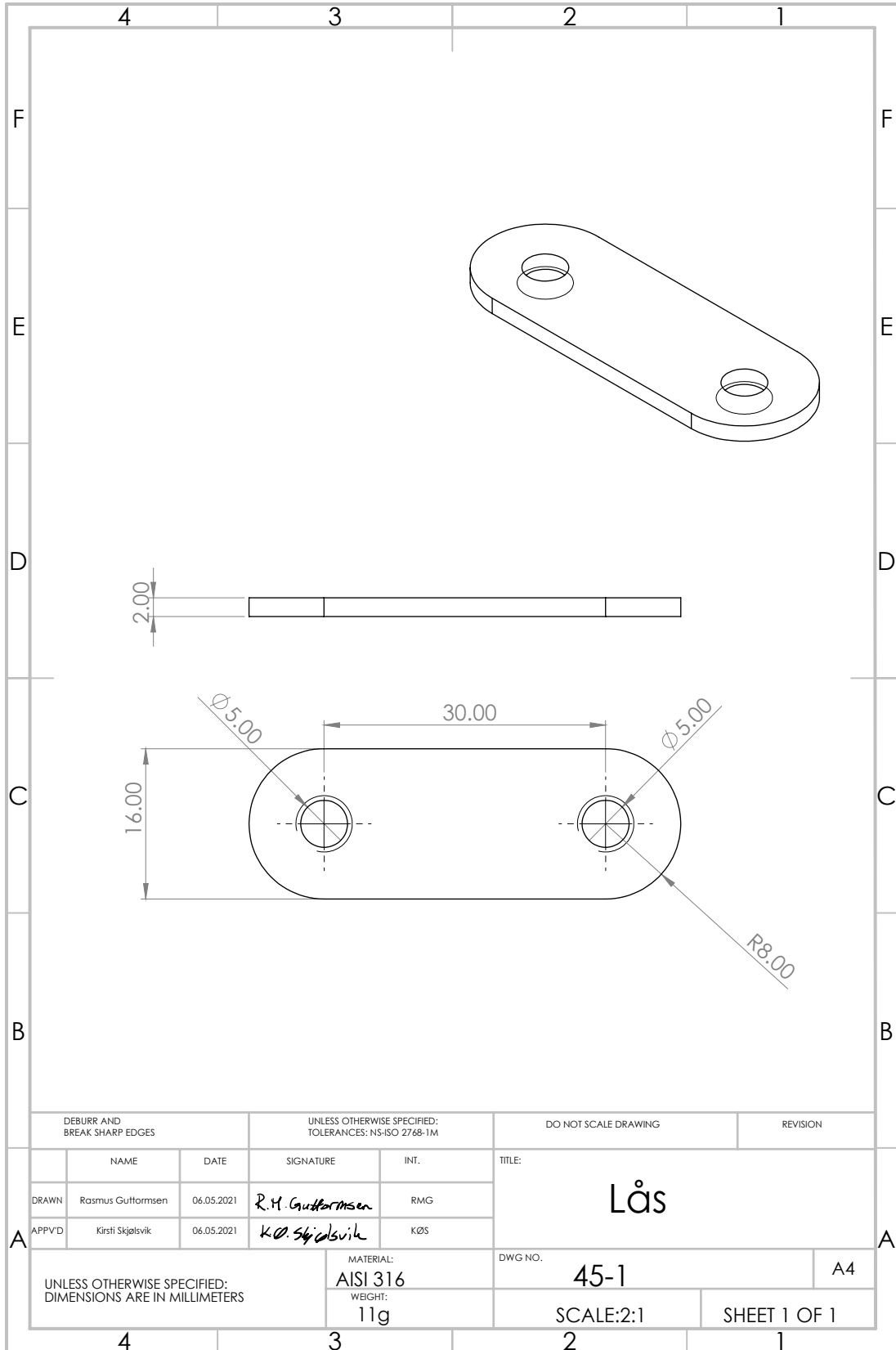


Maskintegning 22: Trinsehjul



DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TOLERANCES: NS-ISO 2768-1M		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	DATE	SIGNATURE	INT.	TITLE:
DRAWN	Rasmus Gutformsen	06.05.2021	<i>R.H. Gutformsen</i>	RMG	Aksel
APPV'D	Kirsti Skjølsvik	06.05.2021	<i>K. Skjølsvik</i>	KØS	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			MATERIAL: AISI 316	DWG NO. 44-1	A4
			WEIGHT: 52g	SCALE: 2:1	SHEET 1 OF 1

Maskintegning 23: Trinseksel



Maskintegning 24: Lås

