

# Sensur av hovedoppgaver

Universitetet i Sørøst-Norge

Fakultet for teknologi og maritime fag



Prosjektnummer: **2018-06**

For studieåret: **2017/2018**

Emnekode: **SFHO3201-1 17H Bacheloroppgave**

## Prosjektnavn

HS RoboTrim 2018

HS RoboTrim 2018

**Utført i samarbeid med:** Tronrud Engineering

**Ekstern veileder:** Øistein Røste

**Sammendrag:** RoboTrim er et system for robotisert ettertrimming av melanin- og blodflekker på laksefileter. Laksefiletene kommer med en hastighet på 1m/s langs et rullebånd og passerer gjennom et ferdigutviklet deteksjonssystem. Prosjektoppgaven består av et mekanisk aksesystem, valgt elektrisk hardware, samt en simulering for styresystemet. Data fra deteksjonssystemet brukes for å beregne en bane for systemet og regulere motorer slik at en roterende kniv festet på et mekanisk kartesisk aksesystem kan skjære bort melaninflekker på laksefileter i bevegelse.

## Stikkord:

- Ettertrimming av laks
- Hygienisk design
- Høy akselerasjon

Tilgjengelig: JA

## Prosjekt deltagere og karakter:

Navn	Karakter
Erlend Helgerud	
Ole Anders Foss Reistad	
Per Anders Stadheim	
Thomas Saraby Vatile	
Sondre Lieblein Aronsen	
Øyvind Jia-Chen Åslie	

Dato: 8. Juni 2018

---

Kiran Bylappa Raja  
Intern Veileder

---

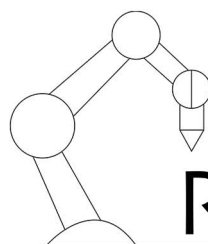
Karoline Moholth  
Intern Sensor

---

Erik Hjertaas  
Ekstern Sensor



ERLEND HELGERUD  
OLE ANDERS FOSS REISTAD  
PER ANDERS STADHEIM  
SONDRE LIEBLEIN ARONSEN  
THOMAS SARABY VATLE  
ØYVIND JIA-CHEN ÅSLIE



# RoboTrim

HOVEDDOKUMENTASJON <sup>2018</sup>  
UNIVERSITETET I SØRØST NORGE  
22. MAI, 2018

## VEILEDERE

KIRAN BYLAPPA RAJA, USN  
ØISTEIN RØSTE, TRONRUD ENGINEERING

## SENSORER

KAROLINE MOHOLTH, USN  
ERIK HJERTAAS, TRONRUD ENGINEERING

---

## Abstrakt

I 2017 var sjømatnæringen Norges nest største eksportnæring, hvor det totalt ble eksportert 2,6 millioner tonn sjømat. Med bakgrunn i publikasjonen ”*SINTEF Fiskeri og Havbruk*” foreligger det grunnlag til å påstå at lite av laksefisk foredles på norsk per dags dato, dette blant annet grunnet et høyt lønnsnivå. Av dette eksisterer det et behov i dagens marked: *et helautomatisert foredlingssystem som fjerner overflatedefekter som for eksempel blod- og melaninflekker*. Oppdragsgiver for prosjektet, Tronrud Engineering har gjennom prosjektet ønsket å dekke dette behovet med RoboTrim. Prosjektgruppen har siden januar utviklet et teoretisk konsept for RoboTrim, som er et aksesystem med 5 frihetsgrader. I tillegg til den mekaniske biten har det blitt valgt elektronisk hardware og utviklet et styreprogram i ROS. En av de største utfordringene i forhold til oppgaven har vært hygienisk design, som gjennom prosjektet har vist seg å være et felt fullt av utfordringer.

---

## Dokumentstruktur og forklaring av kapittelkoder

Dokumentstrukturen følger kapitlene og underkapitlene vist i Pr-Tab.1, kronologisk. Dokumentene vedlagt i **Ve-Tek** følger samme oppbygningen som den tekniske hoveddokumentasjonen i **Tek**.

Kapittel	Underkapittel	Kapittelkode	Figurliste	Tabelliste
<b>Prosjektplan</b>		Pp	X	
<b>Krav og design</b>		Kd	X	
<b>Teknisk</b>		Tek		
/	Teknisk, Maskin	Tek-Ma	X	X
/	Teknisk, Elektro	Tek-El	X	X
/	Teknisk, Data	Tek-Da	X	X
/	Teknisk, Konklusjon	Tek-Ko		
<b>Test</b>		Te		
<b>Risiko</b>		Ri	X	
<b>Refleksjonsdokument</b>		Ref		
<b>Vedlegg</b>		Ve		
/	Vedlegg, Generelt	Ve-Gen	X	
/	Vedlegg, Teknisk	Ve-Tek	X	X
/	Vedlegg, Research	Ve-Re	X	
<b>Bibliografi</b>				

**Pr-Tab.1:** Oversikt: Dokumentstruktur og kapittelkode

---

**Dokumentkoder:** Alle kapitler i dokumentet har en egen kode. Som vist i Pr-Tab.1, har kapitlet for ”*Teknisk*”, kapittelkode **Tek**. Koden vil brukes gjennom i dokumentasjonen for å merke figurer, tabeller og matematiske ligninger tilhørende de respektive kapitlene. Figurer merkes med **KapittelID-Fig.XX**. Eksempelvis vil figurer i kapitlet ”**Tek**” være merket som **Tek-Fig.X**, tabeller bli merket som **Tek-Tab.X** og matematiske ligninger merkes **Tek-Mat.X**.

---

I ”Overordnet innholdsfortegnelse” vist under er kapitlene og første nivå av underkapitlene vist. Detaljert innholdsfortegnelse, samt figur- og tabelliste finnes i de respektive kapitlene.

## Overordnet innholdsfortegnelse

### Pp **Prosjektplan**

Pp.1	Beskrivelse av prosjektet	1
Pp.2	SCRUM	10
Pp.3	Aktører og Organisasjon	17
Pp.4	Prosjektforløp	24
Pp.5	Arbeidsmiljø og praksis	30

### Kd **Krav**

Kd.1	Kravhåndtering og designparametere	1
------	------------------------------------	---

### Teknisk **Teknisk**

#### Tek-Ma **Tek-Ma**

Tek-Ma.1	Hygienisk design	1
Tek-Ma.2	Konseptutvikling	4
Tek-Ma.3	Endelig konsept: design og begrunnelse	15
Tek-Ma.4	Styrkeberegninger	30

---

Tek-Ma.5	<b>Sveiseforbindelser</b>	<b>43</b>
Tek-El	<b>Tek-El</b>	
Tek-El.1	<b>Fysiske krav og motordimensjonering</b>	<b>1</b>
Tek-El.2	<b>Valg av elektrisk hardware</b>	<b>16</b>
Tek-El.3	<b>Reguleringssystemet</b>	<b>29</b>
Tek-Da	<b>Tek-Da</b>	
Tek-Da.1	<b>Softwarearkitektur</b>	<b>1</b>
Tek-Da.2	<b>Robotic Operating System (ROS)</b>	<b>3</b>
Tek-Da.3	<b>Software</b>	<b>8</b>
Tek-Da.4	<b>Formler brukt i programmering</b>	<b>25</b>
Tek-Da.5	<b>Kinematikk</b>	<b>28</b>
Tek-Ko	<b>Tek-Ko</b>	
Tek-Ko.1	<b>Konklusjon</b>	<b>1</b>
Te	<b>Test</b>	
Te.1	<b>Test- og verifikasjonsplan</b>	<b>1</b>
Te.2	<b>Status på verifisering</b>	<b>6</b>
Ri	<b>Risiko</b>	
Ri.1	<b>Håndtering av risiko</b>	<b>1</b>

---

Ri.2	<b>Oppdateringer og status på risikoplanen</b>	<b>4</b>
Ref	<b>Ref</b>	
Ref	<b>Refleksjonsdokument</b>	
Ref.1	<b>Refleksjonsdokument</b>	<b>1</b>
Ve	<b>Vedlegg</b>	
Ve-Gen	<b>Ve-Gen</b>	
Ve-Gen.1	<b>Oppgavebeskrivelse</b>	<b>1</b>
Ve-Gen.2	<b>Revisjonshistorie</b>	<b>3</b>
Ve-Gen.3	<b>Tester</b>	<b>4</b>
Ve-Gen.4	<b>Risikomatriser</b>	<b>57</b>
Ve-Gen.5	<b>Prosjektbudsjett</b>	<b>61</b>
Ve-Tek	<b>Ve-Tek</b>	
Ve-Tek.1	<b>Vedlegg til design</b>	<b>1</b>
Ve-Tek.2	<b>Styrkeberegninger</b>	<b>10</b>
Ve-Tek.3	<b>Passkile beregninger</b>	<b>40</b>
Ve-Tek.4	<b>Sveiseberegninger</b>	<b>42</b>
Ve-Tek.5	<b>2D-tegninger og BOM</b>	<b>61</b>
Ve-Tek.6	<b>Fysiske krav og motordimensjonering</b>	<b>95</b>



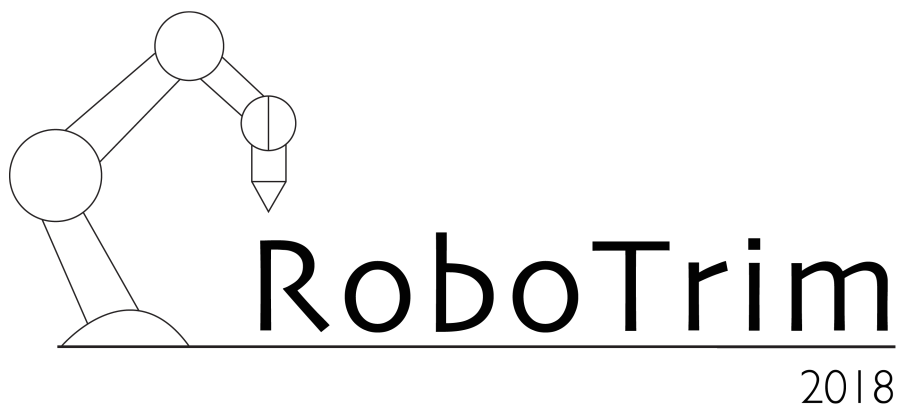
---

Ve-Tek.7	<b>Oppkoblingsdiagram</b>	<b>145</b>
Ve-Tek.8	<b>Hardwarekonfigurasjon: PLS fra Siemens</b>	<b>157</b>
Ve-Tek.9	<b>Topologiskisser</b>	<b>165</b>
Ve-Tek.10	<b>Reguleringssystemet</b>	<b>170</b>
Ve-Re	<b>Ve-Re</b>	
Ve-Re.1	<b>Konseptvalg</b>	<b>1</b>
Ve-Re.2	<b>Valg av motortype</b>	<b>19</b>
Ve-Re.3	<b>Hygieniske servomotorer</b>	<b>23</b>
Ve-Re.4	<b>Hygieniske lineæraktuatorer</b>	<b>23</b>
Ve-Re.5	<b>Valg av sensorer</b>	<b>24</b>
Ve-Re.6	<b>Force- og torquesensor</b>	<b>28</b>
Ve-Re.7	<b>Regulatorstype</b>	<b>30</b>
Ve-Re.8	<b>Kinematikk</b>	<b>33</b>

---

## Forkortelser brukt i dokumentet

<b>TE</b>	Tronrud Engineering
<b>USN</b>	Universitetet i Sørøst-Norge
<b>EH</b>	Erlend Helgerud
<b>OAFR</b>	Ole Anders Foss Reistad
<b>PAS</b>	Per Anders Stadheim
<b>SLA</b>	Sondre Lieblein Aronsen
<b>TSV</b>	Thomas Saraby Vatle
<b>ØJCA</b>	Øyvind Jia-Chen Åslie
<b>ROS</b>	Robotics Operating System
<b>DH</b>	Denavit Hartenberg
<b>SCARA</b>	Selective Compliance Assembly Robot Arm eller Selective Compliance Articulated Robot Arm
<b>CAD</b>	Computer-aided design
<b>IP</b>	International Protection eller Ingress Protection
<b>TCP</b>	Tool Center Point
<b>ZOH</b>	Zero-order hold
<b>AC</b>	Alternating current
<b>DC</b>	Direct current
<b>RPM</b>	Revolutions per minute eller Rounds per minute
<b>PID</b>	Proporsjonal Integrasjon Derivasjon



Pp - Prosjektplan

---

Dokumentasjon av prosjektplanen for HS-RoboTrim 2018.

Versjon: 1.5

Revisjonshistorie: Prosjektplan			
Versjon:	Dato:	Endring:	Av:
1.0	20.01.2018	Opprettet dokument. Lagt til: "Beskrivelse av prosjektet"	EH
1.1	21.01.2018	Lagt til: "Organisasjon" "Arbeidsmiljø og praksis" "SCRUM"	EH
1.2	22.01.2018	Lagt til: "Prosjektforløp"	EH
1.3	23.01.2018	Lagt til: "Gantt-diagram" "Milepæler" "Vedlegg"	EH
1.4	24.01.2018	Lagt til: "Plan for kravhåndtering" "Plan for test og verifisering" "Håndtering av risiko"	EH
1.5	17.05.2018	Endret: "Rettlest"	ØJCÅ

## Innholdsfortegnelse

### Pp **Prosjektplan**

Pp.1	<b>Beskrivelse av prosjektet</b>	<b>1</b>
Pp.1.1	Beskrivelse av arbeidsgiver	1
Pp.1.2	Bakgrunn for prosjektet	2
Pp.1.3	Vår oppgave	6
Pp.1.4	Omfang av prosjektet	7
Pp.1.5	Mål for prosjektet	7
Pp.1.6	Leveranser	8
Pp.2	<b>SCRUM</b>	<b>10</b>
Pp.2.1	Gjennomsiktighet	10
Pp.2.2	Inspeksjon	10
Pp.2.3	Tilpasning	11
Pp.2.4	SCRUM-hendelser	11
Pp.2.5	Roller i SCRUM	14
Pp.2.6	Produkt-backlog	15
Pp.2.7	Begrunnelse for valg av SCRUM	16

---

<b>Pp.3 Aktører og Organisasjon</b>	<b>17</b>
Pp.3.1 Prosjektgruppen	17
Pp.3.2 Tronrud Engineering	21
Pp.3.3 Universitetet i Sørøst-Norge	22
<b>Pp.4 Prosjektforløp</b>	<b>24</b>
Pp.4.1 Milepæler	24
Pp.4.2 Gantt-diagram	28
<b>Pp.5 Arbeidsmiljø og praksis</b>	<b>30</b>
Pp.5.1 Arbeidstid	30
Pp.5.2 SCRUM-hendelser	32
Pp.5.3 Gruppereglement	32
Pp.5.4 Verktøy	33
Pp.5.5 Latex	36

## Liste over figurer

Pp-Fig.1	Trimgrader: A til venstre, E til høyre [1]	2
Pp-Fig.2	Norsk sjømateksport de siste 10 år [2]	3
Pp-Fig.3	Baader 988 [3]	4
Pp-Fig.4	Illustrasjon av system	6
Pp-Fig.5	Organisasjonskart: RoboTrim	17
Pp-Fig.6	Milepæler	24

## Liste over tabeller

Pp-Tab.1	Avvik og endringer av oppsatte milepæler.	27
Pp-Tab.2	Arbeidstid, før påske	31
Pp-Tab.3	Arbeidstid, etter påske	31



## **Pp.1 Beskrivelse av prosjektet**

Oppdraget gitt av Tronrud Engineering er å komme med et teoretisk bevist konsept for et helautomatisert trimmesystem av laksefileter, RoboTrim. Det endelige målet med RoboTrim er å erstatte dagens trimmemaskiner og behovet for manuell ettertrimming.

RoboTrim er opprinnelig et prosjekt av SINTEF. ”Stiftelsen SINTEF er et norsk forskningskonsern som selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap” [4]. SINTEF driver altså med anvendt forskning og teknologiutvikling.

### **Pp.1.1 Beskrivelse av arbeidsgiver**

Tronrud Engineering AS, (heretter TE) er en teknologibedrift som holder til på Eggemoen teknologipark utenfor Hønefoss. TE ble startet opp i 1977 av Ola Tronrud, og var i startfasen et enmannsforetak. I årene som fulgte ekspanderte bedriften og opplevde en kraftig vekst i perioden fra 1999 til 2006. I 2011 flyttet bedriften inn i nytt bygg på Eggemoen hvor de har kontorer i dag. I dag har TE omtrent 118 ansatte på Eggemoen, i tillegg til 38 ansatte fordelt på de to datterselskapene Tronrud Engineering Singapore og Tronrud Engineering Moss [5].

TE som bedrift tar i hovedsak imot oppdrag, og driver både med utvikling og produksjon. Noen av produktene selskapet har utviklet er for eksempel: pakkemaskiner, andre produksjonsroboter, pallmerkingsmaskiner og en rekke mekaniske deler/produkter.

### Pp.1.2 Bakgrunn for prosjektet

**Studie på melaninflekker** Det er gjennomført studier for Nofima av Turid Mørkøre på forekomsten av melaninflekker i atlantisk laks (den typen laks som finnes i Norge). Det ene studiet er fra 2012 [6] og det andre er fra 2015 [7]. Resultatene av disse viser at forekomsten av melaninflekker i laks er økende. Det blir både flere og større melaninflekker for hvert år. Studiet viser at andelen fileter med melaninflekker økte fra 7% til 20% i løpet av en periode på fem år (2003 til 2008) [6]. Hver femte laksefilet har altså melaninflekker. I ca. 70% av tilfellene der det er melaninflekker sitter disse i den fremste delen av buken [6]. Det kan altså sees at forekomsten av melaninflekker er relativt forutsigbar, men at dette er et stadig økende problem for fiskeindustrien.

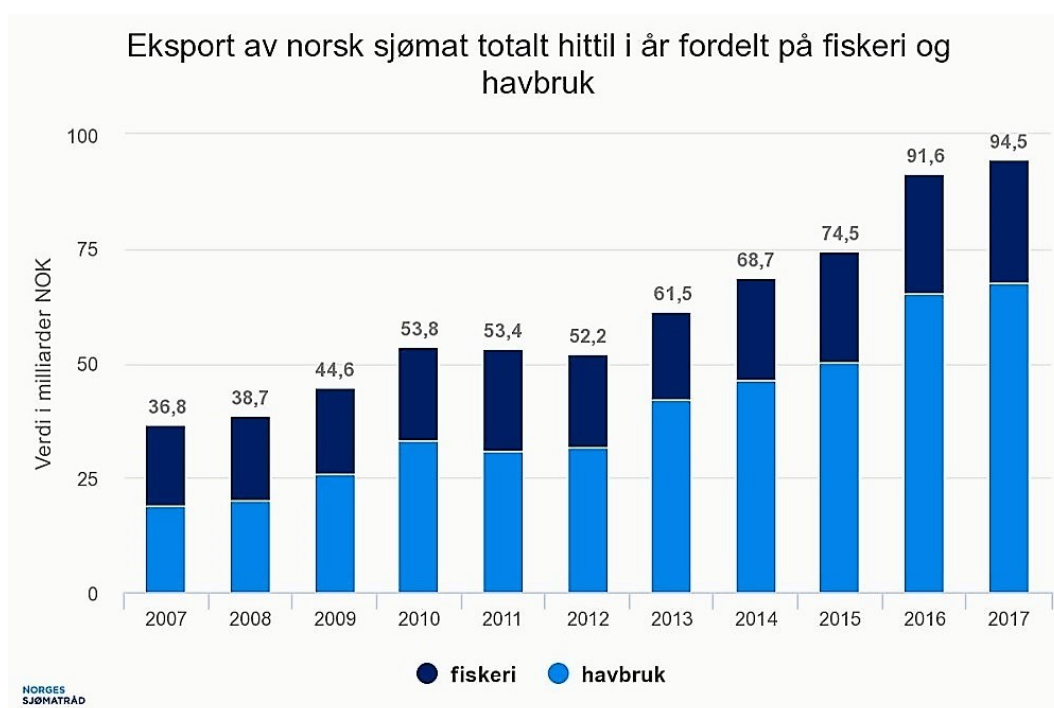
**Ettertrimming av laksefileter** Trimming av laksefileter er en operasjon som foredlingsslakterier gjør basert på trimgradskrav fra kunder. Trimmegradene er rangert fra Trim A til Trim E, der en Trim A-laksefilet er en splittfilet uten rygg- og magebein, og en Trim E-laksefilet er en fulltrimmet filet uten finner, blod- og melaninflekker eller fett- og skinnrester. Med andre ord, Trimgrad E tilsvarer den "beste" fileten. Trimgradene er illustrert i Pp-Fig.1, der fileten til venstre er av Trimgrad A og fileten til høyre er av Trimgrad E.



**Pp-Fig.1:** Trimgrader: A til venstre, E til høyre [1]

### Pp.1.2.1 Dagens situasjon

Sjømatnæringen er Norges nest største eksportnæring. I 2017 eksporterte Norge 2,6 millioner tonn sjømat, noe som tilsvarte en volumøkning på 7% sammenlignet med 2016 [8]. Dette tilsvarte i 2017 en totalverdi på 94,5 milliarder NOK, hvorav 64,7 milliarder NOK stammet fra lakseeksport, tilsvarende en økning på 5% sammenlignet med 2016 [2]. Totalt 68,4% av den totale sjømateksporten i Norge i 2017 var et resultat av lakseeksporten.



**Pp-Fig.2:** Norsk sjømateksport de siste 10 år [2]

Pp-Fig.2 viser sjømateksporten fra Norge de siste 10 årene. I 2010 opprettet Kina et tollsystem som forverret eksportvilkårene for norsk laks, noe som resulterte i en nedgang av eksport i perioden 2010-2012. I desember 2017 reduserte Kina tollsatsene for en rekke fiskearter, inkludert atlantisk laks. Med bakgrunn i dette ga Regjeringen uttrykk for å forvente at norsk sjømateksport ville oppleve en kraftig økning i fremtiden [9].

**Foredling av fisk i Norge** I oktober 2014 publiserte ”*SINTEF Fiskeri og Havbruk*” en rapport i samarbeid med professor Frank Asche om mulighetene til lønnsom foredling av sjømat i Norge. Rapporten har blant annet fokus på dagens foredling i Norge av hvitfisk, pelagisk fisk og laksefisk.

Lite av laksefisken foredles per dags dato på norsk jord, dette hovedsakelig grunnet det høye lønnsnivået i Norge som har direkte innvirkning på vår konkurransedyktighet sammenliknet med våre handelspartnere. Et eksempel på dette er Polen, hvor timelønnen er 13,5% av norsk lønn [10]. En konsekvens av dette er at mye av foredlingsarbeidet av norsk laks blir outsourcet av blant andre Marine Harvest, som frakter sløyd laks fra Norge til Polen, og mottar ferdig porsjonspakket laks som er klar til å distribueres på det norske marked [11].

**Eksisterende produkter** To ulike trimmeroboter utviklet av ledende utstyrsleverandører er allerede i drift ved norske lakseforedlingsfabrikker. I 2013 lanserte islandske Marel sin trimmerobot ”Marel ITM2” som består av et deteksjonssystem som beregner kuttebaner basert på vekt, fasong og/eller farge til laksefiletene. Roboten har to roterende ringformede knivenheter som fjerner buklist og ryggfett, to overflatekniver som fjerner eventuelt overflatefett på fileten, og en kniv som fjerner halen. I tillegg til dette identifiserer deteksjonssystemet fileter som krever særbehandling grunnet blod- eller melaninflekker, tarmrester etc. Disse filetene blir sortert bort for manuell ettertrimming, da funksjonalitet for å kunne utføre disse kuttene ikke er implementert i dagens Marel ITM2 [12]. Denne løsningen er per i dag installert blant annet hos Austevoll Seafood, hvor eventuell ettertrimming utføres manuelt.

Tyske Baader har også utviklet en trimmerobot som innehar liknende funksjonalitet; Baader 988. Maskinen er en del av Baaders foredlingssystem som består av blant annet en fileteringsmaskin (Baader 581), som deler sløyde fisker i fileter, og en kontrollenhet (Baader 560) som utfører en sluttkontroll på de ferdig



**Pp-Fig.3:** Baader 988 [3]

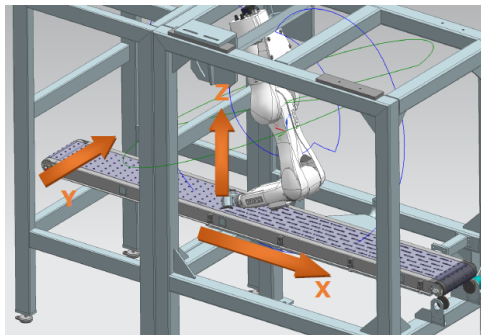
trimmede filetene [13].

Denne løsningen anvendes per i dag av norske Nova Sea. Den dedikerte trimmeroboten utfører fulltrimming av rygg og buk, overflatetrim og halekutt på filetene. Trimmeroboten innehar per nå ikke funksjonalitet for å fjerne blant annet melaninflekker.

Oppsummert eksisterer det flere maskinelle og automatiserte løsninger for de individuelle operasjonene som utføres i foredlingsprosesseringen av fiskefileter. Maskiner har redusert arbeidstimer påkrevd for å utføre foredlingsoperasjonen, men samhandling mellom operatører, manuell ettertrimming av fileter og visuell etterkontroll kreves fortsatt for å oppnå en nøyaktighetsgrad som er tilfredstillende den av en helmanuell prosess [10].

### Pp.1.3 Vår oppgave

Basert i dagens situasjon eksisterer det et behov i markedet som det på nåværende tidspunkt ikke er utviklet et system for: *Et helautomatisert foredlingsystem, som i tillegg til å inneha funksjonaliteten av dagens trimmemaskiner, også fjerner overflatedefekter som for eksempel blod- og melaninflekker.*



**Pp-Fig.4:** Illustrasjon av system

Et system som beskrevet er noe vår oppdragsgiver allerede gikk i gang med å utvikle i 2013 i samarbeid med blant andre SINTEF. Deler av det fullstendige RoboTrim-prosjektet ansees som ferdig, og oppgaven vi har blitt tildelt har dermed et begrenset omfang i forhold til det totale systemet. Blant annet ønsker TE å erstatte dagens seks-aksede robotarm med et egetutviklet motoraksesystem.

Vår oppdragsgiver TEs løsning for å dekke dette behovet i markedet er robotisert fulltrimming av laksefileter ved hjelp av *RoboTrim*. Det skal være et automatisk trimmesystem bestående av en maskinsynsenhet, et samlebånd og et aksesystem med nødvendige gripere og kutte-/skjæreverktøy. Det vil transporteres laksefileter som er ca. 700mm lange langs samlebåndet, det kommer omtrent en filet i sekundet for trimming.

TEs endelige mål med utviklingen av RoboTrim er at det skal resultere i et helhetlig trimmesystem som skal erstatte dagens trimmemaskiner og den manuelle ettertrimmingen av fileter.

### Pp.1.4 Omfang av prosjektet

Oppgaven for vårt prosjekt begrenser seg i utgangspunktet til å utvikle aksesystemet til RoboTrim (*Ve-Gen.1: Oppgavebeskrivelse*). Hovedfokuset vårt vil være å:

- Designe et aksesystem som skal kunne bevege seg responsivt samt fungere i dets tiltenkte miljø.
  - Erstatte dagens seks-aksede system med et egenutviklet system med fem akser.
  - Lage et responsivt styreprogram som skal kunne generere baner for aksesystemet som navigerer knivenheten til gitt koordinat med riktig vinkel.
- Velge egnet hardware for å styre aktuatorer.

Prosjektgruppen har blitt bedt om å ta utgangspunkt i at det eksisterer:

- Et adaptivt deteksjonssystem som identifiserer alle trimmeobjekter.
  - Fra dette deteksjonssystemet skal vår styringsenhet for aksesystemet motta X-, Y- og Z-koordinater samt normalvektor på de aktuelle trimmeobjekter.
- En knivenhet som kan fjerne detekterte trimmeobjekter.
- Utvikling av grensesnittet mellom deteksjonssystemet og styreenheten til aksesystemet er ikke planlagt å inngå i vårt prosjektforløp.

### Pp.1.5 Mål for prosjektet

- **Primærmål:** Teoretisk bevise at vårt konsept er løsbart og utfører ønsket funksjonalitet i tråd med kravspesifikasjon/oppgavebeskrivelse gitt av TE.
- **Sekundærmål:** Produsere en fungerende nedskalert versjon av vårt konsept.

### **Pp.1.6 Leveranser**

Som statuert i *Pp.1.5: Mål for prosjektet*, er primærmålet for vårt prosjekt å utvikle et teoretisk bevist konsept i tråd med krav gitt av TE. For å kunne verifisere om vi har nådd målet ved prosjektslutt er vi avhengige av å definere hva som menes med et "teoretisk bevist konsept".

#### **Pp.1.6.1 Teoretisk bevist konsept**

For at vår endelige løsning skal være teoretisk bevist, må vi kunne bevise ved hjelp av analyse og tester at vårt konsept er i tråd med kravene satt av TE og at det er gjennomførbart. En viktig faktor i prosjektarbeidet er at både prosjektgruppen og TE skal dra nytte av arbeidet som gjøres. Arbeidet skal føre til leveranser som til slutt gir et endelig resultat i form av evaluering.

#### **Pp.1.6.2 Analyse og simulering**

For å kunne analysere og simulere det utviklede konseptet, vil vi benytte oss av SolidWorks, MatLab/Simulink og ROS.

SolidWorks er et dataprogram som kan brukes til å lage 3D-modeller, samt utføre FEM-analyser. En 3D-modell vil kunne vise oppbyggingen, materialbruken og bevegelsesmulighetene til konseptet. FEM-analyser brukes blant annet til å finne spenning i materiale, reaksjonskrefter og termodynamikk, og vil være et viktig verktøy for å identifisere kritiske punkter på konseptet.

Hva angår styringen av motorer har prosjektgruppen diskutert MatLab og Simulink. En del av oppgaven er å velge motorer som tåler belastningen og som kan respondere raskt. Motorene må reguleres slik at roboten følger riktig bane med riktig fart, uten oversving. Med beregnede belastninger og data fra motorenes datablad kan det utføres analyser i MatLab/Simulink som viser om valgte motorer er i henhold til gitte krav.



Robotens styresystem er systemet fra inngang til utgang. Inngangen til styresystemet er data fra deteksjonssystemet. Dette oppgis i X-, Y-, Z-koordinat og normalvektoren på dette punktet. Farten til en flekk som skal fjernes fra en fiskefilét vil følge den konstante farten av samlebandet. Ut i fra dette må det beregnes og interpoleres en bane som kniven skal følge. Utgangen til styresystemet er den faktiske posisjonen til hver motor som styrer robotens bevegelse. For å lage en overgang fra inngang til ønsket bevegelse må styresystemet bestå av flere deler. Knivbanen må beregnes og oversettes til referansesignaler som motorregulatorerne kan bruke. En mulighet for å teste styresystemet er å lage en miniatyrprototype, og verifisere at denne beveger seg som tenkt. En annen mulighet er å benytte ROS (*Robotic Operating System*), som er et program som kan brukes til å simulere hele robotsystemet.

For at et konsept skal være teoretisk bevist må det altså fokuseres på det helhetlige bildet. Ved hjelp av tverrfaglig kunnskap hva angår analyse-, konstruksjons- og styremetoder må det produseres simuleringer så nært virkeligheten som mulig. Dette for å fortelle noe om hvordan en ferdigprodusert robot vil operere.

Den totale leveransen av prosjektet vil bestå av dokumentasjon av valg og analyser, simuleringer, diagrammer og presentasjoner som bidrar til at TE kan bruke vårt prosjekt i videre arbeid. 3D-modeller må være oversiktlige og i et filformat som kan benyttes. Valgte motorer må ha skjemaer som viser hvordan de koples og festes til rammen. Styreprogrammet må være skrevet på en oversiktlig og modulær måte.

## Pp.2 SCRUM

Prosjektgruppen brukte i den innledende fasen av prosjektet god tid på å vurdere forskjellige prosessmodeller. Blant *Unified Process*, *SCRUM*, *CAFCR+* og *Spiralmodellen*, falt valget til slutt på SCRUM.

SCRUM er et rammeverk som skal bidra til å effektivisere samarbeid i utviklingen og vedlikeholdet av komplekse produkter [14]. SCRUM tilhører familien av iterative og inkrementelle tilnærminger, og baserer seg i det empiriske tankesettet som påstår at kunnskap kommer fra erfaring, og at man fatter avgjørelser basert på det kjente [15].

### Pp.2.1 Gjennomsiktighet

Et viktig aspekt i SCRUM, er at prosessen skal være *gjennomsiktig*, dette betyr at alle deler av prosessen skal være synlig for en eventuell prosjektgruppe. En gjennomsiktig prosess bidrar til at deltakere i SCRUM får et mer helhetlig bilde av både hva som lages, og prosessen generelt [15].

For å kunne tilrettelegge for en gjennomsiktig prosess, er et SCRUM-lag avhengige av å definere en felles forståelse av både SCRUM-rammeverket og produktet som skal utvikles. Blant annet må deltakere bruke et felles språk som synliggjør prosessen, i tillegg er det viktig at det til enhver tid defineres klare retningslinjer for hva som blir vurdert som "ferdig" arbeid [15].

### Pp.2.2 Inspeksjon

For å kunne oppdage og unngå avvik, er man i SCRUM til en hver tid avhengig av å inspisere *artefakter* og progresjonen mot det satte målet for sprinten. For å ivareta den agile modellen, er det viktig at inspeksjon foregår når arbeidet pågår. På denne måten øker sjansen for at man oppdager avvik, og dermed har større sjanse for å tilpasse arbeidet og/eller prosessen for å unngå videre avvik [15].

### **Pp.2.3 Tilpasning**

Dersom man underveis i prosessen oppdager avvik som kan sette sprintmålet i fare, må prosjektgruppen være tilpasningsdyktig slik at prosessen og arbeidet blir justert. For å minimere skadeomfanget av et avvik er det viktig at man i agile modeller evner å justere så raskt som mulig[15].

### **Pp.2.4 SCRUM-hendelser**

Fasiliteringen for oppfølging av de tre grunnpillarene er kritisk for SCRUM, og blir under hele prosessen ivaretatt ved fire formelle hendelser som oppstår i løpet av sprintene.

#### **Pp.2.4.1 Sprint**

En sprint i SCRUM er en arbeidsperiode som foregår over en tidsperiode som er konstant i hele prosjektforløpet. Lengden på sprinter kan variere fra prosjekt til prosjekt, men varer vanligvis ikke i overkant av en måned. Ved å ha korte sprinter bidrar man til at det blir enklere for prosjektgruppen å holde fokus på et satt sprintmål. I tillegg vil kortere sprinter begrense et eventuelt økonomisk skadeomfang til sprintvarigheten [15].

For å holde fokus på gjennomsiktighet, inspeksjon og tilpasning, består en sprint av *sprintplanlegging*, *daglige stand-ups*, *sprintgjennomgang* og et *retrospektiv* av sprinten.

#### **Pp.2.4.2 Planlegging av sprint**

I sprintplanleggingen skal hele SCRUM-laget ved samarbeid planlegge hvilket arbeid som skal utføres i løpet av sprinten. Som et resultat av planleggingen skal prosjektgruppen få svar på hva målet for sprinten er, og hvordan det satte målet skal nåes.

**Sprintmål** Sprintmålet blir satt av gruppen og skal basere seg på gjenstandene i backloggen. Når sprintmålet er satt, er det viktig at sprinten planlegges med fokus

på målet. Sprintmålet i seg selv kan ikke endres underveis i sprinten så lenge sprinten ikke kanselleres, det er likevel muligheter for å diskutere og justere omfanget av en sprint dersom det blir nødvendig. For å holde kontroll på at prosjektet holder kurs mot sprintmålet, blir det på daglig basis utført SCRUM-standup-møter.

### **Pp.2.4.3 SCRUM-standup**

SCRUM-standup er det første som skjer hver arbeidsdag i en sprint. I tillegg til å kontrollere kursen på sprinten, er standupen en god mulighet til å inspisere fremgang med tanke på backloggen. I utførelsen av en standup er det vanlig at hvert medlem av prosjektgruppen kort forklarer:

- Hva gjorde man i går?
- Hva skal man gjøre i dag?
- Eventuelle utfordringer man har møtt som kan forhindre videre arbeid.

Ved riktig utføring av daglige standups forbedres kommunikasjonen, den generelle forståelsen for prosjektet øker, og man øker sjansene for å tidlig oppdage hindringer/utfordringer.

### **Pp.2.4.4 Gjennomgang av sprint**

På slutten av en sprint blir det holdt en sprintgjennomgang, hvor målet er å bruke sprinten som avsluttes til å planlegge den neste. Når sprintgjennomgangen avsluttes skal backloggen være tilrettelagt for den neste sprinten. Deltakende på sprintgjennomgangen er SCRUM-laget i tillegg til andre personer invitert av produkteieren.

Sprintgjennomgangen starter med at produkteier forklarer hva som er ferdigstilt fra backloggen og hva som eventuelt ikke er ferdig. Prosjektgruppen demonstrerer arbeidet som er gjort i sprinten, og diskuterer hva som har gått bra og/eller dårlig.

Når demonstrasjoner og diskusjoner av tidligere arbeid er fullført vil produkteieren diskutere backloggen og dens status. Hele prosjektgruppen samarbeider for å finne ut hva som skal gjøres videre, slik at sprintgjennomgangen gir input til den kommende

sprintplanleggingen. Revisjonen av backloggen skal også ta hensyn til eventuelle endringer i markedet som har oppstått i løpet av sprinten.

#### **Pp.2.4.5 Sprint-retrospektiv**

Hvor sprintgjennomgangen tar sikte på å oppsummere *hva* som ble utført i sprinten, skal retrospektivet se på *hvordan* arbeidet ble utført i forhold til SCRUM-rammeverket. Retrospektivet finner sted etter sprintgjennomgangen og har til hensikt å:

- Inspisere hvordan sprinten fungerte med tanke på relasjoner, prosessen og eventuelle verktøy.
- Diskutere hva som har vært bra og potensielle forbedringer.
- Danne en plan for hvordan forbedringer skal implementeres i arbeidet SCRUM-laget utfører.

## Pp.2.5 Roller i SCRUM

For å effektivt kunne operere iterativt og inkrementelt er man i SCRUM avhengig av at prosjektgruppen i stor grad er selvorganiserende og flerfunksjonell. Et SCRUM-lag består av en *produkteier*, et *utviklingsteam/arbeidsgruppe* og en *SCRUM-master*.

### Pp.2.5.1 Produserteier

Produkteieren er *én* person i SCRUM som er ansvarlig for å sørge for at jobben gjort av utviklingsteamet har maksimal verdi med tanke på eksterne interesser og satte mål. Den viktigste jobben en produkteier har er å håndtere backloggen, som danner grunnlaget for arbeidet som blir utført i de forskjellige sprintene. I håndteringen av backloggen er det viktig at det ivaretaes et fokus på:

- Klart definerte saker i backloggen
- Sortering og prioritering av backloggen for å fasilitere måloppnåelse
- Optimalisere verdien av arbeidet som blir utført av utviklingsteamet/arbeidsgruppen
- Sørge for at backloggen er forståelig for alle involvert i prosessen
- Sørge for at utviklingsteamet/prosjektgruppen forstår saker i backloggen i tilstrekkelig grad

Det er ikke fastsatt at produkteieren *skal gjøre* overnevnte arbeidsoppgaver selv, men uansett utfall vil produkteieren stå ansvarlig ved delegering.

### Pp.2.5.2 SCRUM-master

Personen som innehar rollen som SCRUM-master har ansvaret for å holde prosjektgruppen innenfor rammene definert for SCRUM. Viktig å forstå er det at en SCRUM-master ikke har et overordnet leder-ansvar, men heller skal fungere som en veileder i SCRUM for resten av prosjektgruppen.

### **Pp.2.5.3 SCRUM-laget**

Utviklingsteamet består av personene som gjennomfører arbeidet som ideelt sett skal føre til et inkrement av et ”ferdig” produkt på slutten av en sprint. Et optimalt SCRUM-lag består av fire til åtte medlemmer.

En viktig faktor i SCRUM er at utviklingslaget skal ha fullmakt til å organisere og styre eget arbeid med utgangspunkt i backloggen og de planlagte sakene for den inneværende sprinten. Utviklingsteamet i SCRUM følger en flat hierarkisk modell, som betyr at det ikke er en konstituert leder. I utgangspunktet skal det heller ikke være definerte arbeidslag i SCRUM, alle medlemmer skal være i stand til å utføre oppgavene i backloggen dersom det blir nødvendig.

### **Pp.2.6 Produkt-backlog**

Som forklart i *Pp.2.5.1: Produkteier*, er produkteieren ansvarlig for backloggen i SCRUM. Backloggen skal inneholde alle funksjoner, krav, forbedringer og feilrettinger som vil inngå i fremtidige versjoner av produktet, og skal fremstå som en sortert liste, hvor saker sorteres etter viktighet. Til tross for at backloggen alltid skal være så fullstendig som mulig, vil den paradoksalt nok aldri være ferdig. For at produktutviklingen skal være vellykket må backloggen modnes og utvikles i takt med utviklingsteamets forståelse for hva som faktisk skal lages, og nye behov som oppstår underveis.

#### **Pp.2.6.1 User-stories**

Byggeblokkene i backloggen, og uungåelig i sprintene av SCRUM, er user-stories. En user-story er ofte et systemkrav som formuleres i en setning på en ikke-teknisk måte. En user-story skal ikke gå inn i detaljerte krav, men gi et overblikk av et ønsket resultat. For at en user-story skal være målbar, må den defineres på en slik måte at det er mulig for utviklingsteamet å estimere størrelsen nøyaktig. Dersom en user-story blir for stor vil det bli vanskeligere å estimere omfanget av oppgaven, et alternativ er da å ta i bruk *epics*. [16]

### **Pp.2.6.2 Epics**

En epic er en større arbeidsoppgave som i seg selv inneholder user-stories, og kan bidra til å strukturere arbeidet hierarkisk i større grad enn ved bruk av user-stories alene. Siden en epic ofte er konstruert av flere user-stories, kan epics strekke seg over flere sprints, og i de største tilfellene over flere prosjekter.

### **Pp.2.7 Begrunnelse for valg av SCRUM**

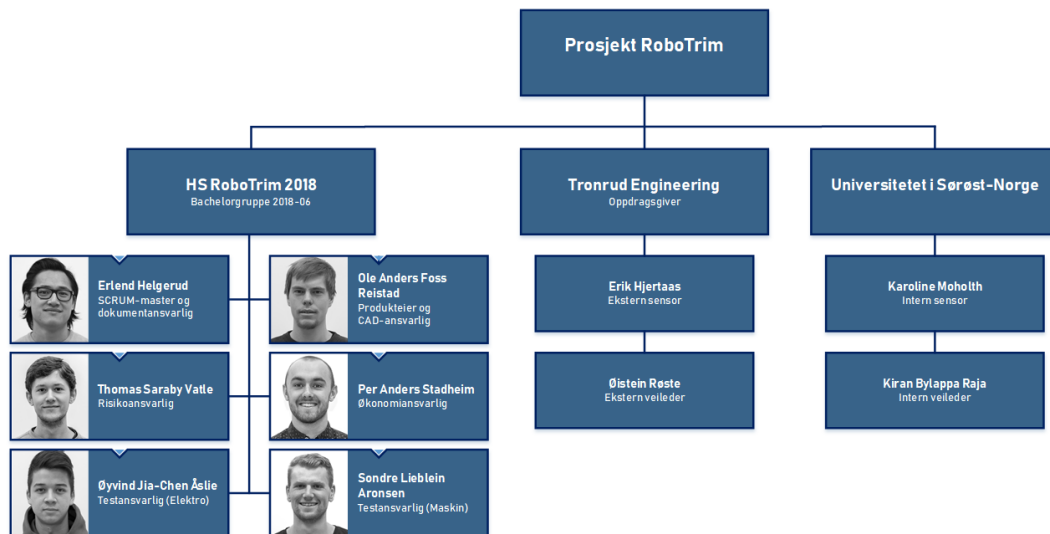
En viktig faktor i valget av prosessmodell, var at vi ønsket en modell som tillot oss å gjøre feil underveis i prosjektforløpet. SCRUM som er en iterativ modell er lagt opp slik at vi underveis har mulighet til å lære av våre feil, den gir oss også muligheten til et retningsskifte dersom dette blir nødvendig. En positiv bi-effekt av dette, er at prosjektgruppen i større grad blir tvunget til å ha et modulært tankesett, og hele tiden fasilitere for mulige endringer som ellers kunne veltet hele prosjektet.

Siden SCRUM er en modell som gir individene en stor grad av kontroll over egne arbeidsoppgaver, vil det bli større kreativt rom til å utfolde seg for prosjektdeltakerne. Da gruppemedlemmene i utgangspunktet er relativt sterke i sine fagfelt ønsket vi ikke en prosess som ledet oss fra A til Å, men en modell som ga hver enkelt mer spillerom underveis i prosessen.

Som tidligere forklart er SCRUM en modell som er fokusert på en *gjennomsiktig* prosess. For å kunne bidra til et smidig samarbeid på tvers av disiplinene, vil implementasjonen av gjennomsiktighet bidra til å øke forståelsen for prosjektet utover ens eget fagfelt.



## Pp.3 Aktører og Organisasjon



Pp-Fig.5: Organisasjonskart: RoboTrim

Aktørene som er involverte i dette prosjektet kan deles inn i tre hovedgrupper, som vist i organisasjonskartet (Pp-Fig.5).

### Pp.3.1 Prosjektgruppen

Prosjektgruppen er tverrfaglig sammensatt av ingeniørstudenter ved Universitetet i Sørøst-Norge, campus Kongsberg. Tre av gruppemedlemmene er maskinstudenter med retning produktutvikling, to er elektrostudenter med retning kybernetikk og mekatronikk og én er datastudent med retning virtuelle systemer. Denne tverrfagligheten er tenkt å danne et bredere kunnskapsspekter sammenlignet med en homogen gruppe.

Gruppen har samarbeidserfaring fra et tidligere emne: "MPSE2201 – Systems Design and Engineering". Under prosjektarbeid i dette emnet bestod prosjektgruppen av ni medlemmer, hvorav seks av disse dannet prosjektgruppen som skal utføre dette bachelorprosjektet. Prosjektgruppen består av følgende medlemmer:

**Navn:** Erlend Helgerud

**Studieretning:** Dataingeniør, virtuelle systemer

**Tlf:** 928 38 933

**E-post:** erlend061090@gmail.com

**Navn:** Ole Anders Foss Reistad

**Studieretning:** Maskiningeniør, produktutvikling

**Tlf:** 913 80 773

**E-post:** oleafr@hotmail.com

**Navn:** Per Anders Stadheim

**Studieretning:** Maskiningeniør, produktutvikling

**Tlf:** 977 83 367

**E-post:** peranders.stadheim@gmail.com

**Navn:** Sondre Lieblein Aronsen

**Studieretning:** Maskiningeniør, produktutvikling

**Tlf:** 915 82 233

**E-post:** soli-aro@online.no

**Navn:** Thomas Saraby Vatle

**Studieretning:** Elektroingeniør, kybernetikk og mekatronikk

**Tlf:** 452 88 830

**E-post:** thosava@gmail.com

**Navn:** Øyvind Jia-Chen Åslie

**Studieretning:** Elektroingeniør, kybernetikk og mekatronikk

**Tlf:** 930 85 761

**E-post:** oyvindaaslie@gmail.com

**Pp.3.1.1 Roller i prosjektgruppen**

SCRUM-modellen baserer seg på at prosjektgruppen skal bestå av selvstendige og likestilte gruppemedlemmer. Selv om alle gruppemedlemmene har et administrativt ansvarsområde, har gruppen likevel valgt å besette de følgende rollene:

**SCRUM-master:****Erlend Helgerud**

I rollen som SCRUM-master har Erlend et overordnet ansvar for å ha størst innsikt i SCRUM-modellen og hvordan man får mest utbytte av denne. Han skal påse at prosjektgruppen er selvorganiserende i arbeidet mot sprintmålene, og har også ansvar for å veilede prosjektgruppen i de faste møtene som SCRUM-modellen innebærer. Valget av SCRUM-master falt på Erlend fordi han tidligere har erfaring med modellen fra en sommerjobb som utvikler hos MyWorkout AS, et selskap innenfor mobilapp-sektoren.

**Produkteier:****Ole Anders Foss Reistad**

Produkteieren skal egentlig ikke være en del av prosjektgruppa. Siden dette er et bachelorprosjekt må likevel en i gruppen spille rollen som produkteier. Som produkteier skal Ole Anders være prosjektets nøkkelinteressent [17]. Produkteieren skal representere bedriften/kunden på best mulig måte. Han skal ha oversikt over hva kunden faktisk vil ha, ha størst innsikt i gitte krav, og organisere og prioritere "backloggen" deretter.

**Testansvarlig, maskin:****Per Anders Stadheim**

Den økonomiansvarlige har et overordnet ansvar når det gjelder gruppens økonomistyring. Under dette ligger ansvaret for fordeling av budsjett og å ha oversikt over prosjektgruppens utgifter. I tillegg til dette har Per som økonomiansvarlig et hovedansvaret for å se på den økonomiske situasjonen med og uten vårt produkt samt hvilken verdiskapning dette kan gi en eventuell kunde.

**Risikoansvarlig:****Thomas Saraby Vatile**

Som risikoansvarlig har Thomas hovedansvaret for at gruppen foretar en grundig risikoanalyse, både på prosjektnivå og teknisk nivå. Han skal ha størst innsikt i hvilke problemer som kan oppstå underveis i prosjektet. I tillegg til å avdekke hvilke risikoer/problemer som potensielt kan oppstå under prosjektarbeidet skal han ha hovedansvaret for å utarbeide forebyggende tiltak og eventuelt konsekvensreducerende tiltak. Selv om det også er et kollektivt ansvar, har Thomas som risikoansvarlig hovedansvaret for å oppdage nye risikoer, og også oppdage når eventuelle risikoer oppstår slik at planlagte tiltak kan iverksettes.

**Kravansvarlig:****Sondre Lieblein Aronsen**

Rollen som testansvarlig ble delt inn etter de to fagområdene maskin og elektro. Begge testansvarlige har et felles hovedansvar for å avdekke og eventuelt passe på gjennomføringen av tester (verifisering av krav). Som testansvarlig innen retningen maskin har Sondre et større ansvar når det gjelder tester og simuleringer som går på det maskinelle med produktet.

**Testansvarlig, elektro:****Øyvind Jia-Chen Åslie**

Rollen som testansvarlig ble delt inn etter de to fagområdene maskin og elektro. Begge de to testansvarlige har et felles hovedansvar for å avdekke og eventuelt passe på gjennomføringen av tester (verifisering av krav). Som testansvarlig innen retnin- gen elektro har Øyvind et større ansvar når det gjelder tester og simuleringer som går på elektronikken i produktet.

**Dokumentansvarlig:****Erlend Helgerud**

Den dokumentansvarlige vil ha hovedansvaret for å utarbeide dokumentmaler, dokument- og mappestruktur, sette sammen ferdig dokumentasjon og påse at det er tilfredstil- lende dokumentkontroll. Som dokumentansvarlig vil det også være et ansvar for ryddig kildehenvisning.

**CAD-ansvarlig:****Ole Anders Foss Reistad**

Den CAD-ansvarlige har hovedansvaret for å ha oversikt over hva som skal pro- duseres og det som er produsert med CAD (computer-aided design).

**Pp.3.2 Tronrud Engineering**

I henhold til prosjektkontrakten [18] er TE pliktig til å besette rollene som ekstern veileder og ekstern sensor for prosjektforløpet.

**Pp.3.2.1 Ekstern veileder**

**Navn:** Øistein Røste

**Tittel:** Head of Industrial Technology at Tronrud Engineering AS

**E-post:** oistein.roste@tronrud.no

Som ekstern veileder har Øistein Røste et ansvar for å veilede prosjektgruppen med å definere oppgaven og skaffe nødvendig bakgrunnsinformasjon for arbeidet [18]. Det er ekstern veileder som skal være prosjektgruppens hovedkontaktperson innad i TE.

**Pp.3.2.2 Ekstern sensor**

**Navn:** Erik Hjertaas

**Tittel:** General Manager/Director Packaging Technology at Tronrud Engineering AS

**E-post:** erik.hjertaas@tronrud.no

Som ekstern sensor har Erik Hjertaas et ansvar når det gjelder evaluering og karaktersetting av oppgaven ved prosjektslutt. Han skal også være med på møtene som kommer før og etter hver presentasjon. Ekstern sensor har hovedansvaret når det gjelder å evaluere om prosjektgruppens resultat er godt nok i henhold til bedriftens standarder.

**Pp.3.3 Universitetet i Sørøst-Norge**

Universitetet i Sørøst-Norge skal for bachelorprosjektet oppnevne en intern veileder og en intern sensor.

**Pp.3.3.1 Intern veileder**

**Navn:** Kiran B. Raja

**Tittel:** Associate Professor ved Universitetet i Sørøst-Norge, Campus Kongsberg

**E-post:** kiran.raja@usn.no

Som intern veileder har Kiran Raja et ansvar når det gjelder å sette prosjektgruppen på rett spor. Han kan veilede gruppen når det gjelder prosjektstyring og presentasjoner og gi tekniske innspill der han har kompetanse. Intern veileder skal ikke styre prosjektgruppen, men fungere som mellomleddet mellom universitetet og prosjektgruppen. Intern veileder skal være med på karaktersetting av oppgaven ved prosjektarbeidets slutt.

**Pp.3.3.2 Intern sensor**

**Navn:** Karoline Moholth

**Tittel:** Høgskolelektor ved Universitetet i Sørøst-Norge, Campus Kongsberg

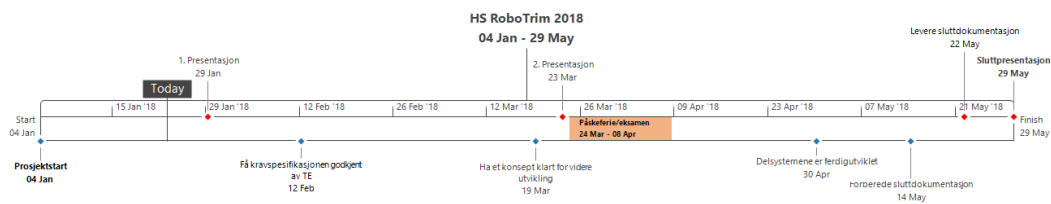
**E-post:** karoline.moholth@usn.no

Som intern sensor har Karoline Moholth hovedansvaret for rettferdig evaluering av prosjektarbeidet i henhold til læreplanen og kompetansemålene. Hun skal være tilstede på møtene som kommer før og etter hver presentasjon, og skal studere prosjektgruppens dokumentasjon.

## Pp.4 Prosjektforløp

### Pp.4.1 Milepæler

Pp-Fig.6 viser den tiltenkte tidslinjen for prosjektet. Hovedsakelig har prosjektgruppen valgt å dele inn milepæler i akademiske og tekniske milepæler. På figuren vises de tekniske med blått, mens de akademiske vises med rødt.



Pp-Fig.6: Milepæler

#### Pp.4.1.1 Presentasjoner

Som en del av bacheloroppgaven er prosjektgruppen pålagt å holde tre presentasjoner. Hensikten med disse presentasjonene er å gi USN og TE et overblikk over progresjonen i prosjektarbeidet. Prosjektgruppen vil i de forskjellige presentasjonene ha ulike fokusområder, avhengig av hvor i prosjektforløpet man befinner seg.

**1. Presentasjon** Den første presentasjonen har en varighet på 20 minutter og er etterfulgt av en 15 minutters lang individuell muntlig utspørring av prosjektgruppens medlemmer. Presentasjonens innhold omhandler prosjektgruppens utarbeidede prosjektplan, og hvordan kravspesifikasjon med tilhørende tester skal avdekkes videre i prosjektforløpet.

Formålet med presentasjonen er kort oppsummert å gi publikum en forståelse av *hva* som skal utvikles, *hvorfor* det skal utvikles og *hvordan* prosjektgruppen planlegger å oppnå dette.

**2. Presentasjon** Den andre presentasjonen har en varighet på 20 minutter, og er på lik linje med første presentasjon etterfulgt av en 15 minutters lang utspørring.



Presentasjonen skal være teknisk vinklet, og prosjektgruppen skal blant annet ta for seg konseptdesignet og fremvise en oppdatert testplan.

Formålet med presentasjonen er å gi publikum en indikator på hvordan prosjektgruppen ligger an i utviklingen av konseptet. I tillegg til dette vil en plan for resterende prosjektperiode fremlegges.

**Avsluttende presentasjon** Sluttpresentasjonen er den siste milepælen i prosjektarbeidet. Her vil det totale arbeidet prosjektgruppen har gjort kulminere i en times lang presentasjon bestående av tre deler: en 20 minutters lang markedsførings- og salgspresentasjon, en 20 minutters lang teknisk presentasjon og en 20 minutters lang eksaminasjon av prosjektgruppen. I markedsførings- og salgspresentasjonen vil prosjektgruppen omtale de positive sidene med sitt (forhåpentligvis) ferdigutviklede konsept, samt sammenlikne konsept med liknende produkter på markedet.

I den tekniske presentasjonen vil prosjektgruppen ta for seg timeforbruk og de tekniske løsningene som er utviklet og implementert.

#### **Pp.4.1.2 Innleveringer**

Innleveringer av betydning, sett bort i fra ukentlige oppfølgingsdokumenter til intern veileder og oppdragsgiver, samt innlevering av dokumentasjon før første og andre presentasjon, vil i all hovedsak begrense seg til innlevering av den komplette prosjektdokumentasjonen. Prosjektdokumentasjonen skal leveres i to eksemplarer:

- Det første eksemplaret skal leveres i en perm som inneholder en papirutskrift av all viktig dokumentasjon samt en minnepinne med alt produsert materiale i løpet av prosjektet. Denne dokumentasjonen benyttes av intern sensor i forbindelse med sensur.
- Det andre eksemplaret skal leveres som en PDF-fil, som lagres i Universitetes arkiv "Brage". [19]

**Pp.4.1.3 Teknisk**

**Kravspesifikasjon godkjent av Tronrud Engineering** Etter første presentasjon er gjennomført vil prosjektgruppen arbeide for å avdekke flere krav. Arbeidet med kravene er en aktivitet som vil foregå gjennom hele prosjektforløpet – men med hovedfokus de to første ukene etter første presentasjon. Dette gjøres som en forberedelse til videre arbeid. En godt utarbeidet og klart definert kravspesifikasjon er noe prosjektgruppen er avhengig av for at utviklingen av konseptet skal kunne foregå produktivt, og i den retningen oppdragsgiver ønsker. Alle krav- og designspesifikasjoner vil bli gjennomgått i samarbeid med TE. En godkjenning av kravspesifikasjonen markerer et viktig punkt i prosjektet, da det medfører at prosjektgruppen kan gå i gang med konseptutviklingen.

**Klart konsept** I perioden etter at kravspesifikasjonen er godkjent vil konseptutviklingen gå i gang. Prosjektgruppen planlegger å ha kommet frem til et veloverveid konsept innen andre presentasjon. Dette markerer et viktig punkt i prosjektet, da vi etter konseptvalget kan begynne på utviklingen av de ulike delsystemene.

**Utviklede delsystemer** Utviklingen av delsystemene vil finne sted etter påske- og eksamenstider. I perioden vil de respektive fagretningene jobbe målrettet mot utviklingen av de ulike delsystemene. Delsystemene må være ferdig utviklet før integrasjonen av dem går i gang, derfor er dette markert som et viktig punkt i prosjektforløpet.

**Teoretisk bevist konsept** Prosjektgruppen har satt seg som mål om å ha et teoretisk bevist konsept i henhold til kravene gitt av TE. Dette innebærer at de forskjellige delsystemene er integrert med fungerende grensesnitt til et helhetlig fungerende system.

**Pp.4.1.4 Avvik og endringer i milepæler**

Pp-Tab.1 viser en oppsummering av avvik og endringer som har forekommet med hensyn til de opprinnelige milepælene. En kort begrunnelse for de forskjellige avvik/endringer følger etter oversikten.

**Pp-Tab.1:** Avvik og endringer av oppsatte milepæler.

Milepæl	Avvik/Endring	Begrunnelse
Godkjenning av kravspesifikasjon	Avvik	Mp.A-1
Konseptvalg	Avvik	Mp.A-2
Dato for 2. presentasjon	Endring	Mp.E-1
Dato for 3. presentasjon	Endring	Mp.E-2

**Mp.A-1 - Godkjenning av kravspesifikasjon** Opprinnelig plan for å ha en godkjent kravspesifikasjon ble satt til 12. februar. Dette ble ikke opprettholdt og medførte dermed et avvik i forhold til den oppsatte datoen. Kravspesifikasjonen ble først godkjent 14. mars. Begrunnelse for dette avviket er at prosjektgruppen hadde sett bort fra kravene om hygienisk design. Det oppstod etter første presentasjon et behov for å se på dette i større grad, noe som har medført stor forsinkelse av kravspesifikasjonen. Dette har dog ikke vært til hinder for prosjektgruppen, da store deler av kravspesifikasjonen ble godkjent 14.03.2018. Prosjektgruppen har med andre ord hatt retningslinjer å følge i utviklingen av konseptet, og kravspesifikasjonen ble godkjent kort tid etter besøk hos TE.

**Mp.A-2 - Konseptvalg** Opprinnelig plan for å ha et konsept klart for videre utvikling ble satt til 19. mars. Valg av konsept ble gjort 6. mars, i samråd med TE.

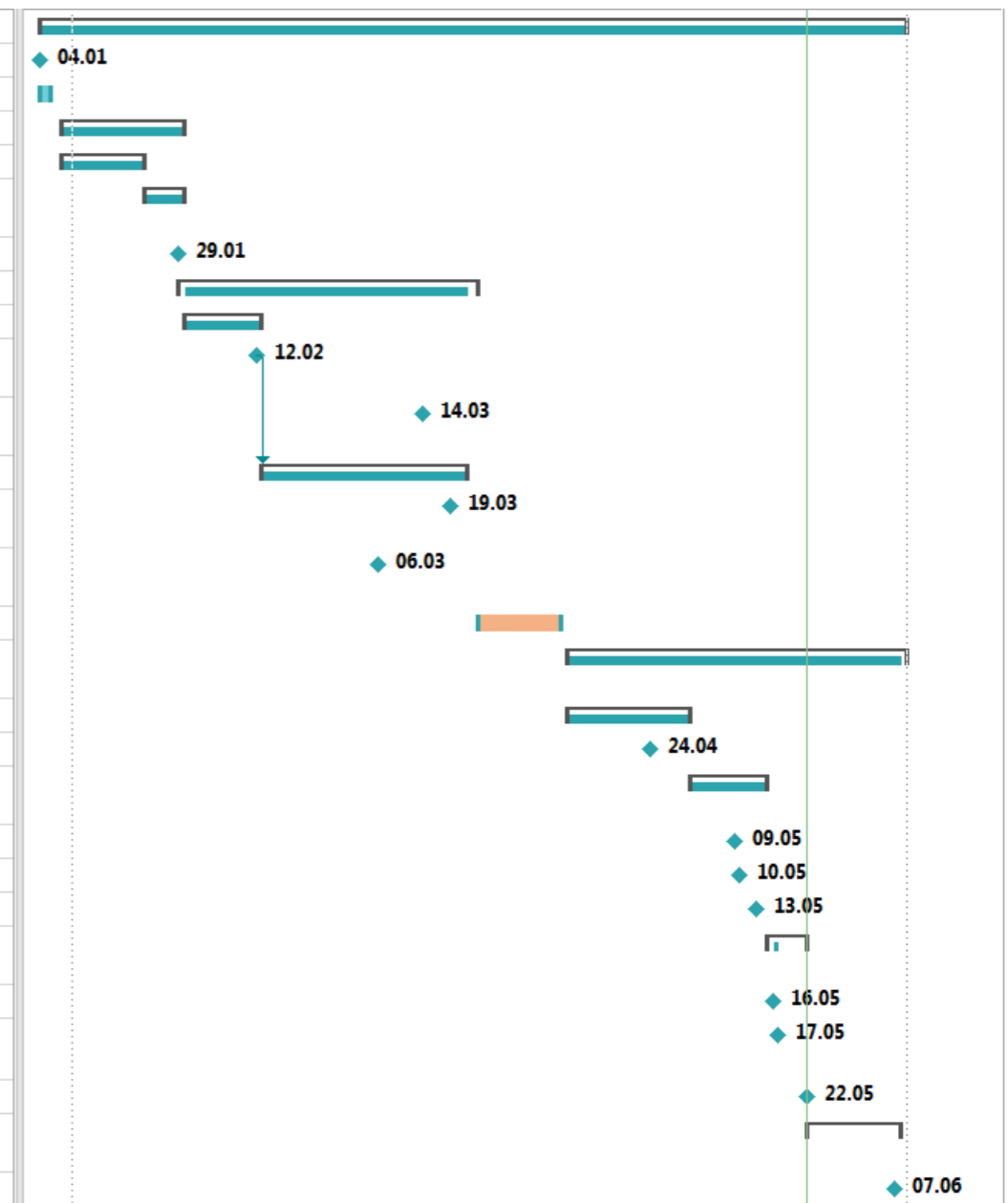
**Mp.E-1 - Dato for 2. presentasjon** Dato for andre presentasjon er endret fra den opprinnelig oppsatte datoen (23. mars) til 21. mars.

**Mp.E-2 - Dato for 3. presentasjon** Dato for tredje presentasjon er endret fra den opprinnelig oppsatte datoen (29. mai) til 07. juni, med forbehold om endringer.

### **Pp.4.2 Gantt-diagram**

Sprintmålene for foregående sprinter er lagt til i Gantt-diagrammet. I tillegg til dette er diagrammet oppdatert etter avvikene/endingene beskrevet i *Pp.4.1 Milepæler*. Sprint 10 strekker seg fra Tirsdag 13. mars til Onsdag 21. mars grunnet arbeid i tilknytning til klargjøring av dokumentasjon og presentasjon til andre presentasjon. Estimert dato for tredje presentasjon er endret til 7. juni. Utover dette er gantt-diagrammet uendret. Datoer for når verifikasjoner er gjennomført for de ulike aksene er lagt til.

▣ HS RoboTrim 2018		112 days	Thu 04.01.18	Fri 08.06.18	
<i>Prosjektstart</i>		0 days	Thu 04.01.18	Thu 04.01.18	
Forberedelser		2 days	Thu 04.01.18	Fri 05.01.18	
▣ Frem til 1. presentasjon		16 days	Mon 08.01.18	Mon 29.01.18	
▸ Prosjektplanlegging		11 days	Mon 08.01.18	Mon 22.01.18	
▸ Forberedelser til 1. presentasjon		5 days	Tue 23.01.18	Mon 29.01.18	
1. Presentasjon		0 days	Mon 29.01.18	Mon 29.01.18	
▣ Mellom 1. og 2. presentasjon		40 days	Mon 29.01.18	Fri 23.03.18	
▸ Kravspesifikasjon		10 days	Tue 30.01.18	Mon 12.02.18	
<i>Få kravspesifikasjonen godkjent av TE</i>		0 days	Mon 12.02.18	Mon 12.02.18	
Kravspesifikasjon godkjent av TE		0 days	Wed 14.03.18	Wed 14.03.18	
▸ Konseptutvikling		27 days	Tue 13.02.18	Wed 21.03.18	38
<i>Ha et konsept klart for videre utvikling</i>		0 days	Mon 19.03.18	Mon 19.03.18	
Konsept for videre utvikling valgt		0 days	Tue 06.03.18	Tue 06.03.18	
Påskeferie/eksamen		12 days	Sat 24.03.18	Sat 07.04.18	
▣ Mellom 2. presentasjon og sluttpresentasjon		45 days	Mon 09.04.18	Fri 08.06.18	
▸ Utvikling av delsystemer		16 days	Mon 09.04.18	Mon 30.04.18	
Pitch-akse verifisert		0 days	Tue 24.04.18	Tue 24.04.18	
▸ Integrasjon av delsystemer		10 days	Tue 01.05.18	Mon 14.05.18	
Yaw-akse verifisert		0 days	Wed 09.05.18	Wed 09.05.18	
X-akse verifisert		0 days	Thu 10.05.18	Thu 10.05.18	
Y-akse verifisert		0 days	Sun 13.05.18	Sun 13.05.18	
▣ Forberede sluttdokumentasjon		5 days	Tue 15.05.18	Mon 21.05.18	
Z-akse verifisert		0 days	Wed 16.05.18	Wed 16.05.18	
Interface data/elektro OK		0 days	Thu 17.05.18	Thu 17.05.18	
<i>Levere sluttdokumentasjon</i>		0 days	Tue 22.05.18	Tue 22.05.18	
▣ Forberedelser sluttpresentasjon		13 days	Tue 22.05.18	Thu 07.06.18	
<i>Sluttpresentasjon</i>		0 days	Thu 07.06.18	Thu 07.06.18	



## **Pp.5 Arbeidsmiljø og praksis**

### **Pp.5.1 Arbeidstid**

Som følgere av SCRUM er prosjektperioden inndelt i sprinter, hvor en sprint er satt til å vare fra tirsdag til mandag. Grunnen for at disse dagene er valgt er for å inkludere helgen dersom noen ønsker å jobbe da, i tillegg var det ikke ønskelig for gruppen å ha alle tre SCRUM-hendelsene (planlegging, gjennomgang, retrospektiv) på samme dag. For å løse dette holdes sprintgjennomgang og retrospektiv på mandag, og planlegging på tirsdag.

Prosjektgruppen har avtalt kjernetid fra 09.00 til 15.00 på arbeidsdager, samt en fleksitid fra 15.00-17.00. I kjernetiden er det forventet at alle medlemmer er tilgjengelige på tildelt grupperom (I-114) dersom det ikke foreligger særskilt grunnlag. Fleksitiden gir mulighet til å jobbe andre steder, eller til andre tider, men inngår i ”forventet” arbeidstid. Pp-Tab.2 og Pp-Tab.3 viser de oppsatte arbeidsdagene før og etter påske.

**Før påske (09.01.2018 - 24.03.2018)**

	<b>Arbeidstid</b>	<b>Plan</b>
Mandag	16:00 - 19:00	Review og retrospektiv
Tirsdag	08:00 - 10:00	Planlegging
Onsdag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Avsatt arbeidstid
Torsdag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Avsatt arbeidstid
Fredag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Avsatt arbeidstid
Lørdag		
Søndag		

**Pp-Tab.2:** Arbeidstid, før påske**Etter påske (09.04.2018 - 29.05.2018)**

	<b>Arbeidstid</b>	<b>Plan</b>
Mandag	09:00 - 17:00	Avsatt arbeidstid, review og retrospektiv
Tirsdag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Planlegging og avsatt arbeidstid
Onsdag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Avsatt arbeidstid
Torsdag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Avsatt arbeidstid
Fredag	09:00 - 15:00 (2 timer)	Avsatt arbeidstid
Lørdag		
Søndag		

**Pp-Tab.3:** Arbeidstid, etter påske

## **Pp.5.2 SCRUM-hendelser**

### **Pp.5.2.1 Stand-ups**

Prosjektgruppen holder daglige stand-up-møter hver morgen kl. 09.05 på felles arbeidsdager. I dette møtet presenterer alle hvilke arbeidsoppgaver som har vært i fokus siden det forrige stand-up-møtet, hvordan dette arbeidet har gått, og hvilke arbeidsoppgaver som skal vektlegges nå.

Møtet holdes som en ren presentasjon av deltagerne og ingen kommentarer eller spørsmål blir derfor tillatt under denne fremføringen. Hvis eventuelle problemer har oppstått blir dette tatt videre av de involverte etter stand-up-møtet.

Dette møtet fungerer som en statusoppdatering av de forskjellige delene av prosjektet, og bidrar til gjennomsiktighet i prosessen. For å sørge for at alle i prosjektgruppen er inneforstått med den nåværende retningen av prosjektet, er det viktig at stand-up-møter blir holdt, og at gruppen hele veien jobber konstruktivt for å få feedback om pågående arbeid og prosessen generelt.

Gruppen har vedtatt at det skal være en lav terskel for eventuelle spørsmål og problemstillinger, og ordtaket ”ingen spørsmål er for dumme” skal i aller høyeste grad gjelde underveis i prosjektarbeidet. En åpen kommunikasjonsmodell vil forhåpentligvis øke innsikten og forståelsen av prosjektet blant individene i prosjektgruppen, i tillegg til at det skal motvirke at noen er redde for å ytre meningene sine, som er en viktig trivselsfaktor.

### **Pp.5.3 Gruppereglement**

For å sikre at alle medlemmer holder seg til felles normer og regler har prosjektgruppen valgt å opprette en gruppekontrakt som alle medlemmene har signert. Ved et skriftlig reglement er det lettere å holde kontroll på hva som har blitt avtalt og hvilke forpliktelser gruppemedlemmene har til gruppen.

For å sørge for at innholdet i kontrakten blir fulgt, ble det tidlig definert bøter for diverse kontraktsbrudd eller andre ”overtredelser” bestemt av gruppen. Alle pengene som blir samlet inn fra botordningen vil i løpet av prosjektforløpet gå



tilbake til gruppen i form av en sosial sammenkomst.

## Pp.5.4 Verktøy

### Pp.5.4.1 Kommunikationsverktøy

For å sørge for ryddig kommunikasjon, både internt og eksternt mellom de forskjellige aktørene involvert i prosjektet, har det viktig for prosjektgruppen å tidlig ha en gjennomtenkt plan for hvordan prosjektets kommunikasjon skal foregå. De tre kommunikasjonsplattformene som har blitt implementert i prosjektarbeidet er:

- Slack
- E-post
- Skype

**Slack** Slack er en digital plattform for prosjektorganisering [20]. Prinsippet bak Slack er å gjøre kommunikasjonen på en arbeidsplass eller under et prosjektarbeid enklere og mer oversiktlig. Alle gruppelemmene i en prosjektgruppe inviteres til et "Slack workspace". Her opprettes det kanaler som kommunikasjonen foregår over. Kanalene kan da organiseres etter forskjellig type kommunikasjon etter gruppens ønske.

Vår "workspace" på Slack er organisert etter flere kanaler. Noen av disse er for faglig kommunikasjon inndelt etter disiplin (tverrfaglig, elektro, maskin), vi har kanaler for møter (møteinnkalling, møtereferater) og en kanal for all informasjon vi mottar fra TE. I tillegg har vi en kanal der vi tar opp spørsmål som vi ønsker å få svar på (f.eks. fra USN eller TE), en kanal der vi har samlet all kommunikasjon som ikke er relevant for prosjektarbeidet (f.eks. avtale lunsjtid) og en kanal for fraværsmeldinger.

**E-post** Der Slack fungerer som gruppens primærkanal hva angår internkommunikasjon, ble e-post det naturlige valget med tanke på kommunikasjon med veiledere utenfor oppsatte møter. Møteinnkallinger og forsendelse av dokumentasjon foregår over e-post med både ekstern og intern veileder. Ryddig kommunikasjon på e-post var viktig å få på plass. Dette var spesielt viktig med oppdragsgiver TE, som er

lokalisert i Hønefoss. Avstanden resulterer i at antallet fysiske møter kan måtte innskrenkes, og heller øke lengden på møtene. All kommunikasjon imellom møtene må derfor foregå over e-post.

**Skype** Som nevnt er avstanden mellom prosjektgruppen og TE en vesentlig faktor i kommunikasjonen underveis i prosjektet. Vår løsning på denne utfordringen blir å avholde hyppige møter ved bruk av Skype. Skype er en tjeneste for å holde samtaler både over tekst eller lyd/video [21]. Dette muliggjør det å avholde møter uten at alle partene er fysisk på samme sted.

#### **Pp.5.4.2 Prosjekthåndteringsverktøy**

**JIRA** Det ble tidlig bestemt å bruke JIRA Software, som er et prosjekt-håndteringsverktøy skreddersydd for agile prosesser. Hovedgrunnen til at valget falt på JIRA, var at det ble anbefalt under introduksjonsuken for bachelorstudenter, samt at et av prosjektmedlemmene hadde erfaring med det fra tidligere sommerjobb.

Det var under hele valgprosessen viktig for prosjektgruppen å velge et prosjektverktøy som *faktisk hjalp* prosessen, ikke kompliserte den. Med alle funksjonalitetene i JIRA Software var det viktig å bli kjent med programvaren, samt bli enige om hvilke moduler og funksjonaliteter vi skulle implementere i vårt prosjektarbeid.

Hovedbruken av JIRA for gruppen vil være å håndtere backloggen og sprinter. JIRA sørger for at prosjektgruppen har en base hvor en fullstendig oversikt over sprinter og arbeidsoppgaver ligger tilgjengelig. Programvaren vil underveis i sprintene holde styr på arbeidsoppgaver som er til utføring og lage diverse oversiktsdiagrammer som viser for eksempel arbeidsflyt, hastighetsdiagram og burndown-diagram.

I tillegg til at JIRA fungerer som en organisator for prosessen, er det lett å integrere programvaren mot for eksempel Slack, som vi bruker for kommunikasjon internt i gruppen. Det foreligger også et godt utarbeidet API som gir mulighet til å utvikle egne grensesnitt mot JIRA dersom ønskelig.

### **Pp.5.4.3 Google Drive**

For å unngå tap av dokumenter, og for å ha god dokumentstruktur på utført arbeid benyttes Google Drive. Det er en felles mappe på Google Drive som alle gruppe-medlemmer har tilgang til. Å ha oversiktlig struktur var et krav fra gruppens side. Mappen er delt inn i to hovedkategorier; sprintrapporter og dokumentasjon.

Dokumentmappen er del inn i saksdokumentasjon og hoveddokumentasjon. I tillegg ligger brukerguider under denne mappen. Vi opprettet en brukerguide for kildeoppretting for å gjøre det enkelt å føre kilder i LaTeX format selv om man ikke har erfaring med dette fra tidligere arbeid.

Sakdokumentasjon er mappen for arbeid som er utført, men som ikke enda er samlet sammen til et hoveddokument. Denne er delt inn etter sprinter. Hver sprintmappe er igjen delt inn etter saker i form av ”user-stories”. På denne måten kan hver enkelt legge inn utført arbeid i mappen over den oppgaven som er utført. Hoveddokumentasjonsmappen er for å lagre den sammensatte dokumentasjonen for hele prosjektet etter hvert som denne blir ferdigstilt og eventuelt endret.

**Timelister** Sprintrapportmappen er delt inn på samme måte som saksdokumentasjonsmappen, altså etter sprinter. Hver sprintmappe inneholder et Google-regneark. Regnearket er delt inn i flere faner. Første fane inneholder sprintplan. Her ligger en liste over alle saker og undersaker, hvilket gruppe-medlem som har tatt på seg oppgaven og et estimat over arbeidsmengde. Neste fane inneholder sprintreview. Her loggføres status for sakene i sprinten. Hvert gruppe-medlem har deretter en egen fane der timelister blir ført. Hver timeliste inneholder dato, klokkeslett, saks-ID og kommentar for hva som ble gjort. Når et gruppe-medlem utfører arbeid fører hver enkelt inn sin egen timeliste. På denne måten får man en kontinuerlig oppdatert timelister etter hvert som arbeid blir utført.

## Pp.5.5 Latex

Prosjektgruppen har valgt å bruke LaTeX som primærverktøyet for dokumentbehandling. Da ikke alle medlemmer av gruppen har erfaring med LaTeX-miljøet, har det blitt opprettet dokumentmaler slik at dokumentasjonen fremstår oversiktlig og homogen.

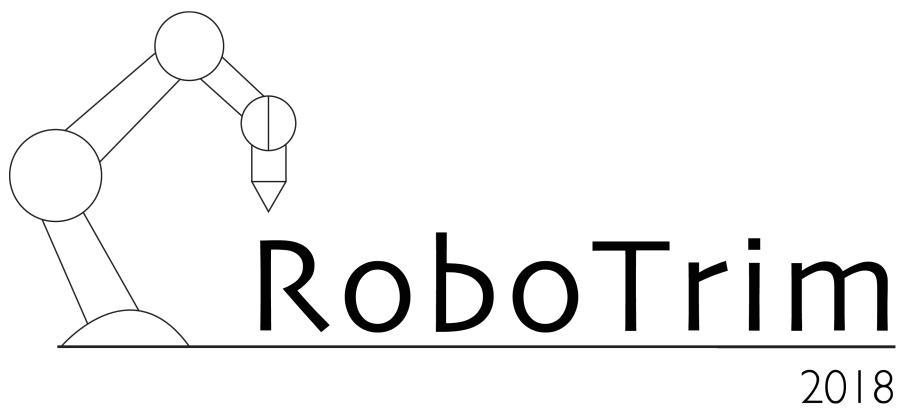
### Pp.5.5.1 Dokumentmaler

Malene som er laget i skrivende stund er:

- Sprintrapporter
  - Sprint-planlegging
  - Sprint-gjennomgang
  - Sprint-retrospektiv
- Individuelle timelister
- Møteinnkalling
- Møtereferat

Etter hvert som prosjektet utvikler seg vil det opprettes nye dokumentmaler etter behov. Det er så langt lagt vekt på maler for dokumenter som har et likt oppsett og som genereres hyppig.

**Python-script** For å generere sprintrapporter i ønsket format, er vi avhengige av å hente ut data om sprinter fra JIRA. I tillegg skal det på ukentlig basis leveres timelister til intern veileder. Selv om det fins funksjonalitet for dette i JIRA, er planen på sikt å skreddersy et program som håndterer oppstart og avslutning av sprint med tanke på JIRA, Google Drive og rapporter. For øyeblikket er det programmert et Python-script som via JIRA-APIet henter ut dataen for våre sprintrapporter. Scriptet eksporterer dataen til excel-format. I tillegg er det programmert et script som kan brukes i slutten av hver sprint for å eksportere dataen fra excel til en ferdig sprintrapport generert i Latex.



Kd - Krav og Design

---

Dokumentasjon av krav og designbeslutninger for HS-RoboTrim 2018.

Versjon: 1.1

Revisjonshistorie: Krav			
Versjon:	Dato:	Endring:	Av:
1.0	14.03.2018	Opprettet dokument. Lagt til: "Forklaring av kravkort" "Krav" "Designparametere" "Sporbarhet"	SLA
1.1	20.05.2018	Endret: "Byttet ut kravkort med kravtabell" "Rettlest og omformulert" "Lagt til epic-kort" "Oppdatert sporbarhet mellom krav, epics og user-stories" "Endret og oppdatert revisjonstabeller"	SLA

## Innholdsfortegnelse

### Kd **Krav**

Kd.1 <b>Kravhåndtering og designparametere</b>	<b>1</b>
Kd.1.1 Designparametere	4
Kd.1.2 Sporbarhet	5

## Liste over figurer

Kd-Fig.1	Status på krav	1
Kd-Fig.2	Hygieniske designparametere	4
Kd-Fig.3	Epic-kort del 1	5
Kd-Fig.4	Epic-kort del 2	6



## Kd.1 Kravhåndtering og designparametere

Kapittelet tar for seg hvordan kravene er satt opp, kravspesifikasjonen med revideringshistorie tilhørende hvert krav, hvorfor prosjektgruppen velger å ha designparametere og hvordan sporbarheten mellom krav, epics og user-stories er løst.

Kravene prosjektgruppen har tatt utgangspunkt i gjennom prosjektperioden er gitt av, eller utarbeidet i samarbeid med TE. I tråd med SCRUM, er kravene fremstilt i form av *epics* og *user-stories* fra backloggen. For å beskrive kravene til RoboTrim, er det utarbeidet en tabell med kravene. Tabellen inneholder krav-ID, reviderings-ID (hvis noe i kravet har blitt forandret), beskrivelse av krav, opphav, dato for når kravet er godkjent, tilhørende epics og tester, prioritet og eventuelle kommentarer.

**Krav-ID:** Identifikatoren for kravet er gitt ved bruk av en kravkode (*KR-XX*). Feltet for krav-ID innehar én av de fire forskjellige fargene som indikerer nåværende status på kravet, se Kd-Fig.1. I påfølgende kolonne vil det fremkomme en reviderings-ID som indikerer om kravet har blitt endret. Oversikten til revideringshistorien er vedlagt i Ve-Gen.2.

Status	
Verifiseres	Kravet må testes
Oppfylt	Akseptert ved test
Ikke oppfylt	Kravet ble ikke oppfylt under test
Slettet	Kravet er slettet

Kd-Fig.1: Status på krav

**Opphav:** Definerer hvor kravet stammer fra. Står det "TE" er det Tronrud Engineering som har gitt kravet. **Dato godkjent:** Inneholder datoen da kravet ble godkjent av TE.

**Epic:** Beskriver kravet kort og konsist uten teknisk sjargong. I kravkortet blir hver tilhørende epic beskrevet med en ID som har underliggende user-stories. Dette blir beskrevet i avsnitt 1.4 under sporbarhet.

**Test:** Inneholder test-ID som beskriver hvilke tester som er gjennomført for å verifisere kravet. Statusen på testen vil markeres med fargene grønn, gul eller rød, som

er beskrevet i test- og verifikasjonsplanen Te.1

**Prioritet:** I tabellen er det en kolonne med en rangering fra A til C, der prioritetsgraden beskriver viktigheten av at kravet blir oppfylt etter TEs spesifikasjoner.

- A-krav: Krav som skal møtes.
- B-krav: Krav som ikke prioriteres under bachelorprosjektet. Men som vil ha betydning for faser senere i utviklingen. Det vil tilrettelegges for disse kravene underveis i bachelorprosjektet.
- C-krav: Krav som ikke prioriteres under bachelorprosjektet. Men som vil ha betydning senere i utviklingen.

Krav-ID	Revisjon	Krav	Opphav	Dato godkjent	Epics	Test	Prioritet	Kommentar
KR-01	Rev.02	Bevegelsesbanen til systemet langs Y-aksen skal være minimum 300 mm.	TE	03.12.2018	RT-464	VTI-01.KR-01	A	Se vedlegg angående systemet (oppgavebeskrivelse). X-akse langs båndets bevegelsesreting, Y-aksen på tvers av bånd Z-aksen opp fra bånd. Aksesystemet følger høyrehåndsregel.
KR-02	Rev.02	Bevegelsesbanen til systemet langs Z-aksen skal være minimum 90 mm.	TE	03.12.2018	RT-494	VTI-01.KR-02	A	Se vedlegg angående systemet (oppgavebeskrivelse). X-akse langs båndets bevegelsesreting, Y-aksen på tvers av bånd Z-aksen opp fra bånd. Aksesystemet følger høyrehåndsregel.
KR-03	Rev.02	Knivenheten til systemet skal ha bevegelsesområde ±45° om X-aksen.	TE	03.12.2018	RT-361, RT-372	VTI-01.KR-03	A	Se vedlegg angående systemet (oppgavebeskrivelse). X-akse langs båndets bevegelsesreting, Y-aksen på tvers av bånd Z-aksen opp fra bånd. Aksesystemet følger høyrehåndsregel.
KR-04	Rev.02	Knivenheten til systemet skal ha bevegelsesområde ±45° om Y-aksen.	TE	03.12.2018	RT-361, RT-372	VTI-01.KR-04	A	Se vedlegg angående systemet (oppgavebeskrivelse). X-akse langs båndets bevegelsesreting, Y-aksen på tvers av bånd Z-aksen opp fra bånd. Aksesystemet følger høyrehåndsregel.
KR-05	Rev.02	Systemet skal kunne fjerne melaninflekker på laksefileter der flekkene har et totalareal opptil 12000mm <sup>2</sup> .	Basert på bilder av laksefileter gitt av TE	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VPT-01.KR-05	A	Se vedlegg (utregning av størrelse på flekk)
KR-06	Rev.02	Systemet skal kunne fjerne tre melaninflekker per laksefilet.	TE	02.09.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VTT-01.KR-06.KR-07, KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	A	Flekkene har areal som oppgitt i KR-05
KR-07	Rev.02	Systemet skal kunne fjerne melaninflekker som er vilkårlig plassert på laksefiletene.	TE	02.09.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VTT-01.KR-06.KR-07, KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	A	Flekkene har areal som oppgitt i KR-05
KR-08	Rev.02	Systemet skal kunne prosessere én laksefilet per sekund.	TE	02.09.2018	RT-394, RT-463, RT-464, RT-494	VTT-01.KR-06.KR-07, KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	A	Se vedlegg angående systemet. (oppgavebeskrivelse)
KR-09	Rev.02	Systemet skal kunne prosessere laksefileter som beveger seg med en hastighet på minst 1000mm/s langs X-aksen.	TE	02.09.2018	RT-463, RT-464, RT-494	VTT-01.KR-06.KR-07, KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	A	Se vedlegg (utregning av rullebåndhastighet).
KR-10	Rev.02	Styresystemet må kunne generere kinematikk for manipulatoren slik at endestykket følger planlagt bane.	TE	03.12.2018	RT-394	VTT-01.KR-06.KR-07, KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	A	
KR-11	Rev.02	Med input fra deteksjonssystemet skal knivenheten på systemet bevege seg i en bane mellom inputkoordinatene.	TE	02.09.2018	RT-361, RT-372, RT-394	VTT-01.KR-06.KR-07, KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	A	
KR-12	Rev.02	Systemet skal kunne operere med en nytelast på 2 kg.	TE	02.09.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VA-01.KR-12 VA-02.KR-12 VA-03.KR-12 VA-04.KR-12 VA-05.KR-12 VA-06.KR-12 VA-07.KR-12 VA-08.KR-12 VA-09.KR-12 VA-10.KR-12	A	Knivsystemet utviklet av TE på 2kg.
KR-13	Rev.01	Systemet skal bare kunne startes ved en valgt aktivering av en betjeningsinnretning.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VTT-01.KR-13	B	Middels-prioritert fordi dette kravet vil ikke være fysisk testbart annet enn at det legges til rette for funksjonaliteten i elektrisk/software-system, og at tiltenkt plassering kan fremkomme på modeller.
KR-14	Rev.01	Systemet skal ha en betjeningsinnretning som gjør det mulig å stanse systemet.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VTT-01.KR-14.KR-14/02	B	Middels-prioritert fordi dette kravet vil ikke være fysisk testbart annet enn at det legges til rette for funksjonaliteten i elektrisk/software-system, og at tiltenkt plassering kan fremkomme på modeller.
KR-14/01	Rev.01	Systemets stoppfunksjon skal overstyre startfunksjonen.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VTT-01.KR-14/01	B	Paragraf "1.2.4.1 Normalstopp" i forskrift om maskiner.
KR-14/02	Rev.01	Når stoppfunksjonen aktiveres skal aksesystemet plasseres i en forhåndsdefinert posisjon.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VTT-01.KR-14/02	B	Paragraf "1.2.4.2 Driftstopp" i forskrifter om maskiner.
KR-14/03		Når stoppfunksjonen aktiveres skal energitilførselen til drivinnretningen til knivenheten brytes momentant.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPT-01.KR-14/03	B	Paragraf "1.2.4.2 Driftstopp" i forskrifter om maskiner.
KR-15	Rev.01	Systemet skal utstyres med en nødstopppinnretning.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPI-01.KR-15	B	Middels-prioritert fordi dette kravet vil ikke være fysisk testbart annet enn at det legges til rette for funksjonaliteten i elektrisk/software-system, og at tiltenkt plassering kan fremkomme på modeller.
KR-15/01	Rev.01	Når nødstopppinnretningen er aktivert, skal stoppfunksjonen opprettholdes ved at nødstopppinnretningen forblir i sperret stilling inntil den blir frigjort.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPT-01.KR-15/01.KR-15/02	B	
KR-15/02	Rev.01	Nødstopppinnretningen skal bare kunne frigjøres ved en tilsikket handling.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPT-01.KR-15/01.KR-15/02	B	
KR-15/03	Rev.01	Frigjøring av nødstopppinnretningen skal ikke føre til at systemet begynner å gå igjen.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPT-01.KR-15/03	B	
KR-15/04	Rev.01	Energitilførselen til de aktuelle drivinnretningene skal stoppe momentant i det øyeblikket nødstopppinnretningen blir aktivert.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPT-01.KR-15/04	B	
KR-16	Rev.01	Systemet skal være utstyrt med bevegelig vern med forrigling.	Forskirt om maskiner	03.12.2018	XX	VPI-01.KR-16	C	C-prioritert fordi dette kravet ikke vil behøve tilrettelegging underveis i bachelorprosjektet.
KR-16/01		Forriglingen skal konstrueres slik at den bare kan bli justert ved en tilsikket handling.	Forskirt om maskiner	02.09.2018	XX	VPT-01.KR-16/01.KR-16/02.KR-16/03	C	
KR-16/02		Forriglingen skal være forsynt med en koblingsmekanisme som hindrer at farlige maskinfunksjoner starter før den er lukket.	Forskirt om maskiner	02.09.2018	XX	VPT-01.KR-16/01.KR-16/02.KR-16/03	C	
KR-16/03		Forriglingen skal være forsynt med en koblingsmekanisme som gir stopporde når den ikke lenger er lukket.	Forskirt om maskiner	02.09.2018	XX	VPT-01.KR-16/01.KR-16/02.KR-16/03	C	
KR-17	Rev.02	Kapslingsgraden til systemet må være IP69k eller IP67-washdown godkjent.	TE	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464	VPT-01.KR-17	A	For at systemet skal være spylesikkert med høyt trykk. Krav fra Tronrud: "Utstyret må kunne vaskes".
KR-18	Rev.02	Matkontaktmaterialene brukt i systemet skal ikke avgi bly eller kadmium.	Matkontaktforskriften	03.12.2018	RT-464, RT-494	VA-01.KR-18	A	Grad av avgivelse er henvisning til vedlegg IV. Matkontaktforskriften: <a href="https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1993-12-21-1381/#">https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1993-12-21-1381/#</a> .
KR-19	Rev.02	Matkontaktmaterialene brukt i systemet skal ha en overflateruhet på maksimum 0,8 µm (Ra).	EHDG Guidelines	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-464, RT-494	VPI-01.KR-19	A	Hygienisk design.
KR-20	Rev.02	Deler brukt i systemet som ikke er i direkte kontakt med mat, skal ha en overflateruhet på maksimum 3,2 µm (Ra).	EHDG Guidelines	02.09.2018	RT-464, RT-494	VPI-01.KR-20	A	Hygienisk design.
KR-21	Rev.02	Systemet skal ha kanter med en radius på minimum 3mm.	EHDG Guidelines	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VTI-01.KR-21	A	Hygienisk design. Burde omformuleres og legges inn i tabellen for "Designparameter". "Det skal etterstrebes å ha innvendige kanter med radius på minimum 3mm".
KR-22	Rev.02	Aksesystemets stillestående overflater skal ha en vinkel slik at væsker og organisk materiale dreneres ut av systemet.	EHDG Guidelines	03.12.2018	RT-361, RT-463, RT-464, RT-494	VTI-01.KR-22	A	Hygienisk design. Ettertraktet med større enn 6mm. Unnvikelse av dette krav må dokumenteres iht. punkt 5.4 Compability with cover requirements, EHDG Guidelines.
KR-23	Rev.02	Kontaktoverflaten til bolter brukt i systemet skal tettes med et ikke-vannløselig stoff.	EHDG Guidelines	03.12.2018	RT-463, RT-464, RT-494	VA-01.KR-23	C	Lav-prioritert fordi dette kravet ikke vil behøve tilrettelegging underveis i bachelorprosjektet. Hygienisk design. Unnvikelse av dette krav må dokumenteres iht. punkt 5.4 Compability with cover requirements EHDG Guidelines.
KR-24	Rev.02	Materialene brukt i systemet skal ikke absorbere stoffer under operasjon.	TE	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VA-01.KR-24	A	Hygienisk design. Unnvikelse av dette krav må dokumenteres iht. punkt 5.4 Compability with cover requirements EHDG Guidelines.
KR-25	Rev.02	Deler skal smøres med smøremiddel i hht. USDA/NSF-H1 i matsonen.	EHDG Guidelines	03.12.2018	RT-463, RT-464, RT-494	VA-01.KR-25	C	Lav-prioritert fordi dette kravet ikke vil behøve tilrettelegging underveis i bachelorprosjektet.
KR-26	Rev.02	Polymeriske materialer skal være i hht. EU-regulering 10/2011.	EHDG Guidelines	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-464, RT-494	VA-01.KR-26	A	
KR-27	Rev.02	Overflater skal ha minimum 3 grader fallvinkel.	TE	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VTI-01.KR-27	A	For at vann skal dreneres vekk fra systemet. Kravet må omformuleres: "Stillestående overflater skal ha minimum 3 grader fallvinkel".
KR-28	Rev.02	Ved bruka av bolter skal disse være sekskantede.	TE	03.12.2018	RT-361, RT-372, RT-463, RT-464, RT-494	VTI-01.KR-28	A	Kravet må omformuleres: "Bolter som kan eksponeres for organisk materiale skal være sekskantede".

### Kd.1.1 Designparametere

Prosjektgruppen har i samråd med bedriften valgt å lage en tabell med designparametere i forbindelse med hygienisk design. Siden krav skal kunne testes og være målbare, ble det tidligere i prosjektperioden bestemt at flere av retningslinjene rundt hygienisk design skulle listes i et eget dokument. Dette ble gjort fordi deler rundt hygienisk design baserer seg på erfaring og skjønn, noe som førte til at flere parametere ble lite målbare og dermed vanskelige å teste. I Kd-Fig.2 er designparameterene, altså retningslinjene prosjektgruppen har fulgt under utviklingen av systemet, listet.

Parameter-ID	Designparametere	Opphav	Godkjent av	Kommentar
DE-01	Aksesystemet skal være lett å vaske.	H.s. 52	TE	Så få deler som mulig skal demonteres for at systemet skal kunne vaskes.
DE-02	Designet skal tillate inspeksjoner uten demontering.	H.s. 52	TE	Designet må være åpent og tilgjengelig. Der designet ikke er dette skal andre metoder brukes, som "Clean in Place" (CIP)-metoder.
DE-03	Aksesystemet skal være selvdrenerende.	H.s. 53	TE	Overflater burde ha en tilting som drenerer fuktighet/vann vekk fra produksjonen.
DE-04	Designet skal ikke tillate at organisk materiale og fuktighet samler seg og bli værende på systemet etter vask.	H.s. 52	TE	Groper og utstikkende geometri skal unngås.
DE-05	Feste så lite som mulig med bolter på kontaktoverflater.	H.s. 53	TE	Bolter er vanskelig å gjøre umottakelige for oppsamling av fuktighet og organisk materiale.
DE-06	Minimaliser kontaktoverflateareal så mye som mulig.	H.s. 55	TE	Des større areal des større risiko for kontaminering.
DE-07	Stål som skal brukes i systemet skal ha en korrosjonsbestandighet som er den samme eller bedre enn AISI 316	Skypemøte med TE	TE	AISI 316 er et rustfritt stål som er godt egnet til bruk rundt 0 grader, og har god resistanse for spaltkorrosjon og punktkorrosjon.
DE-08	Kontaktmaterialene skal være inerte for stoffene brukt under prosessering og vasking.	E, s. 6, 4,1	TE	Materialene skal ikke reagere med operasjonsomgivelsene
DE-09	Materialene i systemet skal være av typen: Ikke giftige, korrosjonsbestandige og kjemisk stabile.	E, s. 6, 4,2	TE	
DE-10	Unngå metall-til-metall-kontaktoverflater.	T.E	TE	Bakterier kan dannes. Hvis uungåelig sørg for at det er lett å ta fra hverandre for vasking og inspeksjon.
DE-11	Deler fra systemet skal ikke kunne falle ned i matsonen	T.E	TE	
DE-12	Systemet/komponenter må ha en åpen eller lukket løsning for å lettliggjøre vasking	T.E	TE	For at systemet skal være hygienisk må alt av deler kunne vaskes og derfor må deler være åpne eller lukkede

**Kd-Fig.2:** Hygieniske designparametere

## Kd.1.2 Sporbarhet

For å enkelt kunne spore sammenhengen mellom krav, epics og user-stories, er det valgt å bruke unike epic-kort. Grunnen til dette er for at det skal være mulig å kunne knytte user-stories opp mot flere krav og flere epics opp mot krav. Øverst er det en epic-ID som er lik koden fra Jira. Det samme gjelder alt av user-stories. Epic-korte fungerer på den måten at alle epics har underliggende user-stories som er knyttet opp mot, eller har en relasjon til hvert krav.

RT-361		RT-372	
<b>Beskrivelse (Epic-story)</b>		<b>Beskrivelse (Epic-story)</b>	
Som en oppdragsgiver ønsker jeg at kravene til pitchen til systemet skal være oppfylt for at kniven skal kunne kutte på ønsket vinkling.		Som en oppdragsgiver ønsker jeg at kravene til yaw med tanke på systemet skal være oppfylt for at kniven skal kunne kutte ved ønsket vinkling.	
<b>Krav</b>	<b>User story RT-ID</b>	<b>Krav</b>	<b>User story RT-ID</b>
KR-03	RT-367, RT-368, RT-369, RT-371	KR-03	RT-412, RT-413, RT-414, RT-417
KR-04	RT-367, RT-368, RT-369, RT-371	KR-04	RT-412, RT-413, RT-414, RT-417
KR-05	RT-367, RT-370	KR-05	RT-412, RT-414
KR-06	RT-367, RT-370	KR-06	RT-412, RT-414
KR-07	RT-367, RT-370	KR-07	RT-412, RT-414
KR-11	RT-367, RT-370	KR-11	RT-412
KR-12	RT-365, RT-366, RT-367, RT-368, RT-369 RT-370	KR-12	RT-410, RT-411, RT-412, RT-413, RT-414
KR-17	RT-363, RT-371	KR-17	RT-406, RT-417
KR-19	RT-368, RT-369	KR-19	RT-410, RT-413, RT-414
KR-21	RT-368	KR-21	RT-413
KR-22	RT-368	KR-24	RT-406, RT-407, RT-410, RT-413
KR-24	RT-368	KR-26	RT-406, RT-413, RT-414
KR-26	RT-363, RT-368, RT-369	KR-27	RT-410, RT-413
KR-27	RT-368, RT-369	KR-28	RT-413, RT-414
KR-28	RT-368, RT-369		
<b>Kommentar</b>		<b>Kommentar</b>	

Kd-Fig.3: Epic-kort del 1

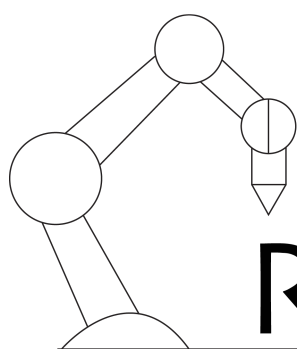
RT-394	
<b>Beskrivelse (Epic-story)</b>	
Som en oppdragsgiver ønsker jeg at styringen av systemet tilfredstiller kravene som er satt for å ha et system som fungerer.	
Krav	User story RT-ID
KR-08	RT-444, RT-445
KR-10	RT-387, RT-441
KR-11	RT-389, RT-441
<b>Kommentar</b>	

RT-463	
<b>Beskrivelse (Epic-story)</b>	
Som en oppdragsgiver ønsker jeg at kravene til X-aksen av systemet skal være oppfylt for at kniven skal kunne kutte på ønsket posisjon.	
Krav	User story RT-ID
KR-05	RT-451, RT-456
KR-06	RT-451, RT-456, RT-460
KR-07	RT-451, RT-456
KR-08	RT-451, RT-456, RT-460
KR-09	RT-451, RT-456
KR-12	RT-460
KR-17	RT-456
KR-21	RT-461, RT-462
KR-22	RT-461, RT-462
KR-23	RT-461, RT-462
KR-24	RT-449, RT-456, RT-461
KR-25	RT-449
KR-27	RT-461, RT-462
KR-28	RT-461
<b>Kommentar</b>	

RT-464	
<b>Beskrivelse (Epic-story)</b>	
Som en oppdragsgiver ønsker jeg at kravene til Y-aksen av systemet skal være oppfylt for at kniven skal kunne kutte på ønsket posisjon.	
Krav	User story RT-ID
KR-01	RT-467, RT-468, RT-470, RT-471, RT-473
KR-05	RT-467, RT-469, RT-470, RT-473, RT479
KR-06	RT-467, RT-469, RT-470, RT-473, RT479
KR-07	RT-467, RT-469, RT-470, RT-473, RT479
KR-08	RT-467, RT-469, RT-470, RT-473, RT479
KR-09	RT-467, RT-469, RT-470, RT-473, RT479
KR-12	RT-467, RT-468, RT-469, RT-470
KR-17	RT-467, RT-471, RT-478
KR-18	RT-465, RT-474, RT-478
KR-19	RT-468, RT-474
KR-20	RT-465, RT-468, RT-474
KR-21	RT-468, RT-474
KR-22	RT-468
KR-23	RT-467, RT-473, RT-474
KR-24	RT-465, RT-467, RT-468
KR-25	RT-465
KR-26	RT-465, RT-473, RT-474
KR-27	RT-468
KR-28	RT-467, RT-468, RT-473, RT-474
<b>Kommentar</b>	

RT-494	
<b>Beskrivelse (Epic-story)</b>	
Som en oppdragsgiver ønsker jeg at kravene til Z-aksen av systemet skal være oppfylt for at kniven skal kunne kutte på ønsket posisjon.	
Krav	User story RT-ID
KR-02	RT-482, RT-483, RT-485, RT-487, RT-488
KR-05	RT-482, RT-484, RT-485, RT-488, RT-493
KR-06	RT-482, RT-484, RT-485, RT-488, RT-493
KR-07	RT-482, RT-484, RT-485, RT-488, RT-493
KR-08	RT-482, RT-484, RT-485, RT-488, RT-493
KR-09	RT-482, RT-484, RT-485, RT-488, RT-493
KR-12	RT-482, RT-483, RT-484, RT-485
KR-17	RT-482, RT-487, RT-492
KR-18	RT-480, RT-483, RT-489, RT-492
KR-19	RT-483, RT-489
KR-20	RT-480, RT-481, RT-483, RT-489
KR-21	RT-483, RT-489
KR-22	RT-483
KR-23	RT-482, RT-488
KR-24	RT-480, RT-482, RT-483, RT-489
KR-25	RT-480
KR-26	RT-480, RT-488, RT-489
KR-27	RT-483, RT-489
KR-28	RT-482, RT-483, RT-488
<b>Kommentar</b>	

Kd-Fig.4: Epic-kort del 2



# RoboTrim

---

2018

Te - Teknisk

---

Teknisk arbeid i tilknytning til HS RoboTrim 2018.

Versjon: 1.5

<b>Revisjonshistorie: Teknisk</b>			
<b>Versjon:</b>	<b>Dato:</b>	<b>Endring:</b>	<b>Av:</b>
1.0	14.03.2018	Opprettet dokument.	EH
1.1	18.05.2018	Lagt til: "Kinematikk" "Konseptutvikling" "Valg av elektrisk hardware" "Fysiske krav og motordimensjonering" "Reguleringssystemet"	ØJCÅ
1.2	19.05.2018	Lagt til: "Hygienisk design" "Styrkeberegninger" "Sveis" "Software-arkitektur" "Robotic Operating System (ROS)"	ØJCÅ
1.3	20.05.2018	Lagt til: "Endelig konsept: design og begrunnelse"	ØJCÅ
1.4	20.05.2018	Lagt til: "Software" "Formler brukt i programmering"	EH
1.5	21.05.2018	Lagt til: "Konklusjon"	ØJCÅ



# Tek-Ma - Teknisk, Maskin

---

Maskinteknisk arbeid gjort i utviklingen av HS RoboTrim 2018.

Versjon: 1.0

---

## Innholdsfortegnelse

### Tek-Ma **Tek-Ma**

Tek-Ma.1	<b>Hygienisk design</b>	<b>1</b>
Tek-Ma.1.1	Vaskbarhet	1
Tek-Ma.1.2	Drenering	2
Tek-Ma.1.3	Festekontaktoverflater	3
Tek-Ma.1.4	Kjemisk stabilitet	3
Tek-Ma.2	<b>Konseptutvikling</b>	<b>4</b>
Tek-Ma.2.1	Overblikk	4
Tek-Ma.2.2	Implementasjon av hygienisk design	5
Tek-Ma.2.3	Rammeverk	6
Tek-Ma.2.4	Løsninger og utvikling av forflytting langs X-aksen	6
Tek-Ma.2.5	Løsninger og utvikling av forflytting langs Y-aksen	8
Tek-Ma.2.6	Løsninger og utvikling av forflytting langs Z-aksen	9
Tek-Ma.2.7	Løsninger og utvikling på rotasjon av Z-aksen	11
Tek-Ma.2.8	Løsninger og utvikling på rotasjon av X- og Y-aksen	13
Tek-Ma.2.9	Oppsummering og konklusjon	14

<b>Tek-Ma.3</b>	<b>Endelig konsept: design og begrunnelse</b>	<b>15</b>
Tek-Ma.3.1	Beskrivelse av system	16
Tek-Ma.3.2	Akseoppsett	16
Tek-Ma.3.3	Rammeverk	26
Tek-Ma.3.4	Festemidler	28
Tek-Ma.3.5	Sammenfatning	29
<b>Tek-Ma.4</b>	<b>Styrkeberegninger</b>	<b>30</b>
Tek-Ma.4.1	Påkjenninger	32
Tek-Ma.4.2	Materialvalg	33
Tek-Ma.4.3	Sikkerhetsfaktor	35
Tek-Ma.4.4	FEM-analyse for pitch-aksen	37
Tek-Ma.4.5	FEM-analyse for yaw-aksen	38
Tek-Ma.4.6	FEM-analyse for X-aksen	39
Tek-Ma.4.7	FEM-analyse for Y-aksen	39
Tek-Ma.4.8	FEM-analyse for Z-aksen	40
Tek-Ma.4.9	Konklusjon	41
<b>Tek-Ma.5</b>	<b>Sveiseforbindelser</b>	<b>43</b>
Tek-Ma.5.1	Sveis: Pitch	43

---

Tek-Ma.5.2	Sveis: Rotasjon om yaw	45
Tek-Ma.5.3	Aksel med på-sveisede drev tilhørende Z-aksen	47

## Liste over figurer

Tek-Ma-Fig.1	Initielt konsept	4
Tek-Ma-Fig.2	Bruk av spacere for å redusere platekontakt	5
Tek-Ma-Fig.3	Sekskantede bolthoder	5
Tek-Ma-Fig.4	Forenklet rammeverk	6
Tek-Ma-Fig.5	Løper	6
Tek-Ma-Fig.6	Drivehjul og festebrakett	7
Tek-Ma-Fig.7	Drift av løper langs X-aksen	7
Tek-Ma-Fig.8	Styring av Y-aksen	8
Tek-Ma-Fig.9	Overføring av bevegelse til løper	9
Tek-Ma-Fig.10	Feste av linæraktuator	9
Tek-Ma-Fig.11	Tolomatic lineæraktuator med Kollmorgen AKM-motor	10
Tek-Ma-Fig.12	Første løsning av Z-bevegelse	10
Tek-Ma-Fig.13	Rotasjon om Z-akse	11
Tek-Ma-Fig.14	Kulelager til Z-akse	12
Tek-Ma-Fig.15	Overføring til <i>pitch</i> -akse	12
Tek-Ma-Fig.16	<i>Pitch</i> av kniv	13

---

Tek-Ma-Fig.17	Tenkt arbeidssituasjon for systemet	14
Tek-Ma-Fig.18	Overblikk	15
Tek-Ma-Fig.19	XYZ abc [22]	16
Tek-Ma-Fig.20	Pitch	17
Tek-Ma-Fig.21	Yaw	19
Tek-Ma-Fig.22	Yaw uten plater	20
Tek-Ma-Fig.23	U-profil	20
Tek-Ma-Fig.24	X-akse	21
Tek-Ma-Fig.25	Rullehjul med skinner	22
Tek-Ma-Fig.26	Y-akse	23
Tek-Ma-Fig.27	Z-akse	25
Tek-Ma-Fig.28	Rammeverk	26
Tek-Ma-Fig.29	Side ramme	27
Tek-Ma-Fig.30	Lagerholder parallellaksel	27
Tek-Ma-Fig.31	Bolt, mutter og skiver	28
Tek-Ma-Fig.32	Spenningskonsentrasjon i kanten av et hull i en plate under påkjenning	33
Tek-Ma-Fig.33	Pittingkorrosjon AISI 316	36

Tek-Ma-Fig.34	Spenningskonsentrasjon mellom overføringsarmen og akselen for pitch	37
Tek-Ma-Fig.35	Yaw med aksel og brakett	38
Tek-Ma-Fig.36	X-aksen med avstivningsplater og støtteplater	39
Tek-Ma-Fig.37	Avstivningsplate på Y-aksen	40
Tek-Ma-Fig.38	Rammeverk for Z-aksen med avbildet firkantprofil med høyeste spenninger	40
Tek-Ma-Fig.39	Sveis for pitch-aksen.	44
Tek-Ma-Fig.40	Beregninger på sveisen som binder låsekoppen og festebrakettten sammen.	46

## Liste over tabeller

Tek-Ma-Tab.1	Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger	30
Tek-Ma-Tab.2	Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger	31
Tek-Ma-Tab.3	Legering, AISI 316	34
Tek-Ma-Tab.4	Mekaniske egenskaper, AISI 316	34
Tek-Ma-Tab.5	Variabler og symboler brukt i vedlegg om sveiseberegninger	42



## Tek-Ma.1 Hygienisk design

Følgende dokument skal beskrive hygienisk design og hvorfor det er viktig i næringsproduksjon. Tiltak og krav til næringsmiddelhygiene stilles primært av mattilsynet, disse er i stor grad basert på europeiske regler. Systemer som brukes i prosessering av næringsmidler har strenge krav, noe som i visse tilfeller kan føre til redusert funksjonalitet. Dette kan spesielt gi utfordringer med tanke på oppbygning, pris og styrke, til et system som skal brukes i næringsmiddelprosessering.

Et system som følger retningslinjer for hygienisk design er et design som hovedsaklig skal muliggjøre vask uten avanserte demonteringer. Systemet skal være konstruert slik at dødpunkter som kan fungere som oppsamlingspunkter for vann og organisk materiale unngås. Dette forebygger mot dannelse og oppsamling av skadelige fremmedstoffer og mikroorganismer. De hygieniske retningslinjene som er fulgt i designet av RoboTrim har bakgrunn i følgende manualer:

- Hygiene Manual for Marine Harvest ASA [23]
- EHEDG (*European Hygienic Design Group*) [24]

### Tek-Ma.1.1 Vaskbarhet

Krysskontamineringen kan ofte spores tilbake til prosesseringsfasen. Det er derfor viktig at systemet er ”vaskbart” i henhold til europeiske standarder satt av EHEDG. For *god* vaskbarhet kreves god tilgjengelighet for vasking av alle kontaktoverflatene i systemet, uten avanserte demonteringer [24]. Dette gjennomføres med lukkede løsninger med tilfredstillende IP-grad, eller med åpne løsninger som gir god tilgjengelighet.

## **Tek-Ma.1.2 Drenering**

Under vasking og operasjon er det viktig at systemet ikke samler opp organisk materiale som kan generere skadelige mikroorganismer og bakterietyper. Stillestående vann gir gode vekstforhold for bakterier og skal derfor unngås. God drenering, vinklet vekk fra systemet hindrer dette. EHEDG stiller krav til at stillestående overflater skal ha en fallvinkel på minimum tre grader [24]. God drenering betyr at mengden oppsamlingspunkter er på et minimum. Oppsamlingspunkter er områder hvor vann og organisk materiale samles opp og danner bakteriekulturer, som et resultat av ikke tilfredstillende drenering. Disse punktene kalles også dødpunkter.

### **Tek-Ma.1.2.1 Oppsamlingspunkter**

Oppsamlingspunkter kan være svært skadelig for produksjonen av mat, hvorav fiskeindustrien er spesielt utsatt for flere type skadelige mikroorganismer. Disse oppsamlingspunktene samler opp stillestående vann, noe som tillater bakterievekst. Noen *vanlige* bakterietyper i norske omgivelser er [23] :

- Vibrio cholera
- Salmonellabakterie
- Escherichia coli
- Staphylococcus aureus
- Clostridium botulinium

Disse kan forhindres med god drenering og tilgjengelighet for vasking med et godt hygienisk design. Minimum radius ved bruk av innvendige avrundinger ("filleter") skal i henhold til EHEDG ha en radius som tillater drenering og forhindring av dødpunkter. Denne radiusen skal være på minimum 3mm [24], noe som burde etterstrebes så langt det lar seg gjøre. En så liten radius kan dog være problematisk å få til på små komponenter.

### **Tek-Ma.1.2.2 Overflatetilstand**

Vaskingen og dreneringen av systemet er avhengig av at overflatene lar seg drenere. Overflaten skal altså ha lave abrasive egenskaper, som ofte krever etterbehandling (polering). Overflateruheten er målt som den aritmetiske gjennomsnittsverdien til avviket mellom mikrotoppene og middellinjen til overflaten. Dette måles ofte i  $R_a$  og beskriver overflatetilstanden til delen. EHEDG stiller krav om at overflateruheten til matkontaktoverflater ikke skal overgå  $0.8 R_a$  [24]. Dette kan oppnås ved beising eller elektropolering av en metalloverflate [25].

### **Tek-Ma.1.3 Festekontaktoverflater**

To overflater som er montert sammen kalles festekontaktoverflater. I et hygienisk design skal dette helst unngås for å redusere risiko for oppsamlingspunkter. Dette vil i noen tilfeller være uunngåelig. Risikoen dette medfører kan reduseres med en profesjonell etterbehandlet sveis med ønskelige overflateegenskaper. Sveising vil tette strukturen og være en god løsning, hvis delene ikke trenger demontering ved et senere stadium. Hvis demontering er viktig må sveis unngås.

### **Tek-Ma.1.4 Kjemisk stabilitet**

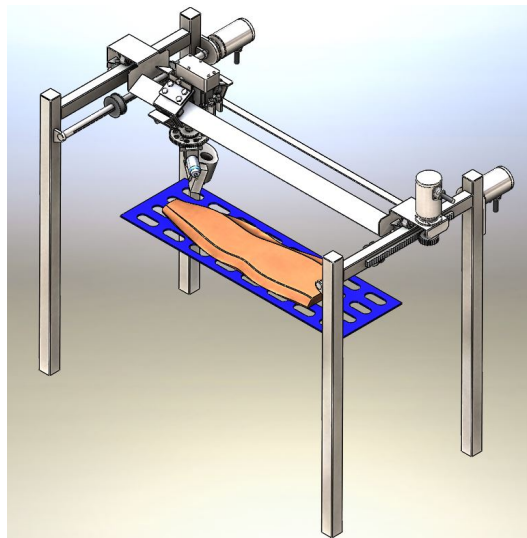
Materialene i bruk skal være kjemisk stabile og være godkjent av mattilsynet. Under operasjon skal ikke materialene reagere med omgivelsene og friggi stoffer som kan skade sluttproduktet. Materialer som kan være i kontakt med mat er beskrevet i "matkontaktforskriften" [26]. Metaller som skal brukes må ha høy grad av korrosjonbestandighet.

## Tek-Ma.2 Konseptutvikling

Den følgende teksten kommer til å beskrive løsninger på det initielle arbeidet gjort for å utarbeide et grunnkonsept rundt det et kartesiske robotsystemet. Årsaken til at denne modellen ble laget er for å se på mulige løsninger og problemstillinger til et kartesisk aksesystem med inkorporering av to ekstra akser for *pitch* og *yaw*.

### Tek-Ma.2.1 Overblikk

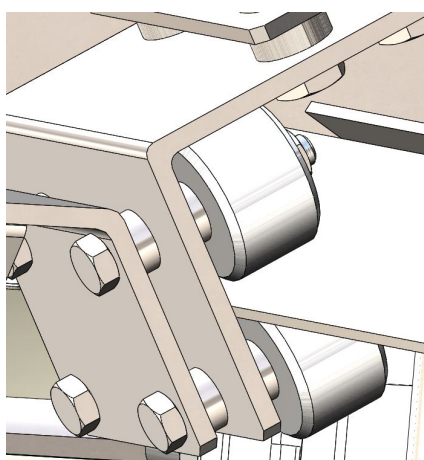
Figuren under viser sammenstillingen av det initielle konseptet som har blitt utarbeidet. Under arbeidet har det vært stort fokus på å bruke deler som motorer og linæraktuatorer som allerede finnes. Bakgrunnen for dette ligger i at slike komponenter ikke vil bli laget av TE, og dermed må kunne bestilles fra andre produsenter. Det har derfor blitt brukt eksterne CAD-modeller og 2D-tegninger fra produsenter som leverer disse. Det har også gjennom utarbeidingen av konseptet vært fokus på å bruke relevante materialer, som AISI 316, som er et rustfritt stål som med høy sannsynlighet vil tåle det korrosive miljøet systemet tenkes å operere i. Løsninger rundt hygienisk design har også vært et fokusområde under utviklingen.



Tek-Ma-Fig.1: Initielt konsept

### Tek-Ma.2.2 Implementasjon av hygienisk design

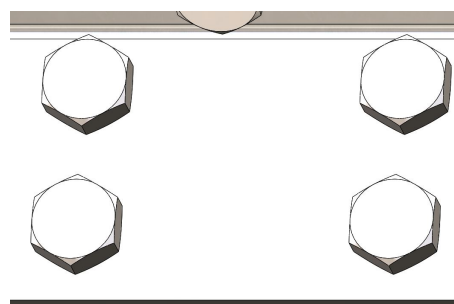
Det har vært fokus på hygienisk design under modelleringen, og mange av løsningene har bakgrunn i et mest mulig åpent design for at systemet skal være lett å vaske. Å se på muligheter for å redusere plate til platekontakt har også hatt et stort fokus gjennom utviklingen av konseptet. Ved å redusere dette kontaktarealet vil det være mindre mulighet for at det dannes korrosjon og at det kan oppstå uønsket bakterievekst mellom platene. En mulig løsning som har vært sett på er å bruke spacers/avstandshylser mellom platene, se Tek-Ma-Fig.2 nedenfor.



**Tek-Ma-Fig.2:** Bruk av spacers for å redusere platekontakt

For bevegelse har det også blitt valgt å bruke hjul. Bakgrunnen for dette designvalget er at denne type design reduserer kontaktarealet, samtidig som det er lett å holde rent.

En annen faktor tatt med i designet er bruken av sekskantede bolter i stedet for bruk av andre typer som umbrako eller torx. Umbrako- og torx-bolter har hull i toppen, noe som gjør at det lett kan ansamle seg urenheter. Dette er noe som er sterkt uønskelig i designet og derfor har sekskant-bolter blitt brukt.

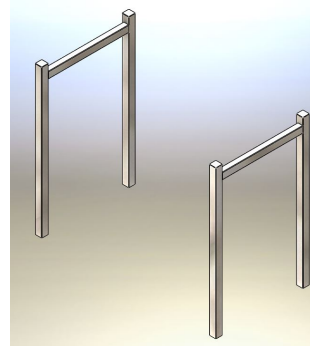


**Tek-Ma-Fig.3:** Sekskantede bolthoder

### Tek-Ma.2.3 Rammeverk

Som vist på figuren over er konseptet basert på å ha et ramme-verk med firkantede rør som er sveiset mot hverandre. Rammeverket som er laget er en forenklet versjon av rammeverket som må til for å få strukturell integritet og styrke i systemet.

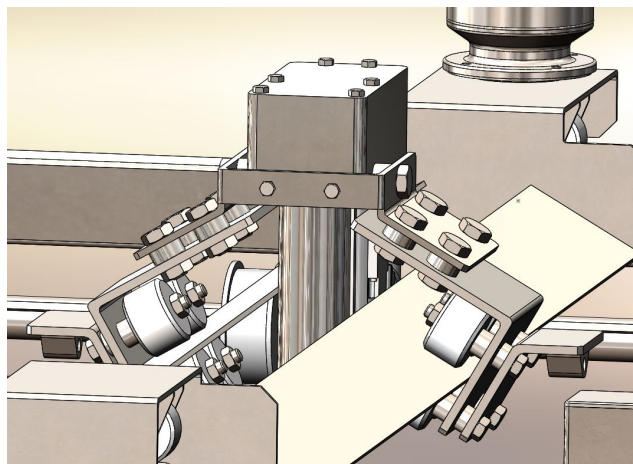
Årsaken til at rammeverket er forenklet er at det foreløpig ikke har vært et fokusområde under utviklingen av aksesystemet. Hovedfokus har vært å utvikle gode løsninger for bevegelse langs aksene. Tek-Ma-Fig.4 viser det forenklete rammeverket.



**Tek-Ma-Fig.4:** Forenklet rammeverk

### Tek-Ma.2.4 Løsninger og utvikling av forflytting langs X-aksen

For å kunne forflytte kniven langs X-aksen ble det valgt å bruke en løper med hjul, som kan beveges over platene vist i Tek-Ma-Fig.5.

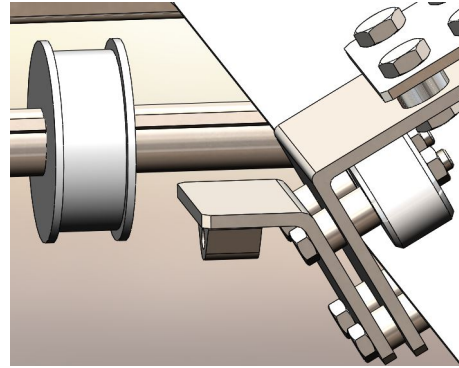


**Tek-Ma-Fig.5:** Løper

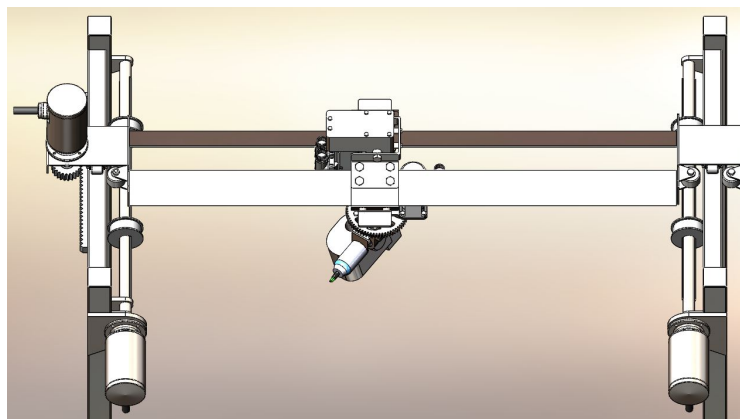
For å forflytte løperen ble det i dette konseptet brukt reimdrift. Tek-Ma-Fig.6 viser dette konseptet. Det er tenkt å bruke to reimer i dette konseptet, en på hver side. Bakgrunnen for å bruke to reimer ligger både i at kraften på reimene halveres, samt

at man ikke vil få torsjonsbelastning på løperen, noe man ville fått hvis man kun hadde reim på en side.

Til venstre på figuren vises reimhjulet som reimen tenkes å gå over. Det sitter et slikt hjul i hver ende med en motor tilkoblet hver av akslene som overfører kraften til hjulet. Grunnen til at det er valgt drift på reimen i begge ender er at man vil måtte dra reimen både frem og tilbake. I midten av figuren vises festet tiltenkt reimen. Nederst på figure, se Tek-Ma-Fig.7 vises det hvordan det er tenkt å drive akslene. For å kunne overføre rotasjonen til hjulene er det i dette konseptet brukt splines. Dette er en løsning som må modifiseres senere på grunn av hygienisk design da bakterier og smuss kan samle seg mellom hjul og aksel.



**Tek-Ma-Fig.6:** Drivehjul og festebrakett



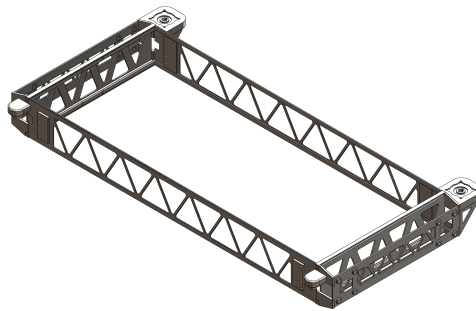
**Tek-Ma-Fig.7:** Drift av løper langs X-aksen

Som et ledd av det hygieniske designet har platene som løperen beveger seg over blitt skråstilt for å tillate drenering av systemet. Denne akselen er også designet for med et åpent design, dette for å tillate vasking av systemet. Motorene som har blitt valgt er fra *Kollmorgen* sin AKMH-serie. Denne serien har innkapsulering i rustfritt stål med IP69K-rating som gjør at den skal tåle miljøet og vaskingen som den kommer til å bli utsatt for.

### Tek-Ma.2.5 Løsninger og utvikling av forflytting langs Y-aksen

En av bevegelsesretningene systemet må kunne bevege TCP i, er langs Y-aksen, på tvers av rullebåndsretningen. Ved konseptet som er utarbeidet er det valgt å bruke en *rack and pinion*-løsning for å kunne styre TCP i denne aksen med. For å kunne styre denne løsningen har det blitt brukt en motor fra Kollmorgen sin AKMH-serie som er av motortype som benyttes til drift av X-aksen.

Det har også vært tenkt på modulariteten ved dette konseptet. Ved å sette på en lengre *rack* og forlenge det firkantede røret som den er festet på, vil Y-aksen av systemet kunne øke bevegelsesområde i Y-retning.

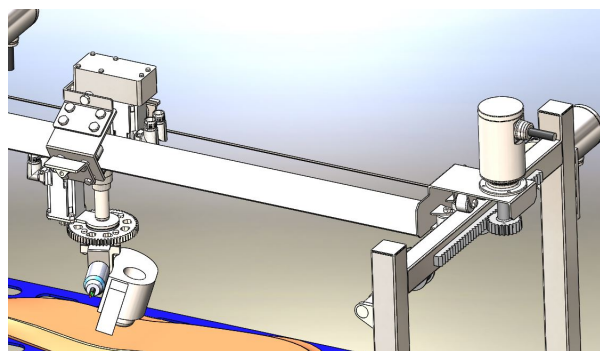


**Tek-Ma-Fig.8:** Styring av Y-aksen

For å overføre bevegelsen fra motoren til løperen er det festet to plater til platen motoren er festet til. Disse kan bevege seg langs Y-aksen med motoren; se Tek-Ma-Fig.9. Hjulene som sitter i hver ende av systemet tillater denne bevegelsen. Løsningen som er designet her må muligens forsterkes ved senere versjoner hvis løsningen virker hensiktsmessig å bruke. Det er også mulig løsningen med *rack and pinion* må endres noe hvis overføringen viser seg å kreve smøring, noe som er uheldig for det hygieniske designet.



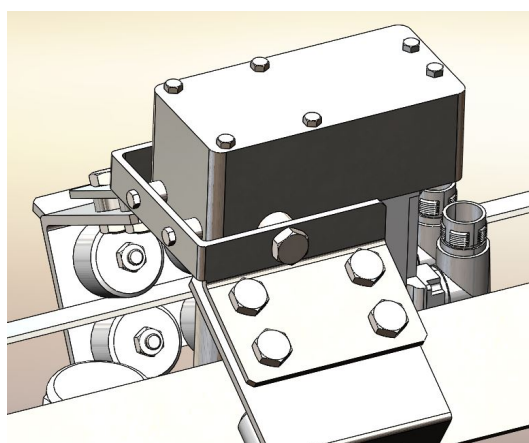
Fordelen med å bruke dette designet er at det er et relativt åpent design, noe som er sterkt ønskelig med tanke på hygienisk design. Det kreves dessuten også små endringer hvis platene må byttes ut med en annen type løsning for styringen av X-aksen.



**Tek-Ma-Fig.9:** Overføring av bevegelse til løper

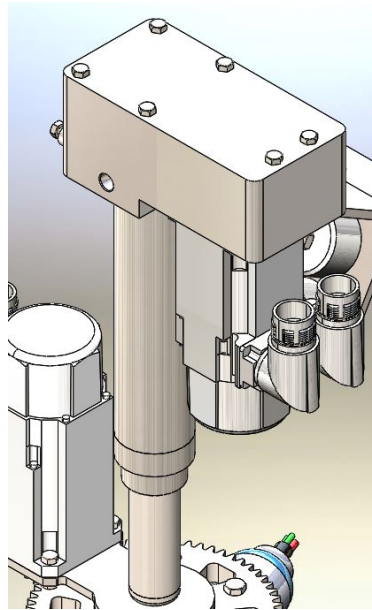
### Tek-Ma.2.6 Løsninger og utvikling av forflytting langs Z-aksen

For å kunne flytte knivenheten opp og ned langs Z-aksen er det valgt å sette inn en lineæraktuator laget av *Tolomatic*, som er festet til løperen.



**Tek-Ma-Fig.10:** Feste av linæraktuator

Denne aktuatoren er laget for bruk rundt mat, er laget av rustfritt stål og har en IP69K-rating. Dermed er det hygieniske aspektet dekket ved bruk av dette systemet. Det ble også valgt å bruke motor fra Kollmorgen sin AKM-serie, som har en IP67 "washdown" grad. Grunnen til at denne motoren ble valgt fremfor motortypen AKMH-serien er at vekten reduseres med AKM.

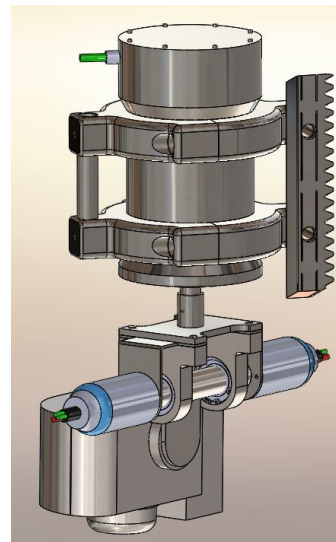


**Tek-Ma-Fig.11:** Tolomatic lineæraktuator med Kollmorgen AKM-motor

I utviklingen ble det også vurdert å sette motoren som skal styre rotasjonen om Z-aksen i enden av lineæraktuatoren, men det ble funnet ut at dette skapte to problemer; lengden på aksen blir for lang og aksialbelastning på motoren blir for høy; se Tek-Ma-Fig.12.

En annen løsning som det vil bli sett mer på senere er å flytte lineæraktuatorene ut til rammeverket og slik at hele skinnegangen beveges opp og ned. Grunnen til at dette kan være hensiktsmessig er at løsningen som er valgt ved utviklingen av dette systemet vil føre til mye vekt i bevegelsen i X-retning. Dette ansees som ugunstig ved X-aksen siden denne aksen vil måtte kunne beveges raskt. Ved å eventuelt flytte aktuatoren for Z-aksebevegelsen ut til rammen vil massen til løperen kunne reduseres drastisk.

Bakdelen er da at man vil trenge flere aktuatorer. Til innfestingen av lineæraktuatoren til løperen ble det valgt å bruke de originale festehullene som blir levert



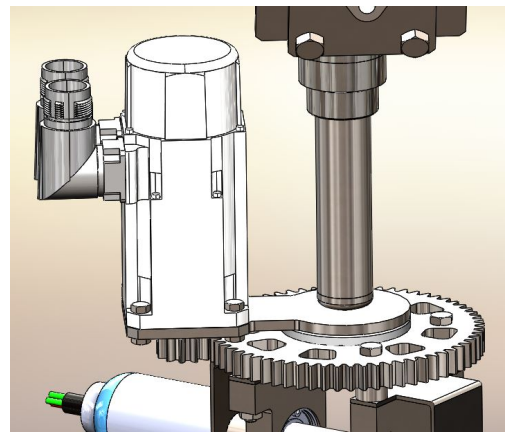
**Tek-Ma-Fig.12:** Første løsning av Z-bevegelse

på denne; se Tek-Ma-Fig.10. For å redusere vekt på løperen ble det valgt å bruke aktuatoren som en strukturell enhet som holder sammen løperen. Dermed trengs det ikke unødvendige braketter som ville økt vekten på systemet.

### Tek-Ma.2.7 Løsninger og utvikling på rotasjon av Z-aksen

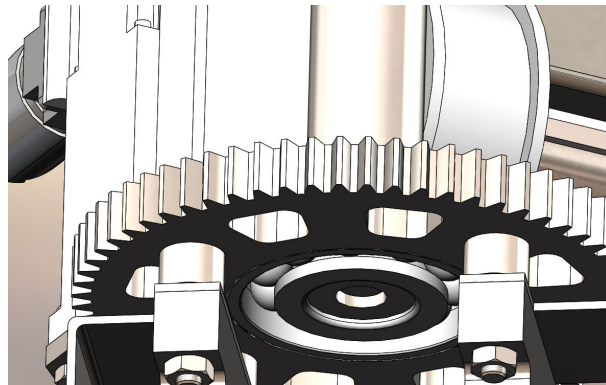
For å kunne tilfredsstille kravet om vinklingen til kniven mot fisken ble det valgt å bruket *pitch* og *yaw*-system der rotasjonen om Z-aksen er *yaw*. For denne rotasjonen ble flere konsepter tenkt og utprøvd. Dette er kanskje den vanskeligste delen å få en god løsning på.

Den første løsningen som ble utarbeidet var å sette motoren som skal rotere aksene på samme akse som lineæraktuatoren. Den nåværende løsningen er å bruke tannhjul med en utveksling for å rotere aksene. Motoren som skal drive rotasjonen er nå festet på siden av aktuatoren for å hindre last på motoren i aksialretning. Motoren som er valgt er forøvrig fra Kollmorgen sin AKM-serie og er samme motor som er brukt for å drive lineæraktuatoren. For å hindre at motoren går rundt Z-aksen er den festet med en brakett til lineæraktuatoren. Aktuatoren hindrer bevegelse rundt sin egen akse da den fås med intern hindring for denne typen bevegelse. Løsningen med denne braketten må sannsynligvis endres, på grunn av det momentet som skapes under de raske akselerasjonene som systemet utsettes for.



Tek-Ma-Fig.13: Rotasjon om Z-akse

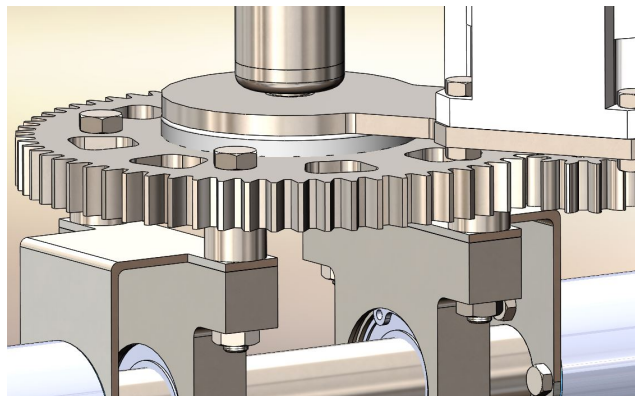
For å tillate rotasjonen er det satt inn et kulelager i senter på det største tannhjulet. Hvis konseptet skal videreutvikles vil det sannsynlig være fordelaktig å bytte ut kulelageret med et skråstilt nållager som vil tåle høyere aksialbelastning.



**Tek-Ma-Fig.14:** Kulelager til Z-akse

Løsningen her er en forenklet versjon, da lageret som må

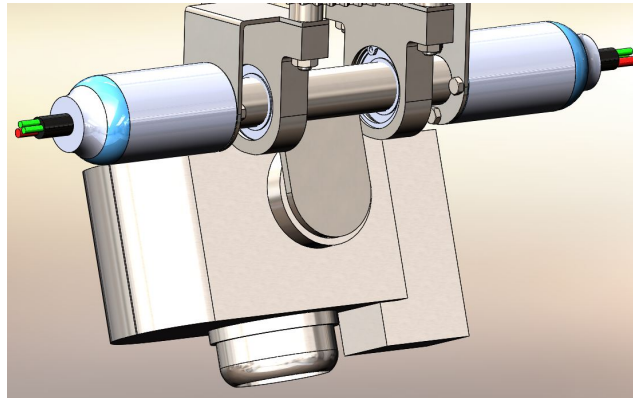
brukes må bli tildekket med simringer, plater og lignende for å hindre kontaminasjon og oppsamling av bakterier og smuss. Videre er det største tannhjulet, som kan roteres, festet direkte til braketten som holder den nederste akselen. Ved å feste dette tannhjulet direkte til brakettene i stedet for å bruke en holder til tannhjulet vil man få redusert vekten, noe som er gunstig. Som man kan se på Tek-Ma-Fig.15 er det valgt å bruke spacere/avstandshylser som mellomstykker for å redusere arealet for platekontakt.



**Tek-Ma-Fig.15:** Overføring til *pitch*-akse

### Tek-Ma.2.8 Løsninger og utvikling på rotasjon av X- og Y-aksen

Som nevnt i *Løsninger og utvikling på rotasjon av Z-aksen*, består løsningen for rotasjon av X- og Y-aksen av et *pitch-* og *yaw-*system. Den nederste akselen tar seg av *pitch*-delen.



**Tek-Ma-Fig.16:** *Pitch* av kniv

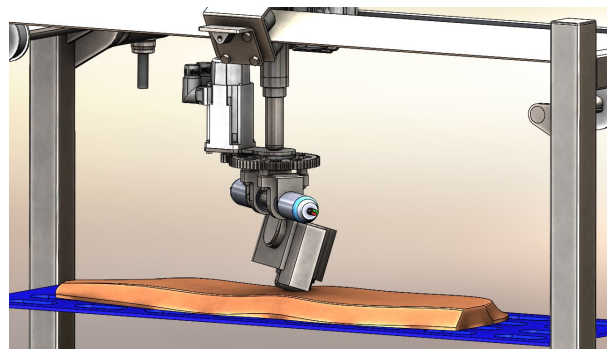
Løsningen fungerer på den måten at de to motorene, som sees på hver side av kniven, er festet til brakettene som holder akselen i senter. Ved å kontrollere disse motorene vil kniven flyttes rundt akselen til akselen som er montert i senter; se Tek-Ma-Fig.20. Motorene som driver akselen er montert horisontalt, da denne løsningen lett vil kunne overføre kraften inn til akselen. Motorene som brukes i dette designet er *Cyber d40* fra *Wittenstein* og er IP69K-ratet. Akselen som brukes er opplagret i to kulelager for å tillate rotasjon. Det er ikke satt inn simringer for tetting i dette designet, men det er undersøkt at det finnes simringer som tåler vaskingen som systemet vil bli utsatt for. Det er mulig at disse motorene med fordel kan monteres vertikalt ved siden av brakettene. Dette for å få redusert treghetsmomentet til systemet ved et nytt konsept. Løsningen vil dog kreve en giroverføring som vinkler kraften inn til akselen.

### Tek-Ma.2.9 Oppsummering og konklusjon

Gjennom utarbeidingen av konseptet har det kommet frem både mulige løsninger og problemområder, noe som var hensikten med å lage denne CAD-modellen. Et problemområde som har utpekt seg er å få ned vekten på løperen samtidig som designet skal holdes hygienisk. Spesielt angår dette motorer for å drive aksene.

Motorer med en IP-grad på IP69k har ofte en høyere vekt enn tilsvarende motorer med lavere IP-grad, grunnet vekten av innkapslingen. Dette kan komme til å skape problemer fordi innfestingene må oppdimensjoneres for å takle de ekstra belastningene dette vil medføre. Et annet problemområde som har kommet frem er å ha prismatisk ledd for operasjon av Z-aksen på løperen, på grunn av vektøkningen som må beveges med i de to andre aksene. I tillegg må det passes på i fremtidige konsepter å få tyngdepunktet til løperen (med sine komponenter) til å ligge i senter, dette for å minimalisere torsjonen denne komponenten blir utsatt for. Når det gjelder løsninger ser det hensiktsmessig ut i fremtidig design å bruke løpehjul i X- og Y-akse blant annet for å minimalisere kontaktflatene som sklir over hverandre og lettliggjøre for vasking som nevnt tidligere i teksten. Det sees også som hensiktsmessig å bruke spacere/avstandshylser i mellom plater av samme grunner som nevnt tidligere der sveising ikke kan tillates eller ikke er ønskelig av andre årsaker.

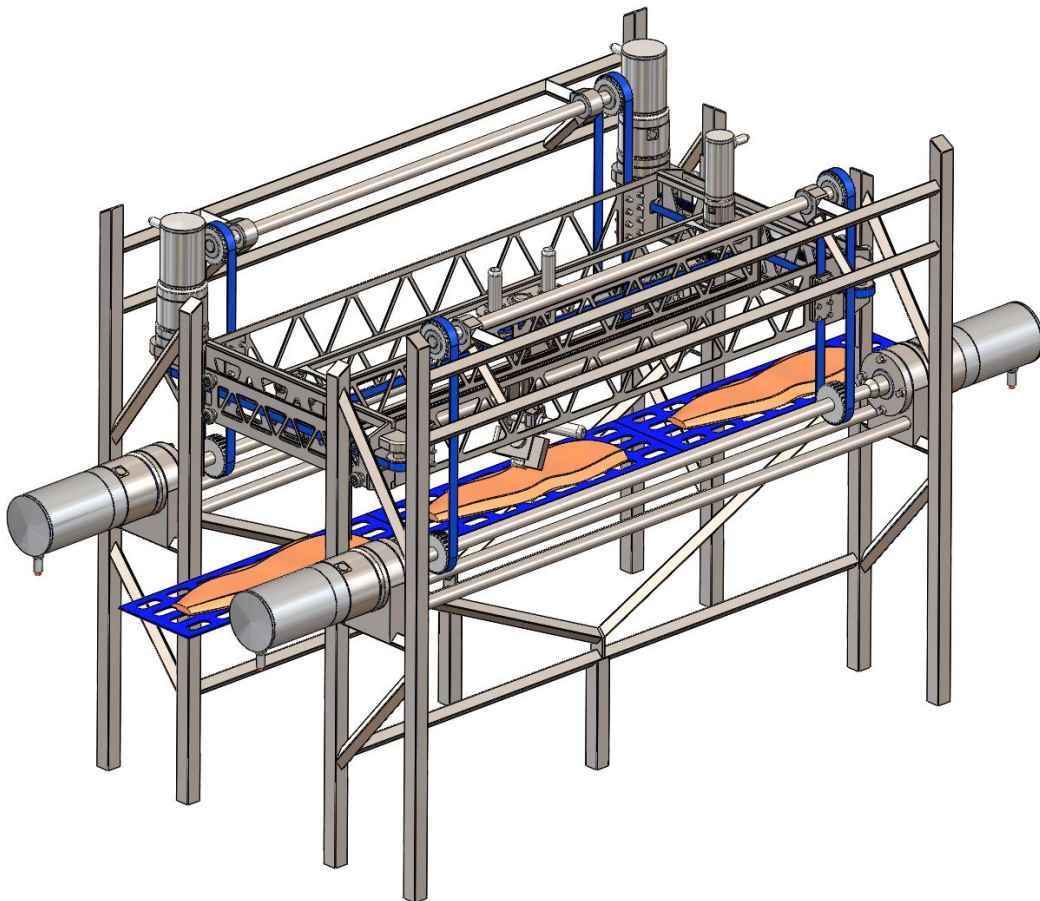
For videreutviklingen av systemet må det tenkes nøyer igjennom hvordan kabel- og rørføringer skal gå, samt at det må undersøkes nye løsninger på driftoverføringen langs x-aksen.



**Tek-Ma-Fig.17:** Tenkt arbeidssituasjon for systemet

### Tek-Ma.3 Endelig konsept: design og begrunnelse

Den følgende teksten kommer til å beskrive løsninger og valg som er tatt for designet av robotsystemet som har blitt utviklet under bachelorprosjektet HS RoboTrim 2018. Konseptet som blir beskrevet her er det endelige konseptet i denne utviklingen og er en videreutvikling av systemet som ble utviklet i en tidligere fase av prosjektet. Begrunnelser for designbeslutningene finnes i vedlegg Ve-Tek.1. Systemet er dimensjonert etter utregninger og FEM-analyser som har blitt kjørt under utviklingen av systemet. Disse FEM-analysene ligger i Ve-Tek.2. Systemet har også blitt utformet mot å tilfredstille hygienisk design da systemet skal brukes i matvareproduksjon. Figuren under (Tek-Ma-Fig.18) viser det endelige systemet slik den tenkes å settes opp mot båndet.



Tek-Ma-Fig.18: Overblikk

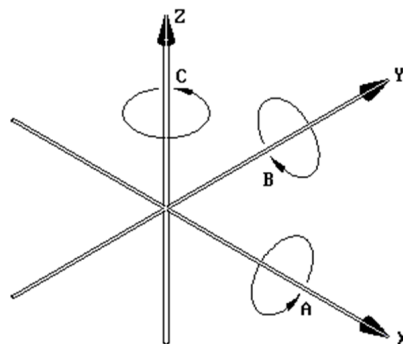
### Tek-Ma.3.1 Beskrivelse av system

Systemet er et kartesisk system og er basert på oppsettet til gantry-roboter. Dette ble funnet hensiktsmessig da bevegelsesområdet til denne typen roboter har lik form som bevegelsesområdet stipulert i kravene *KR-01* og *KR-02* som ligger i Kd.1. Robottypen har vanligvis kun kartesiske koordinater uten rotasjon om disse. For å tilfredstille kravene *KR-03* og *KR-04* som omhandler vinklingen til kniven eller end-effectoren som sitter på den innerste delen av systemet har systemet vist i Tek-Ma-Fig.18 inkorporert disse rotasjonene i tillegg til de kartesiske aksene for å tilfredstille disse kravene.

For å redusere vekten som flyttes frem og tilbake i x-retning har systemet denne aksene innerst av de kartesiske aksene i systemet i motsetning til det vanlige oppsettet til kartesiske robot-systemer.

### Tek-Ma.3.2 Akseoppsett

Systemet har lineære bevegelsesfriheter i x, y og z hvor x er langs båndet, y på tvers av båndet og z normalt på båndet. Systemet har også bevegelsesfrihet i a, b og c som er rotasjonen om de kartesiske aksene. Systemet bruker en kombinasjon av rotasjon om z-aksen og en akse i xy-planet for å få vinklingen om a, b og c. Disse rotasjonsaksene henholdsvis bli kalt *yaw* og *pitch* i den videre beskrivelsen av dette systemet. Akseoppsettet vises på Tek-Ma-Fig.19.

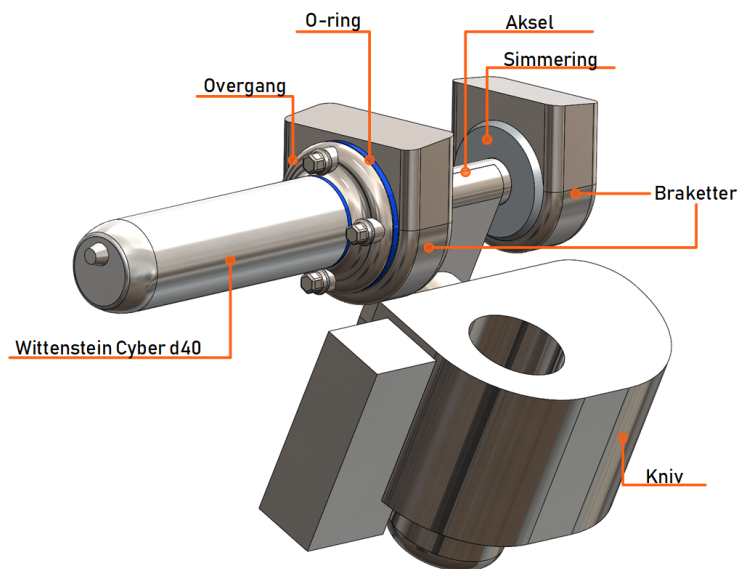


Tek-Ma-Fig.19: XYZ abc [22]



### Tek-Ma.3.2.1 Forklaringer til Pitch

Den innerste aksel i systemet er pitch-aksen som er en akse som ligger i xy-planet, som er samme planet båndet beveger seg i. Denne akselen tar seg av rotasjonsaksene a og b. Pitch-akselen har påmontert kniven som er *end-effectoren* til systemet. Bevegelsesområdet til denne akselen er  $\pm 45^\circ$ . Løsningen som er valgt for denne akselen er vist under på Tek-Ma-Fig.20.



Tek-Ma-Fig.20: Pitch

Pitchen til systemet er det siste ledd i å vinkle kniven mot fiskefiléten. For å drive akselen brukes det en *Wittenstein Cyber D40* AC-motor som er montert på den ene siden av akselen som vises på figuren. Akselen motoren roterer er opphengslet i to braketter, én på hver side av akselen. Brakettene inneholder lager for å tillate denne rotasjonen. En mer detaljer oversikt over deler i pitch-akselen ligger i Ve-Tek.5.

For tetninger rundt akselen er det valgt å bruke simmeringer fra *ProTech*-serien til *Parker Hannifin* med profilen WD. Disse simmeringene har godkjenning for IP69k og kan leveres i hygienisk versjon samt antibakterielle materialer[27]. Å tette ved denne akselen er viktig for å tilfredsstille kravene til vaskbarhet av systemet Kd.1.

For tetninger ved platen til overgang med motor og braketter på hver side er det valg å bruke o-ringer. Dette er for å tette inn til lagrene som ligger inne i brakettene/lagerhusene.

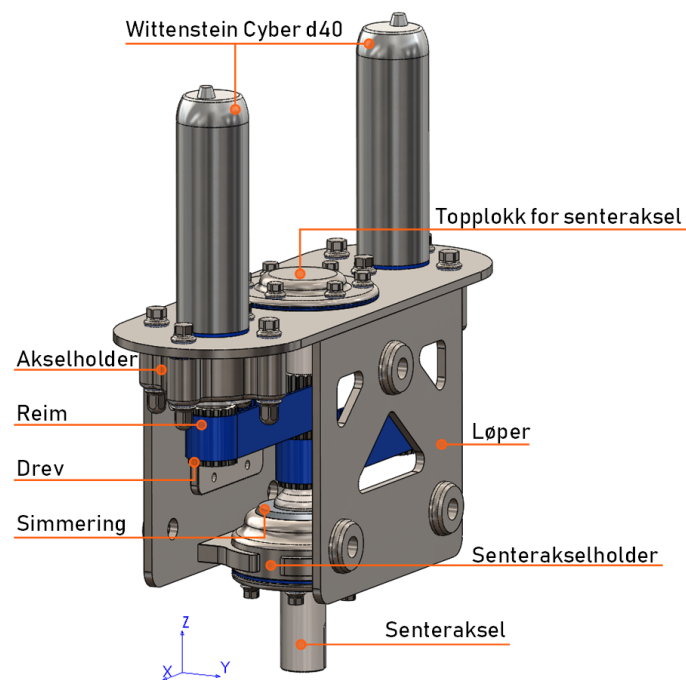
Brakettene som motoren og akselen er montert i er ulike fra side til side da størrelsen på braketten ikke trenger være like stor på begge sider av akselen da siden med motoren må være større på grunn av montering. Ved å redusere størrelsen reduseres også vekten for yaw akselen som skal rotere hele leddet som vises på Tek-Ma-Fig.20, som igjen reduserer belastningen på de ytre aksene.

Når motoren roterer sender denne rotasjonen over til akselen som er festet til motoren. Når akselen roterer overføres denne rotasjonen via akselen ut til knivenheten som igjen vil føre til at vinklingen vil bli justert. For grundigere gjennomgang og valg se Ve-Tek.1.2.

#### **Tek-Ma.3.2.2    Forklaringer til Yaw**

Pitch-akselen er koblet til yaw-akselen. Yaw-aksene tar seg av rotasjonen rundt z-akselen, altså vinklingen til c. Sammen med pitch-akselen gir denne akselen kniven mulighet til å vinkeles om alle de tre kartesiske aksene x, y og z. Bevegelsesområdet til denne akselen er  $\pm 90^\circ$ . En kombinert kjøringen av pitch-akselen fører til at vinklingen av kniven følger kravet til bevegelsene om x- og y-akselen som er statuert i kravene *KR-03* og *KR-04*; se kravtabell i Kd.1.

Til rotasjonen om denne akselen har dette undersystemet to *Wittenstein Cyber D40* AC-motorer. Disse motorene er montert til en løper som skal tillate bevegelse langs x-akselen i neste ledd.



Tek-Ma-Fig.21: Yaw

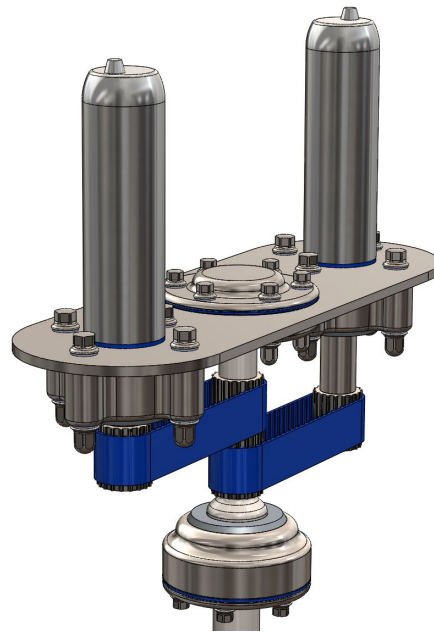
Det brukes reimdrift for å overføre rotasjonen til de to motorene over til en senteraksel. Senterakselens oppgave er å roterer pitch-aksen med kniven som er montert nederst på akselen. Reimene er fra *Brecoflex* sin *BrecoProtect*-serie som er spesiallaget for matvareproduksjon da de tåler både alkaliske og syrebaserte vaskemiddel samt at de ikke inneholder skadelige stoffer for konsumpsjon [28].

Tannprofilen til disse reimene er AT 10 PRO og de har en bredde på 25mm. Produsenten oppgir nok styrke i disse reimene til å tåle belastningene som de blir utsatt for; se Ve-Tek.2.4 for utregning.

Drevene som reimene går rundt er også levert av BrecoFlex. Disse er sveiset til akslene som de er montert på; dette gjelder både senterakselen og akslene som går ut ifra motorene, samt for reimdriften til de andre aksene.

De to ytterste akslene som overfører kraften fra motorene til reimene blir holdt på plass av en akselholder som er montert i underkant av topplaten til løperen. Et tydeligere bilde av dette vises på Tek-Ma-Fig.22. Oppgaven til disse er å holde akselen i radiell retning samtidig som de hindrer de radielle kreftene som oppstår fra reimene å tre inn i motoren som kan bli skadet ved denne typen last.

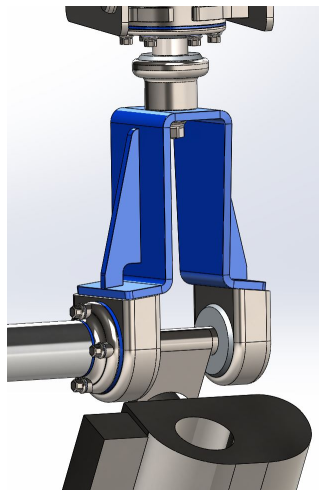
Holderen som senterakselen går igjennom tar opp de aksielle kreftene som kommer av bevegelsen til de andre delene til systemet for så å sende disse inn i løperen som holder akselen. Senterakselen blir også holdt fast til lageret som sitter under topplokket til senterakselen, noe som skaper stabiliteten til denne akselen og øker presisjonen til systemet.



**Tek-Ma-Fig.22:** Yaw uten plater

Alle roterende deler i yaw-akselen er tett med den samme type simmeringer som for akselen brukt i pitch, se Tek-Ma.3.2.1. For å tette mellom motor og plate samt mellom motorens akselholder og plate er det brukt pakninger og o-ringer for å holde lagrene som ligger inne i akselholderne fri for væske og mulig kontaminasjon.

For å holde oppe pitch-akselen sitter det en u-profil med forsterkede plater som er montert til pitch-akselen og skrudd til senterakselen. Se Tek-Ma-Fig.23 under.

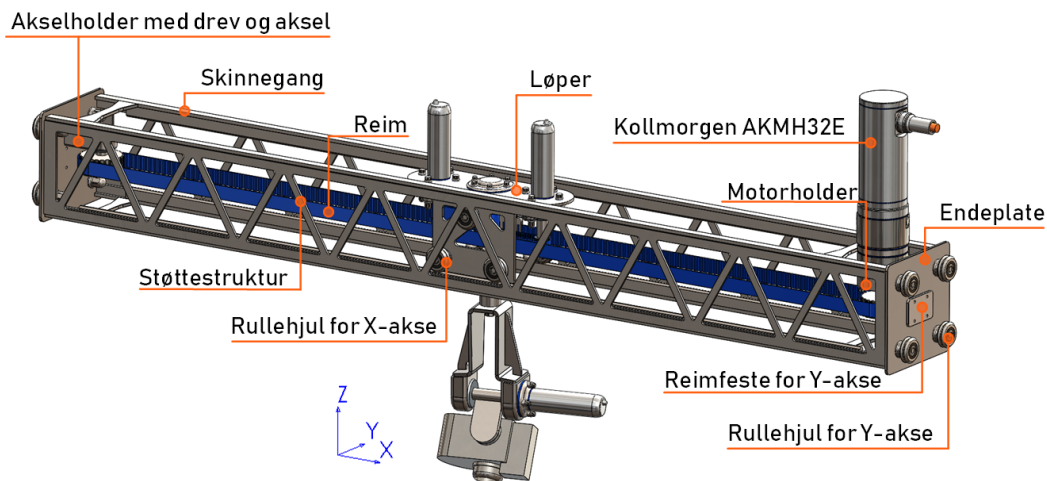


**Tek-Ma-Fig.23:** U-profil

Denne platen har påsveiset en kopp på toppen som overfører den roterende bevegelsen mellom yaw og pitch via en kileoverføring inne i koppen. For grundigere gjennomgang og valg ved yaw-aksen se Ve-Tek.1.3.

### Tek-Ma.3.2.3 Forklaringer til X-aksen

For bevegelsen langs båndet bruker systemet en løper som beveges langs en skinnegang. Løperen er påmontert pitch- og yaw-aksene i underkant. Disse underliggende aksene blir derfor flyttet med sammen med i bevegelsen til løperen. Figuren under, Tek-Ma-Fig.24, viser de viktigste komponentene som inngår i denne aksen.



Tek-Ma-Fig.24: X-akse

Bevegelsesområdet til aksen er 1160mm langs x-retning til systemet. For å drive bevegelsen brukes det reimdrift. Reimen er av samme type som for yaw beskrevet i Tek-Ma.3.2.2, og har en tannprofiltype AT10 PRO med bredde 25 mm. For å drive reimen brukes det en Kollmorgen AKMH 32 AC-motor som er montert sammen med planetærgiret *AquaTRUE* fra *Thomson Micro* og videre til en motorholder i enden av skinnegangen. Reimen er festet til løperen med klemmer laget av samme produsent som reimene [29]. Når motoren roterer flyttes løperen lineært langs x-aksen. Akslene som holder endene til reimen er opplagret i hver sin ende av skinnegangen. Motorholderen har intern opplagring for å redusere den radielle lasten som blir utviklet av reimbevegelsen for å reduserer belastningen på motoren.

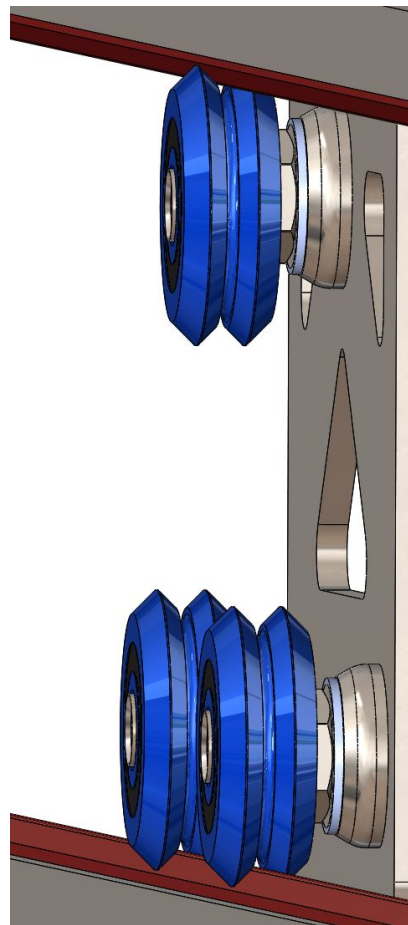
Skinnegangen er en enkelstående sveiset konstruksjon i AISI 316 stål. Konstruksjonen er satt opp slik at slidedeler og løperen med de underhengende aksene lett kan løsnes fra skinnegangen ved vedlikehold og inspeksjon. Dette gjøres ved å løsne rullehjulene som er montert på siden av løperen. Opprinnelig var skinnegangen uten støtteplatene på siden av konstruksjonen og løperen var mer tilgjengelig for vasking, men FEM-analyser viste at støtteplatene var nødvendige Ve-Tek.2.5.

For å holde løperen fast i både y og z-retning brukes rullehjulene som er montert til løperen. Disse er med vinklet  $90^\circ$  innover mot senter og spissen av skinnen i samme retning slik at de to delene passer sammen. Boltene som disse holdes sammen med til løperen er eksentriske slik at de kan justeres. Dermed kan hjulene strammes ned til skinnen. Hjulene er vist i blått og skinnen i rødt på Tek-Ma-Fig.25. Eksentrisiteten til boltene tillater også vinkeljustering for å kunne rette av eventuelle skjevheter i rammeverket.

I hver ende av løperen sitter en endeplate som motoren, reimholderen, og rullehjulene til den neste aksene er påmontert. I tillegg er det påmontert et reimfeste på denne platen til feste av reimen som i neste ledd vil flytte skinnegangen y-retning.

Alle tetninger av akseler og overflater er utført på samme måte og med samme komponenter som i aksene under, med tetninger rundt akslinger med simmeringer og o-ringer for å tette mot inntrenging av vann og bakterier.

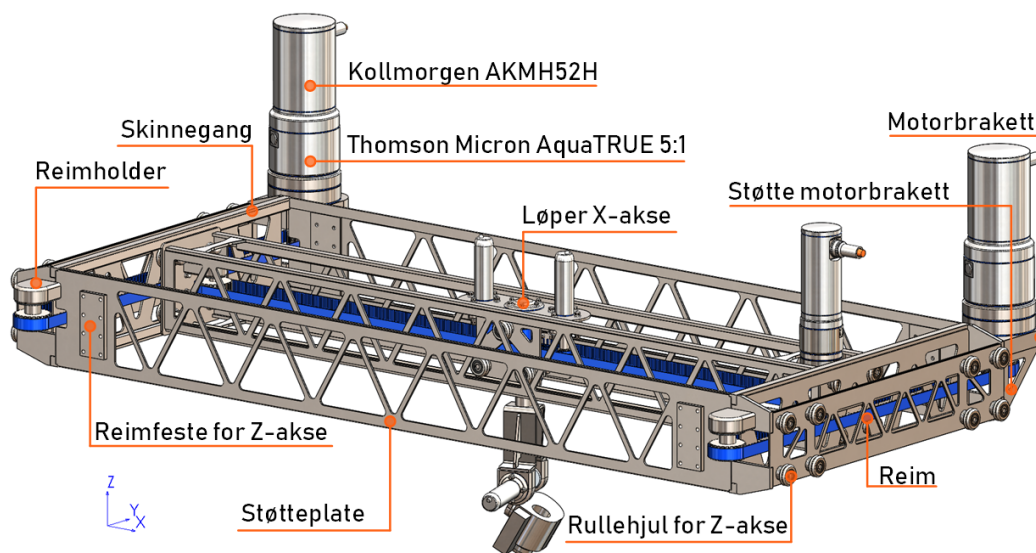
For grundigere gjennomgang og valg ved x-aksen se Ve-Tek.1.4.



**Tek-Ma-Fig.25:** Rullehjul med skinner

### Tek-Ma.3.2.4 Forklaringer til Y-aksen

For bevegelsen langs y-aksen løper hele x-aksens ramme med dens komponenter langs y-aksen lik løsningen for x-aksen som beskrives i Tek-Ma.3.2.3. Systemet bruker dobbel reimdrift for denne bevegelsen. Reimene er klemt fast til reimfestene i hver ende av x-aksen for å overføre bevegelsen fra reimene til å flytte hele x-aksens rammeverk frem og tilbake på tvers av båndet som fisken som blir prosessert ligger på. Bevegelsesområdet til y-aksen er 550 mm for å kunne kutte i området definert i kravene Kd.1. Y-aksen vises på Tek-Ma-Fig.26. Årsaken til systemet har større bevegelsesområdet i y-retning enn det som er definert i kravene er både det avsentrerte festet til kniven gjør at vinklingen av kniven har innvirkning på posisjonen av kuttepunktet, samt at de må taes hensyn til bredden av x-aksens rammeverk.



Tek-Ma-Fig.26: Y-akse

Reimene er av samme type og form som både for yaw og x-aksen. Reimene er plassert i hver ende av rammen for å synkronisere bevegelsen til rammen uten å skape bøyemomenter på grunn av *lag* i bevegelsen. Reimdriften bruker to Kollmorgen AKMH 52 AC-motorer til å styre bevegelsen til aksene. Giret som brukes til hver av motorene her en utveksling på 5:1 og er av samme type som for motorene i x-aksene. Motorene sitter i braketter som er festet til rammeverket. I brakettene sitter det lager som tar opp radielle krefter for å unngå unødvendig slitasje på motorene. I underkant

av brakketene er det montert trekantede støtteplater mellom motorbraketten og rammen. Disse hjelper til å ta opp kreftene braketten utsettes for som oppstår på grunn av z-aksens bevegelse.

For å holde reimene på motsatt side enn siden som motorene er plassert på brukes samme type løsning som for x-aksen med en reimholder med en aksel og et reimhjul festet på undersiden.

Y-aksen bruker samme skinnegang og rullehjul som for x-aksen. Oppsettet av hjulene forklares grundigere i Tek-Ma.3.2.3. Skinnene er festet fast til rammeverket som er hovedkomponenten til aksene. For økt strukturell styrke brukes det støtteplater på hver side av rammen. Disse platene tar opp bøyemomentet som skapes ved bevegelsen i z-aksen og minimerer dermed kreftene på rullehjulene som festes til z-aksen.

På sidene av støtteplatene sitter reimfestene til reimene som brukes for å løfte resten av aksene opp og ned fra fisken som blir prosessert. På innsiden av disse platene sitter det forsterkningsplater for å øke styrken til dette opphengspunktet.

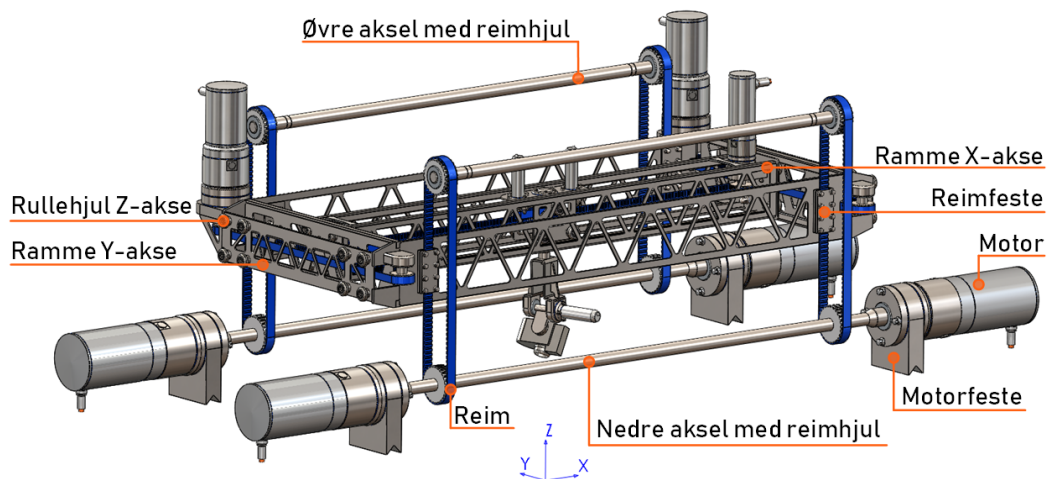
For grundigere gjennomgang og valg ved y-aksen se Ve-Tek.1.5.

### **Tek-Ma.3.2.5    Forklaringer til Z-aksen**

Høydejusteringen av kniven flyttes av den ytterste delen av systemet som beveger de innerste aksene i z-retning, altså opp og ned fra båndet. Denne aksene er montert sammen med et rammeverk som vil bli beskrevet i Tek-Ma.3.3.

For å holde reimene oppe brukes det en aksel som er opplagret i rammeverket se Tek-Ma-Fig.27. Når motorene roterer overføres rotasjonen til en lineære bevegelse for hele rammeverket til y-aksen sammen med de påmonterte aksene. På denne måten løftes kniven opp og ned fra fiskefiléten som blir prosessert.





Tek-Ma-Fig.27: Z-akse

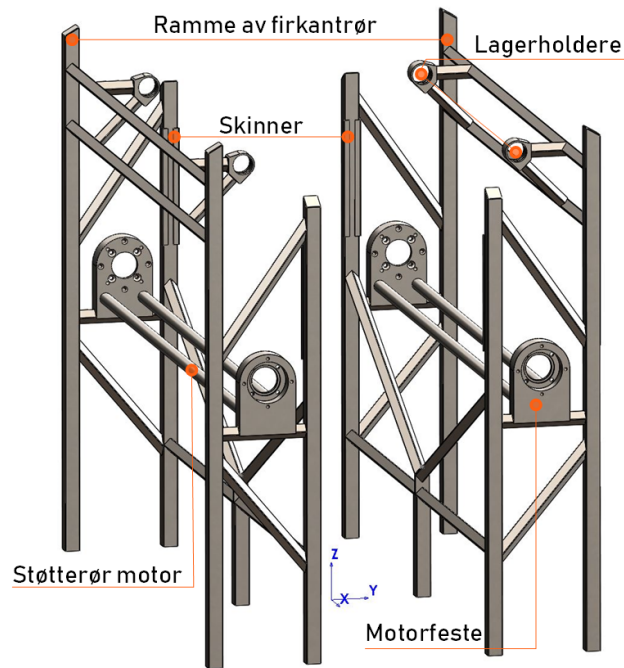
Bevegelsen til denne aksen holdes utelukkende i z-aksens retning ved å bruke rullehjulene som er påmontert på y-aksens rammeverk. Hjulene låser derfor alle bevegelser i x og y-retning ved at det bruker samme oppsett med  $90^\circ$  vinklede hjul og skinner som forklart under Tek-Ma.3.2.3. Dermed låses alle andre bevegelser enn hjulenes rullereting.

På grunn av de høye akselerasjonene funnet i beregningene, Ve-Tek.6, bruker systemet fire Kollmorgen AKMH 64 AC-motorer for å flytte de underliggende aksene i z-retning. Systemet bruker også fire reimer fra samme serie som brukt i de andre aksene. Tannprofilen for denne aksen er AT15 PRO som gir økt styrke til reimene og økt tannoverføringskraft slik at belastningene ikke blir for høye. Kraften som generes totalt i reimene er på 2850N Ve-Tek.2.7 og hver reim tåler dermed denne belastningen. [28].

For grundigere gjennomgang og valg ved z-aksen se Ve-Tek.1.6.

### Tek-Ma.3.3 Rammeverk

Den ytterste delen av systemet består av et rammeverk som holder de bevegelige aksene til systemet. Rammeverket tar også opp de interne kreftene som oppstår i aksene som beveger seg ved plasseringen av kniven. Konstruksjonen består hovedsakelig av en rammekonstruksjon av firkantrør, se Tek-Ma-Fig.28.



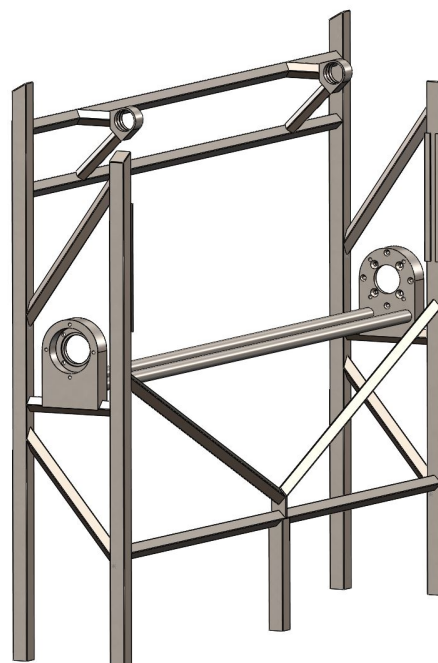
Tek-Ma-Fig.28: Rammeverk

Stålkvaliteten til rørene er AISI 316 som forøvrig er den samme stålkvaliteten som er brukt i resten av systemet. Alle rørene er sveist sammen for å unngå uhygieniske bolt og flateforbindelser. Da dette er en stillstående del av systemet er alle rør vinklet for å tillate kontinuerlig drenering av systemet under operasjon etter kravene som er satt til systemet Kd.1. De øverste tverrstagene er satt opp for å drenere ut fra systemet og de nedre satt opp for å drenere under båndet fisken kommer på. De nederste skrå og horisontale rørene har god avstand til gulv for å lettere tillate vask av gulvet rundt systemet etter anbefalinger funnet i Marine Harvest sine retningslinjer [23].

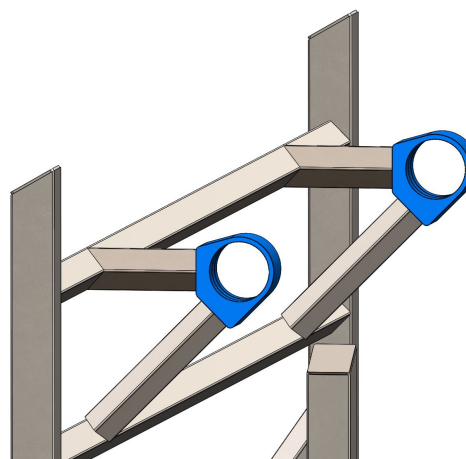
Rammeverket har ingen rør som går over matsonen da rammen består av to symmetriske enkeltstående deler som er festet til gulvet den står på. Dette hindrer at eventuell kondens som oppstår på det stillestående delen av system ikke vil renne ned på maten som blir prosessert. Den ene siden av rammen er vist på Tek-Ma-Fig.29. Denne figuren viser også et høyden ned til gulvet som ble beskrevet i forrige avsnitt.

Motorholderne er også montert på rammeverket. Bunnen av motorholderne står på et vinklet firkantrør som står horisontalt i konstruksjonen. Motorholderne er forsterket med to sirkulære rør som går mellom motorfestene for å motvirke vekten av motorene. Plasseringen vises på Tek-Ma-Fig.29 holderne rør plassert i hver ende av rammen.

Lageholderne til parallellakselen som brukes i z-aksens bevegelse er festet til den øverste delen av rammeverket, se Tek-Ma-Fig.30. For å øke styrken til dette opphengspunktet er rørene montert i en trekantkonstruksjon som er montert til to langsgående rør montert til den ytre delen av rammen. Det ble her valgt å sette disse akslene langs med aksen selv om konstruksjonen ville blitt mindre hvis de hadde blitt plassert på tvers. Bakgrunnen for dette er å redusere konstruksjon over matsonen og dermed redusere sjansen for kontaminasjon.



**Tek-Ma-Fig.29:** Side ramme

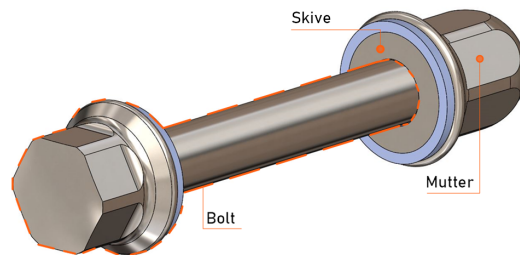


**Tek-Ma-Fig.30:** Lagerholder parallellaksel

### Tek-Ma.3.4    Festemidler

For å holde kontaminasjon og væske utenfra systemet er mange deler av systemet sveiset sammen, men dette gjelder dog ikke komponenter som forventes å kunne måtte demonteres på grunn av vedlikehold. Dette innbefatter da lagerholdere og motorfester som ikke kan tillates å sveises sammen til resten av konstruksjonen. Ved disse tilfellene er det brukt bolt og mutterkombinasjoner for å holde sammen delene. Bolter og muttere som er brukt er i henhold til EHEDG sine retningslinjer for overflateruhet og materiale [30]

Materialet til disse boltene er AISI 316, som er det samme som resten av konstruksjonen og galvanisk korrosjon kan derfor utelukkes som et problem. Overflateruheten er Ra 0,8 som kravene sier Kd.1 [30].



**Tek-Ma-Fig.31:** Bolt, mutter og skiver

Ved alle ytre bolt og muttorkontaktflater til konstruksjonen er det brukt skiver fra samme produsent som boltene. Disse skivene er spesialskive laget for matvareproduksjon og har tettinger av Fluoprene® i ytterkant for å hindre mot inntrengning. Disse skivene tåler høye temperaturer og kan derfor brukes i *clean-in-place* (heretter CIP) vasking. [31]

### **Tek-Ma.3.5 Sammenfatning**

Ved å koble sammen aksene som forklart gjennom beskrivelsene av designet vil systemet fungere med innefor de gitteparameterne i kravene som finnes i Kd.1. Selv om systemet har noen utfordringer på enkelte steder forklart i de forrige avsnittene vil systemet kunne fungere uten vesentlige mangler slik designet står nå. For konstruksjonen som et mekanisk system vises dette i FEM-analysene som er kjørt og forklart i Ve-Tek.2 For komponentene som er relatert til dimensjonering av de elektriske systemet vises det til Ve-Tek.6 hvor tyngden og bevegelsen til systemet er tatt med.

For mer utdypende forklaringer på punkter i designet henvises det til Ve-Tek.1 og for mer detaljert oversikt over delen i sammenstillingen henvises det til Ve-Tek.5.

## Tek-Ma.4 Styrkeberegninger

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$\sigma_{vM}$	Von Mises Spenning	$N/mm^2$ (MPa)
$\sigma_{xx}$	Normalspenning normalt til X-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\sigma_{yy}$	Normalspenning normalt til Y-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\sigma_{zz}$	Normalspenning normalt til z-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\tau_{xy}$	Skjærspenning i XY-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\tau_{yz}$	Skjærspenning i XY-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\tau_{zx}$	Skjærspenning i XY-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$F$	Vilkårlig kraft	N
$n$	Sikkerhetsfaktor	Benevningsløs
$\sigma_f$	Flytespenning	$N/mm^2$ (MPa)
$T_\infty$	Omgivelsestemperatur	$^\circ C$
$a_x$	Akselerasjon langs X-akse	$m/s^2$
$a_y$	Akselerasjon langs Y-akse	$m/s^2$
$a_z$	Akselerasjon langs Z-akse	$m/s^2$
$\alpha_p$	Vinkelakselerasjonen for pitch	$rad/s^2$
$\alpha_y$	Vinkelakselerasjonen for yaw	$rad/s^2$
$m$	Vilkårlig masse	kg
$d$	Vilkårlig diameter	mm
$M_{v,y}$	Torsjonsmoment for yaw	Nm

**Tek-Ma-Tab.1:** Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$r_d$	Deleradius drev yaw	m
$A$	Vilkårlig areal	$mm^2$
$\sigma(F, A)$	Vilkårlig normalspenning med to variabler	$N/mm^2$ (MPa)
$m_l$	Masse løper	kg
$N$	Antall komponenter som skal beregnes	Benevningsløs
$F_z$	Kraft langs Z-akse	N
$F_y$	Kraft langs y-akse	N
$F_x$	Kraft langs x-akse	N
$m_x$	Masse X-akse	kg
$x$	Avstiverplate avlesningslengde	m
$E$	Elastisitetsmodul	$N/mm^2$ (MPa)
$e$	Tøyning	Benevningsløs
$d\ell$	Torsjonsmoment for yaw	Nm
$\ell$	Torsjonsmoment for yaw	Nm
$\delta$	Deformasjonsforflytning	mm
$\delta_t$	Resultantdeformasjons - forflytningen	mm

**Tek-Ma-Tab.2:** Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger

I denne seksjonen skal aksesystemet analyseres og det skal kartlegges de totale spenningene og deformasjonene som forekommer under lakseprosessering. Kreftene i systemet er fra Newtons andre lov [32] proporsjonale med massen i bevegelse og ønskes derfor å forholdes så lave som mulig. Styrkeberegningene er utarbeidet ved hjelp av "elementmetoden" i SolidWorks simulations (heretter SWS), og håndberegninger (kilberegninger Ve-Tek.3 og sveiseberegninger Tek-Ma.5.2). Ytterligere dokumentasjon for styrkeberegninger er beskrevet i Ve-Tek.2.

### Tek-Ma.4.1 Påkjenninger

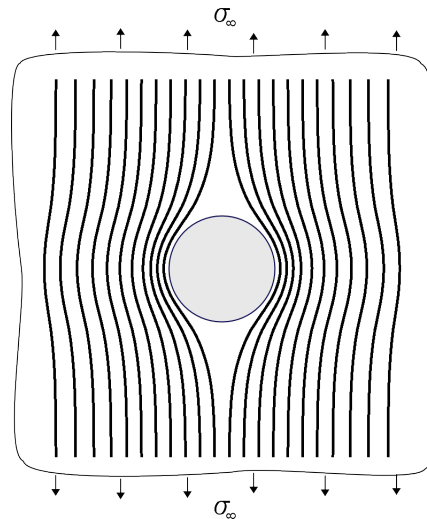
Akselerasjonene langs aksene genererer en flerakset spenningstilstand, noe som kan bli komplekst og vanskelig å håndtere med håndberegninger. Skjærspenning sammenlignet med normalspenning har større innvirkning i den totale spenningen. På samme måte har torsjonsmoment større innvirkning enn bøyemoment. Dette er definert i formelen for tredimensjonal spenningsfordeling av elastiske materialer kalt **von Mises-spenning**:

$$\sigma_{Mises} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} - \sigma_{yy}\sigma_{zz} - \sigma_{zz}\sigma_{xx} + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

(Tek-Ma-Mat.1)

Denne spenningen blir plottet av SWS, og kan sammenlignes med flytspenningen til materialet. Dette gir informasjon som kan brukes til å definere sikkerhetsfaktor og forflytning. Dynamiske påkjenninger er mer skadelige enn statiske og må tas hensyn til med en sikkerhetsfaktor som gir god margin.





**Tek-Ma-Fig.32:** Spenningskonsentrasjon i kanten av et hull i en plate under påkjenning

Deler med tverrsnittsoverganger burde unngås for å forhindre spenningskonsentrasjoner. Spenningene over delen er gitt av formelen for spenning:  $\sigma = \frac{F}{A}$ . Ved reduksjon av tverrsnittsareal øker spenningskonsentrasjonene i kantene til tverrsnittsreduksjonene slik Tek-Ma-Fig.32 viser. Hull og utskjæringer av plater er vanlig for vektreduksjon og resulterer i spenningskonsentrasjoner.

## Tek-Ma.4.2 Materialvalg

I et korrosivt og kloridrikt miljø med vekslende PH-verdier og varierende temperaturer stilles det strenge krav til materialet som brukes. Kloridionene reagerer med det passive sjiktet til A2- og A4-stål som eksponerer det sårbare stålet, noe som resulterer i pitting [33]. Molybden innholdet gir AISI 316 gode rustfrie egenskaper og egner seg godt til aksesystemets bruksområder. Stålet blir svært ofte brukt i maritime miljøer og har god sveisbarhet [34] [35]. Stålsammensetningen er presentert i Tek-Ma-Tab.3, og de mekaniske egenskapene i Tek-Ma-Tab.4.

<b>Sammensetning av glødet AISI 316</b>	
<b>Sammensetning</b>	<b>%</b>
C	0.08
Cr	17
Fe	65
Mn	2
Mo	2.5
Ni	12
P	0.045
S	0.03
Si	1

**Tek-Ma-Tab.3:** Legering, AISI 316

<b>Mekaniske egenskaper for AISI 316</b>	
<b>Sammensetning</b>	<b>Metrisk</b>
Brinellhardhet	149
Vickershardhet	155
Fasthetsgrense	550 MPa
Flytegrense	240 MPa
Elastisitetsmodul	193 GPa
Tetthet	8 g/cc
Forlengelse ved brudd	60%
Smeltepunkt	1370 - 1400 ° C

**Tek-Ma-Tab.4:** Mekaniske egenskaper, AISI 316

### Tek-Ma.4.3 Sikkerhetsfaktor

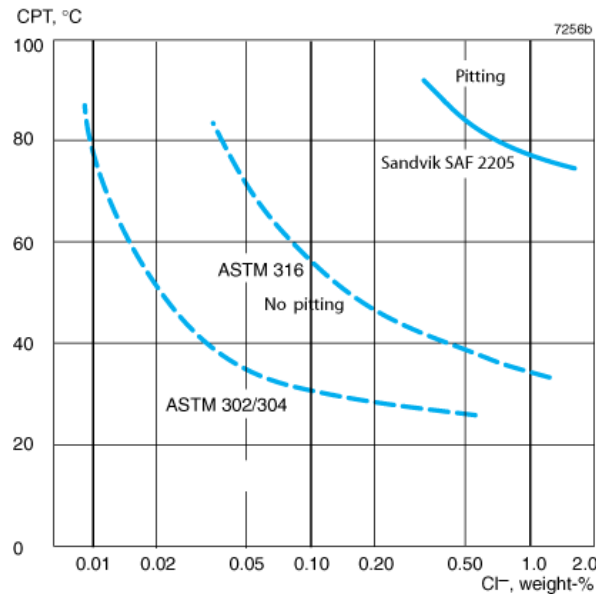
Sikkerhetsfaktoren er en parameter som beskriver forholdet mellom materialets flytgrense og tillatt påført spenning som vist i Tek-Ma-Mat.2.

$$n = \frac{\sigma_f}{\sigma_{vM}} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.2})$$

For høy sikkerhetsfaktor vil resultere i et overdimensjonert system som er unødvendig stort, tungt og kostbart. Sikkerhetsfaktoren varierer bredt innenfor forskjellige industrier. Flyindustrien er kjent for lav sikkerhetsfaktor grunnet krav til lav vekt [36]. Inhomogeniteter i materialstrukturen kan i stor grad påvirke de mekaniske egenskapene og er i realiteten grunnen til at det ikke alltid er nok med en sikkerhetsfaktor på én. Styrkeberegninger baserer seg på *perfekte* materialer uten inhomogeniteter, slike ideelle materialer eksisterer ikke. For å ta hensyn til faktorer som korrosjon, utmatting, overflatesprekker og tilvirkningsmetoder av materialene som fører til redusert materialstyrke, må sikkerhetsfaktoren derfor settes til høyere én.

#### Tek-Ma.4.3.1 Dimensjonering av sikkerhetsfaktor

Det kloridholdige miljøet som er i lakseslakteriene vil øke risikoen for pittingkorrosjon. Pittingkorrosjon er normalt på rustfrie stål, og resulterer i små gropdannelser i overflatestrukturen. Krom i jernlegeringen reagerer med oksygen og danner et beskyttende lag som skjærmer metallet for videre oksidasjon. Klorider reagerer med dette overflatesjiktet og eksponerer råmetallet for omgivelsene. Gropene kan fungere som spenningskonsentrasjoner og resultere i SCC (stress corrosion cracking). Korrosjonsraten i systemet er avhengig av temperatur, PH-verdi på vaskemidler og kloridinnhold ( $CL^-$ ). Tek-Ma-Fig.33 viser korrosjonsbestandigheten til AISI 316 med varierende temperatur og klorideksponering [37].



**Tek-Ma-Fig.33:** Pittingkorrosjon AISI 316

Aksesystemet skal operere i et miljø med temperaturer  $T_{\infty} < 20^{\circ}\text{C}$ . Pittingkorrosjon vil derfor fra Tek-Ma-Fig.33 ikke påvirke overflatetopologien under fiskeprosessering. Ved vasking økes temperaturen til  $80^{\circ}\text{C}$  og vaskemidlene som brukes er varierende i PH-verdi. Pittingkorrosjon kan bli skadelig hvis rester av klorider forblir på overflaten og temperaturen øker til verdier som kan resultere i pitting slik Tek-Ma-Fig.33 viser. Hvis systemet brukes riktig med grundig vask og i oppgitte operasjonstemperaturer skal virkningen av pitting være neglisjerbart.

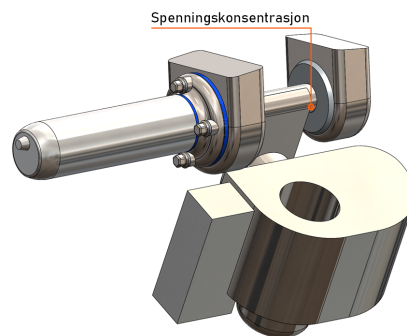
Utmatting er propagering av mikrosprekker i overflater, som et resultat av vekslende spenninger over tid. Sprekkvekst og propagering har direkte sammenheng med gjentagende sykliske spenninger som står normalt på mikrosprekkene. Utmatningsfasheten er lavere enn flytegrensen til materialet [38]. Dette er en av de vanligste brudtypene, hovedsaklig fordi de er vanskelig å unngå og oppdage før det er for sent. Sikkerhetsfaktoren skal dimensjoneres etter gjenstandens bruksområder. Fra læreboken *Konstruksjonselementer* (2. utgave) heter det at akslinger under dynamiske belastninger kombinert med kjervvirkninger burde ha en sikkerhetsfaktor på fem for å ha en god sikkerhet mot utmatting [39]. "Forskipt om Maskiner" spesifiserer at ved usikkerhet i beregninger og fare for menneskelige skader skal sikkerhetsfaktoren være 5. Aksesystemet til RoboTrim skal ha en forrigling ved tilgang som forebygger

skader. Ekstraordinære tilfeller kan tillate en faktor under dette der vektkrav er i fokus.

Aksesystemet skal operere uten avbrekk som kan bli kostbare for bedriften som allerede har investert systemet. For å bedre kunne garantere kontinuerlig drift samt trygghet for tilstrekkelig stivhet velges en sikkerhetsfaktor på **3,5**. Denne velges på grunnlag av gode overflateegenskaper og strenge vektkrav.

#### Tek-Ma.4.4 FEM-analyse for pitch-aksen

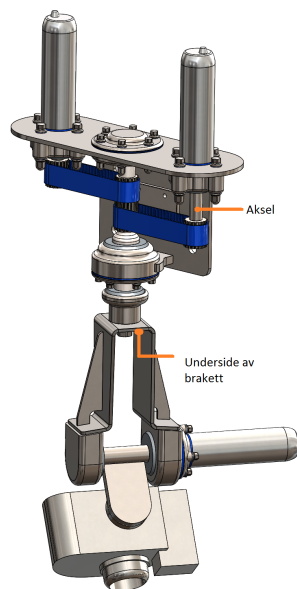
Kreftene fra rotasjonene om pitch og yaw skaper dominerende bøyepenninger kombinert med skjærspenninger i akselen og overføringsarmen til pitch-systemet. For lav sikkerhetsfaktor i overføringsarmen i det opprinnelige designet krevde en dimensjonsøkning på 2 mm slik at spenningene fikk akseptable verdier. spenningskonsentrasjon i området som Tek-Ma-Fig.34 viser, har verdier opp mot **59 MPa** som er den høyeste i pitch. Ytterligere dokumentasjon er presentert i Ve-Tek.2.3. Bøyepenningen i overføringsarmen resulterer i en resultantdeformasjon på **0,26 mm**, som i henhold til VA-06.KR-12 er akseptabelt. Boltene som holder "Cyber d40" servomotoren er også analysert og verifisert i Ve-Tek.2.3.2.



**Tek-Ma-Fig.34:** Spenningskonsentrasjon mellom overføringsarmen og akselen for pitch

### Tek-Ma.4.5 FEM-analyse for yaw-aksen

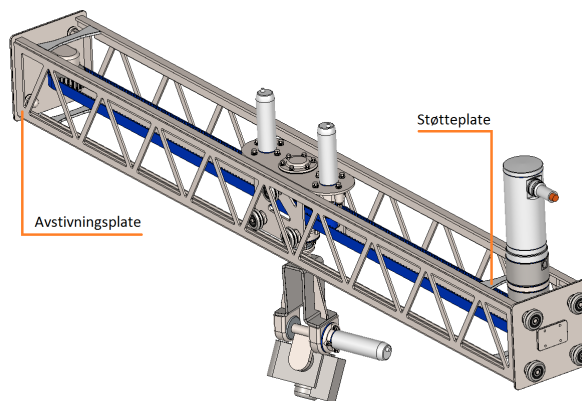
Løperen med akselen montert slik Tek-Ma-Fig.35 viser er delt opp i to analyser for å bedre simulere kreftenes innvirkning i systemet. En kombinasjon av sentrifugalkrefter fra rotasjonen om yaw og kraftige akselerasjoner i X- og Y-retning skaper bøyemomenter i hovedakselen som er koblet til braketten. Den originale strukturen ble endret for å øke styrken til designet. En optimaliseringsanalyse Ve-Tek-Tab.3 viste at ved å øke brakettykkelsen til 2 mm ble vektøkningen minst. De maksimale spenningene er **60 MPa** og **65 MPa**, og befinner seg på undersiden av braketten og akselen til reimoverføringen som er vist i Tek-Ma-Fig.35. Total resultantdeformasjon i yaw-systemet er **0,26 mm**. Passkilen som overfører vridningsmomentet fra akselen og til braketten er regnet på i Ve-Tek.3.



Tek-Ma-Fig.35: Yaw med aksel og brakett

### Tek-Ma.4.6 FEM-analyse for X-aksen

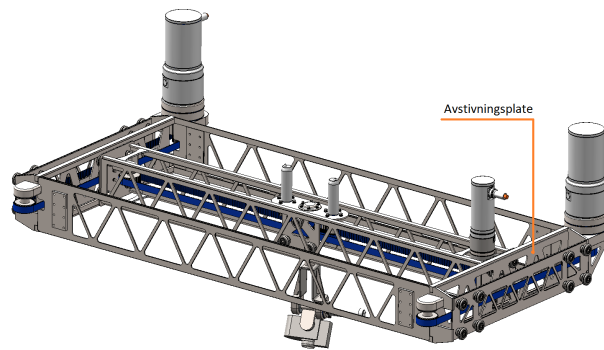
Vekten til løperen sammen med akselerasjoner i Y- og Z-retning skapte for store avbøyninger i originaldesignet. Det ble derfor lagt til to avstivningsplater og fire støtteplater slik Tek-Ma-Fig.36 viser. Resultantdeformasjonen ble med modifiseringene **1,39 mm**. Høyeste spenninger er **46,17 MPa** og er lokalisert i støtteplaten og er funnet med en nodeavlesning i Ve-Tek-Fig.24.



**Tek-Ma-Fig.36:** X-aksen med avstivningsplater og støtteplater

### Tek-Ma.4.7 FEM-analyse for Y-aksen

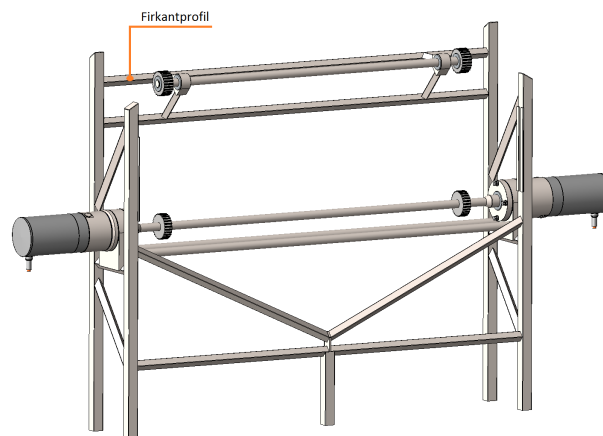
På grunn av intrikat geometri med et stort antall sveiseskjøter i dette delsystemet som gir uforutsigbare resultater i FEM-analysene er sikkerhetsfaktoren i dette delsystemet dimensjonert til **4.5**. Oppdimensjonering med avstivningsplater slik Tek-Ma-Fig.37 viser reduserte spenningene slik at delsystemet er innenfor ønskede sikkerhetsparametere. Maksimal spenning er **33 MPa** og er lokalisert i avstivningsplaten vist i Ve-Tek-Fig.28. Resultantdeformasjonen er i skinnene som X-aksen skal løpe på og er **0,16 mm**.



**Tek-Ma-Fig.37:** Avstivningsplate på Y-aksen

#### Tek-Ma.4.8 FEM-analyse for Z-aksen

Rammeverket til aksesystemet er delsystemet som skal stive systemet og holde igjen kreftene som genereres av 200 kg som akselereres i Z-retning. Resultantdeformasjonen er 2,47 mm for lagerholderne som skal holde akselene stive. Dette er den høyeste individuelle deformasjonen i systemet. Bøyepeningene som skapes av Z-akselerasjonen skaper bøyepeninger i firkantprofilene vist i Tek-Ma-Fig.38. Spenningen er funnet med nodeavlesninger i Ve-Tek-Fig.33 og er **70,4 MPa**. Kilene som overfører momentet fra motorene måtte endres fra to per tannhjul til fire per og er dokumentert i Ve-Tek.3.



**Tek-Ma-Fig.38:** Rammeverk for Z-aksen med avbildet firkantprofil med høyeste spenninger



**Tek-Ma.4.9 Konklusjon**

Systemet har blitt tyngre enn først antatt ettersom vekten har økt eksponentielt med oppdimensjonerings fra styrkeberegninger og tunge servomotorer i bevegelse. Vektoptimaliseringer burde gjennomføres for å kunne redusere vekten ytterligere noe prosjektgruppen ikke hadde tilstrekkelig med tid til.

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$x$	akselerasjon i x-retning	$m/s^2$
$y$	akselerasjon i y-retning	$m/s^2$
$z$	akselerasjon i z-retning	$m/s^2$
$m$	masse	$kg$
$a$	a-mål (høyde sveis)	$mm$
$a_1$	akselerasjon	$m/s^2$
$L$	lengde	$mm$
$B$	Bredde fra massesenter til senter	$mm$
$H$	Høyde fra massesenter til senter	$mm$
$H_1$	Avstanden fra massesenter til senter	$mm$
$b$	Bredde på sveiselenden	$mm$
$h$	Lengden p a den buede sveisen til akslingen	$mm$
$r$	Radius	$mm$
$y_1$	Avstand fra nøytralaksen til planet A eller B	$mm$
$d$	diameter	$mm$
$D$	Indre diameter	$mm$
$\theta$	Vinkel	$^\circ$
$F$	Kraft	$N$
$F_T$	Sentripetalkraft resultert av pitch	$N$
$F_{y,yaw}$	Sentripetalkraft resultert av yaw	$N$
$M$	Moment	$Nm$
$\sigma_{till}$	Tillatte spenninger	$MPa$
$\sigma_{jf}$	Jevnføringsspenning	$MPa$
$\sigma_b$	Normalspennig	$MPa$
$\sigma_{\tau_b}$	skjærspenninger	$MPa$
$\alpha$	Vinkelakselerasjon	$rad/s^2$
$\omega$	Vinkelhastighet	$rad/s^2$
$I_x$	Flatetreghtetsmoment	$mm^4$
$I_p$	Polart treghetsmoment	$mm^4$

Tek-Ma-Tab.5: Variabler og symboler brukt i vedlegg om sveiseberegninger

## Tek-Ma.5 Sveiseforbindelser

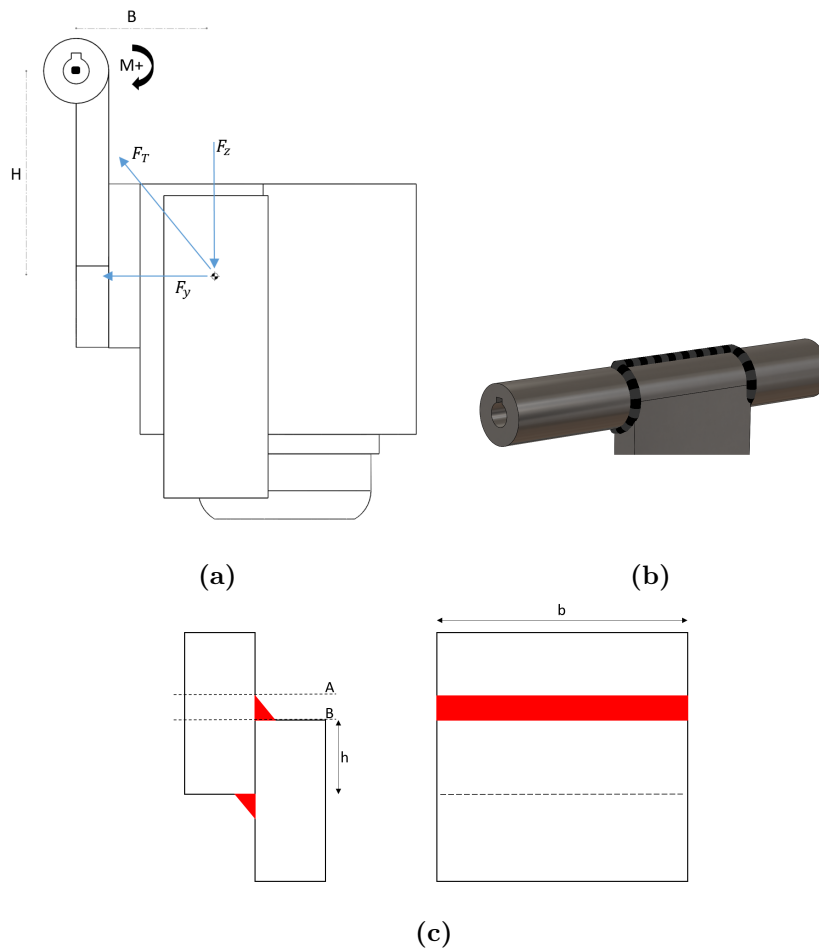
Sveising er en mye brukt metode for å binde sammen deler. I systemer der det stilles strenge krav til hygiene er det fordelaktig å bruke sveis ovenfor bolter, dersom dette er mulig. Det finnes retningslinjer på hvordan sveiser skal sveises [40] for å opprettholde et godt hygienisk design. Med tanke på kravene som er satt knyttet opp mot hygienisk design, vil det være hensiktsmessig å bruke kilesveiser med konkav overflate og buttskjøt med strøken overflate.

Etterarbeid på sveisen er viktig for å kunne tilfredstille *KR-19* og *KR-20*, som tar for seg overflateruheten på materialoverflatene i systemet [40]. Håndberegninger på sveis er utført for å bestemme riktig a-mål (høyde) på sveisen og sørge for at jevnføringsspenningen ( $\sigma_{jf}$ ) ikke overstiger den tillatte spenningen ( $\sigma_{till} = 68.6MPa$ ), og er vedlagt i Ve-Tek.4. Ved beregning av sveisede skjøter skiller man i hovedsak mellom strekk- eller trykkrefter, bøyebelastning og vridningsspenninger.

### Tek-Ma.5.1 Sveis: Pitch

Beregningene er på sveisen som fester kniven til akslingen. Beregningene er utført med kreftene som oppstår i sveisen ved et worst-case-scenario. Det er gjort en forenkling, som vist i Tek-Ma-Fig.39c: For å gjøre sveisen litt mer overkommelig å utføre beregninger på, er festebarketten mellom kniv og aksel sveiset på en plate og ikke en aksling, den har fortsatt samme mål. Det er sett på normal- og skjærspenninger i denne sveisen.

## Tek-Ma.5.1.1 Bøyebelastinger på sveisen



Tek-Ma-Fig.39: Sveis for pitch-aksen.

Tek-Ma-Fig.39a viser retningen på kreftene og Tek-Ma-Fig.41b viser hvordan sveisen vil se ut.

Det første som blir gjort er å finne alle kreftene som resulterer i et bøyemoment på akslingen. Dette momentet påfører en bøyebelastning på sveisen som opptrer i spenninger. For å kunne beregne  $\sigma_{jf}$  er man avhengig av å finne normalspenningen som bøyebelastningen påfører sveisen. Dette kan man finne ved å benytte formelen  $\sigma_b = \frac{M_b}{I_x}$  [41].

Det totale momentet som oppstår er på  $21341.4Nmm$ . I snitt A vil det oppstå normalspenninger ( $\sigma_b$ ) og i snitt B opptrer både normalspenninger ( $\sigma_b$ ) og skjærspenninger ( $\tau_b$ ), se Tek-Ma-Fig.39c. Høyden på sveisen (a-målet) er satt til 3mm,

da dette er et minimum på kilesveiser som overfører krefter. Den største spenningen oppstår i snitt A og er på  $5.0MPa$ . Jevnføringsspenningen er fortsatt under hva som er tillatt for stålmaterialet og i tillegg aksepteres i følge NS 470 1.2 x tillatt spenning for stålmaterialet. [41]. Sveisen som fester kniven til akslingen vil tåle bøyepeningene som kan oppstå i systemet.

### Tek-Ma.5.1.2 Vridningsspenninger på sveisen

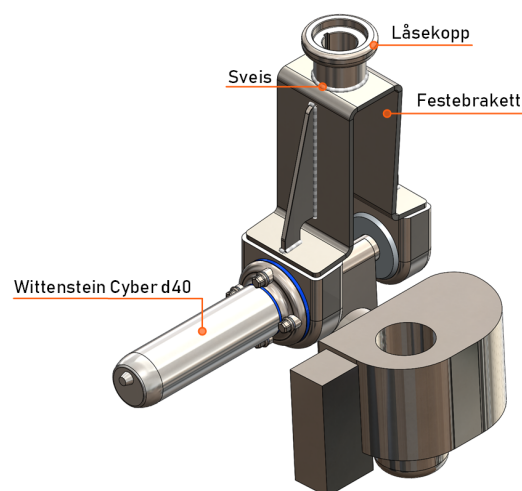
Sveisen vil også bli utsatt for vridningsspenninger og disse oppstår som skjærspenninger. I forhold til Tek-Ma-Fig.39a, vil kreftene som påvirker vridning være rettet inn mot massesentrum. Det er sett på et tilfelle der akselerasjonen i Y-retning påfører en kraft på den vertikale sveisen. Den jevnførende spenningen finner man ved bruk av Tek-Ma-Mat.3.

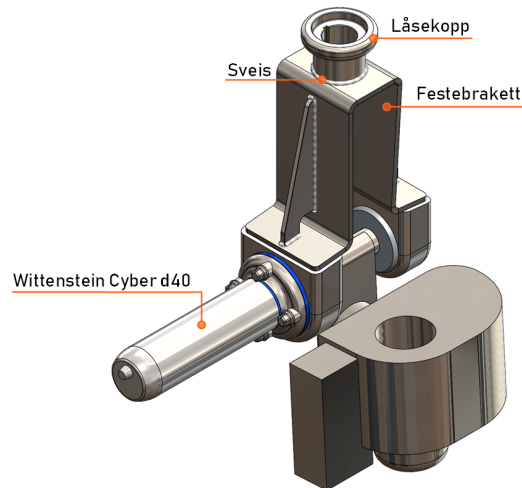
$$\sigma_{jf} = \frac{M_v}{2 \cdot I_p} \cdot \sqrt{2 \cdot b^2 + 3 \cdot h^2} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.3})$$

Utrekning av alle parametere er vedlagt i Ve-Tek.4. De jevnførende spenningene blir på  $3.9N/mm^2$ , og ut i fra dette kan et valgt a-mål på  $3mm$  benyttes.

### Tek-Ma.5.2 Sveis: Rotasjon om yaw

Målet er å se om sveisen som fester braketten til yaw tåler belastningene som oppstår ved worst-case-scenario. Som tidligere nevnt må ikke  $\sigma_{jf}$  overstige  $\sigma_{till} = 68.6MPa$ .





**Tek-Ma-Fig.40:** Beregninger på sveisen som binder låsekoppen og festebraketten sammen.

Jevnføringsspenningen kan beregnes ved å benytte ligningen

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.4})$$

De spenningene som er relevante å se på i denne sveisen er normal- og skjærsspenninger. For å finne disse verdiene gjelder ligningene Tek-Ma-Mat.5 og Tek-Ma-Mat.6 [41] [42].

$$\tau_v = \tau_{\parallel} = \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot a \cdot d^2} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.5})$$

$$\sigma_b = \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot a \cdot d^2} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.6})$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.7})$$

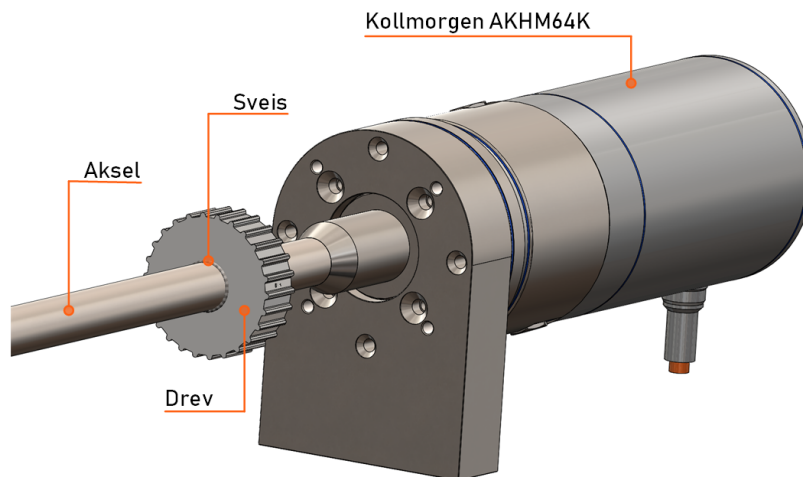
Formelen Tek-Ma-Mat.7 benyttes for å finne den vinkelrette normalspenningen og vinkelrette skjærspenningene, som igjen benyttes for å finne jevnføringsspenningen i sveisen. Ved å sette inn verdiene for  $\sigma_{\perp}$ ,  $\tau_{\perp}$  og  $\tau_{\parallel}$  inn i formelen Tek-Ma-Mat.4 finner man den jevnførende spenningen.

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \underline{40.8N/mm^2[MPa]}$$

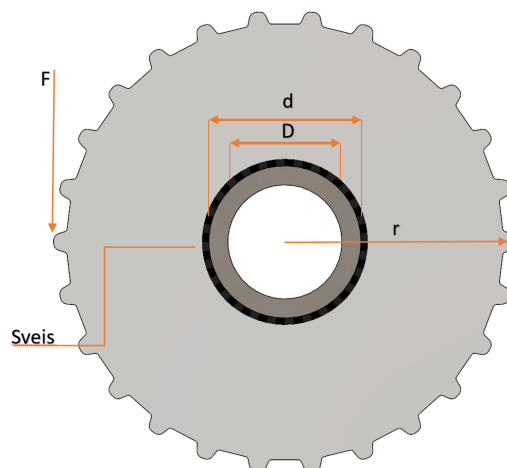
Ut i fra beregningene er det valgt å benytte et a-mål på  $3mm$ . Dette resulterte i en jevnføringsspenning på  $40.8MPa$ , som er lavere enn tillat spenning. Det vil si at a-målet er tilstrekkelig for sveisen.

### Tek-Ma.5.3 Aksel med på-sveisede drev tilhørende Z-aksen

I systemet sitter det en aksling som skal drive Z-aksen. Akslingen har påsveisede drev fra brecoflex, som blir utsatt for store vridespenninger og det er da essensielt å vite størrelsen på a-målet som må benyttes på denne sveisen og om minste anbefalte a-mål på kilesveiser er tilstrekkelig.



(a) Drev med sveis.



(b) Dimensjoner og kraft på drev

I Tek-Ma-Fig.41a kan man se at drevet er tredd inn på akslingen. Med tanke på dette vil det være hensiktsmessig å benytte to sveiser for å fordele spenningene, og å redusere flate-mot-flate-kontakt, dette med tanke på hygienisk design.

For å beregne størrelsen på a-målet kan man sette formelene for skjærspenning for aksel og sveis lik hverandre ( $\tau_{v,aksel} = \tau_{v,sveis}$ ) [41]. Dette gjør at man kan finne et a-mål som fører til at sveisin er jevnsterk med akslingen.

Aksel:

$$\tau_v = \frac{M_v}{I_p} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.8})$$

$$I_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^4 - D^4}{d} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.9})$$

Sveis:

$$\tau_v = \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot d^2 \cdot a} \quad (\text{Tek-Ma-Mat.10})$$

Resultat på a-målet:

$$a = \frac{I_p}{\pi \cdot d^2} = \underline{1.7mm}$$

Ut i fra beregningene ga dette et a-mål på  $1.7mm$ . Videre blir skjærspenningen i sveisen funnet ved å bruke Tek-Ma-Mat.10 og benytte det utregnede a-målet. Resultatet blir da brukt til å kontrollere den jevnførende spenningen Tek-Ma-Mat.4.

$$\tau_v = \tau_{\parallel} = \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot a \cdot d^2} = \underline{23.3N/mm^2}$$

$$\sigma_{jf} = \sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \underline{40.3N/mm^2}$$

Jevnføringsspenningen er lavere enn den tillatte spenningen, men det velges fortsatt et a-mål på  $3mm$ , da dette er et minimum for kilesveiser som overfører krefter [41].



# Tek-El - Teknisk, Elektro

---

Elektroteknisk arbeid gjort i utviklingen av HS RoboTrim 2018.

Versjon: 1.0

---

## Innholdsfortegnelse

### Tek-El **Tek-El**

Tek-El.1	<b>Fysiske krav og motordimensjonering</b>	<b>1</b>
Tek-El.1.1	Scenario for motordimensjonering	2
Tek-El.1.2	Fysiske beregninger	3
Tek-El.1.3	Operasjonstider ved valgt scenario	3
Tek-El.1.4	Bevegelser for hver akse ved valgt scenario	4
Tek-El.1.5	Dimensjonering av motorer for systemet	6
Tek-El.1.6	Motorvalg med tanke på hygienisk design	13
Tek-El.1.7	Oversikt over valgte motorer	15
Tek-El.2	<b>Valg av elektrisk hardware</b>	<b>16</b>
Tek-El.2.1	Valgkriterier for elektrisk hardware	16
Tek-El.2.2	Hardwarekonfigurasjon ved bruk av PLS fra Omron	18
Tek-El.2.3	PLS	22
Tek-El.2.4	HUB	22
Tek-El.2.5	Servomotorer og servodrives	23
Tek-El.2.6	Kabler	25
Tek-El.2.7	Strømforsyning	26

Tek-El.3	<b>Reguleringssystemet</b>	<b>29</b>
----------	----------------------------	-----------

Tek-El.3.1	Simulink integrert med ROS	34
------------	----------------------------	----

---

## Liste over figurer

Tek-El-Fig.1	Scenario for fysiske analyser. Det svarte rektangelet representerer arbeidsområdet til systemet. De mørke flekkene er melaninflekkene på fiskefiletene. Generert i Matlab.	2
Tek-El-Fig.2	Wittenstein Cyber d40	6
Tek-El-Fig.3	Operasjonsgraf for Cyber d40 [43]	8
Tek-El-Fig.4	Kollmorgen AKMH32	9
Tek-El-Fig.5	Kollmorgen AKMH52	10
Tek-El-Fig.6	Kollmorgen AKMH64	12
Tek-El-Fig.7	Topologiskisse. Omron.	18
Tek-El-Fig.8	EtherCAT	19
Tek-El-Fig.9	Ethernet/IP	20
Tek-El-Fig.10	Enkoder-interface	21
Tek-El-Fig.11	Omron PLS og HUB	22
Tek-El-Fig.12	Wittenstein Small servo drive system	23
Tek-El-Fig.13	Kollmorgen AKD	24
Tek-El-Fig.14	Wittenstein adapterkabel	25
Tek-El-Fig.15	Omron NJ-PA3001	26

Tek-El-Fig.16	Omron S8VK-S24020	27
Tek-El-Fig.17	Mean Well RPS 3000-48	28
Tek-El-Fig.18	Simulink-blokkdiagram brukt for PID-tuning. Parallell regulering av motorene. De tre første aksene.	31
Tek-El-Fig.19	Simulink-blokkdiagram brukt for PID-tuning. Parallell regulering av motorene. De to siste aksene.	32
Tek-El-Fig.20	Respons for Y-aksen	33
Tek-El-Fig.21	Simulink-blokkdiagram med subscriber- og publisher-blokker for oppkobling med styreprogrammet i ROS. Figuren er delt i to for å få plass på arket.	35
Tek-El-Fig.22	Simulink-blokkdiagram med subscriber- og publisher-blokker for oppkobling med styreprogrammet i ROS. Figuren er delt i to for å få plass på arket.	36
Tek-El-Fig.23	Referansesignal fra ROS, det ble benyttet én per akse.	37
Tek-El-Fig.24	Tilbakekoblingssignal fra ROS der meldingen dekomponeres til en tilbakekobling for hver akse.	37
Tek-El-Fig.25	Blokk som publiserer signaler tilbake til ROS.	38

## Liste over tabeller

Tek-El-Tab.1	Variabler og symboler brukt i denne seksjonen	1
Tek-El-Tab.2	Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.	15
Tek-El-Tab.3	Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.	15
Tek-El-Tab.4	Elektriske komponenter brukt i topologiskisse med PLS fra Omron	18

## Tek-El.1 Fysiske krav og motordimensjonering

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$t$	Tid	s
$t_{skj}$	Skjæretid	s
$x$	Knivposisjon	m
$x_f$	Flekkposisjon	m
$v$	Hastighet	m/s
$v_f$	Hastigheten til fisken/melaninflekken langs rullebåndet	m/s
$a$	Akselerasjon	$m/s^2$
$a_r$	Retardasjon	$m/s^2$
$\tau$	Dreiemoment	Nm
$\tau_{effective}$	Effektivt dreiemoment	Nm
$\tau_{peak}$	Maksimalt dreiemoment	Nm
$\omega_{mean}$	Gjennomsnittlig rotasjonshastighet	rpm eller rad/s avhengig av sammenheng
$\omega_{peak}$	Maksimal rotasjonshastighet	rpm eller rad/s avhengig av sammenheng

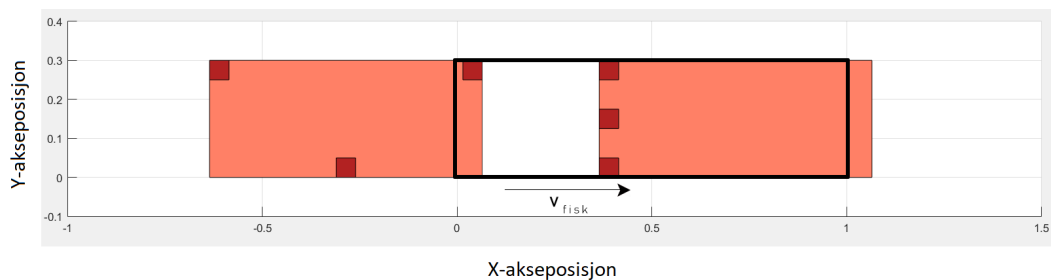
**Tek-El-Tab.1:** Variabler og symboler brukt i denne seksjonen

I denne seksjonen skal systemets elektriske motorer og dimensjoneringen av disse presenteres. I et system som RoboTrim der det er mange ukjente variable for bevegelsen, kan det være vanskelig å avgjøre hvilke akselerasjoner som kreves. Det kan tenkes at det er lurt å dimensjonere etter et worst-case scenario, eller etter et mer reellt tilfelle. Motorene i dette systemet er dimensjonert basert på et valgt scenario for bevegelsen. Det ble benyttet blant annet Matlab som verktøy for fysiske analyser av bevegelsen. Disse fysiske analysene endte med krav til akselerasjoner for hver akse. Videre ble det benyttet et verktøy kalt "Siemens Sizer" [44] for å dimensjonere motorene. Over de neste seksjonene skal resultatene presenteres. De neste seksjonene er kun et utdrag; de fysiske simuleringene, beregningene og motordimen-

sjoneringen er presentert i sin helhet i vedlegg Ve-Tek.6.

### Tek-El.1.1 Scenario for motordimensjonering

Det ble først sett på et worst-case scenario for bevegelsen. Dette er presentert i vedlegg Ve-Tek.6. Som det kan leses i vedlegget ble det funnet ut av var dette urealistisk å oppnå med tanke på at akselerasjonene i systemet blir alt for ekstreme. Derfor ble det videre sett på et mer realistisk tilfelle, der flekkene var mer jevnt fordelt på fiskefiletene. Som det ble sett tidligere fra studiet på melaninflekker Pp.1.2.1 er det vanligste tilfellet at flekkene sitter i fremre del av buken på fileten (i 70% av tilfellene der det er melaninflekker på en filet). Det er derfor mer realistisk å se på en jevnere fordeling av melaninflekker med tanke på akselerasjon, krefter i systemet og motordimensjonering. For å ta hensyn til at det kan oppstå vanskeligere tilfeller ble det tatt utgangspunkt i at én filet har flekkene tett plassert, og den neste har flekkene mer jevnt fordelt. Dette betyr at hele spekteret dekkes; den ene fileten har flekkene tett plassert og den andre har flekkene jevnt fordelt. Scenarioet som det ble tatt utgangspunkt i for x-aksebevegelsen er: tre melaninflekker med parallell plassering på den første fileten. Deretter er flekkene på den neste fileten plassert 35cm bak de første, 30cm bak denne igjen og til slutt 35cm bak for den siste. Dette scenarioet kan sees i figuren under.



**Tek-El-Fig.1:** Scenario for fysiske analyser. Det svarte rektangelet representerer arbeidsområdet til systemet. De mørke flekkene er melaninflekkene på fiskefiletene. Generert i Matlab.

Dersom systemet klarer å utføre operasjonen ved dette tilfellet er det sannsynlig at det også vil kunne operere ved alle mer reelle tilfeller.



### Tek-El.1.2 Fysiske beregninger

For å kunne dimensjonere de elektriske motorene som skal brukes i RoboTrim har det vært nødvendig å gjøre et overslag av krefter og akselerasjoner for de forskjellige aksene i systemet for å kunne tilfredsstillere KR-08: "Systemet skal kunne prosessere én laksefilet per sekund".

De fysiske beregningene for X-bevegelsen er basert på likningssettet under. En fullstendig forklaring av måte dette er kommet frem til og hvordan det iterativt ble løst i matlab for å finne akselerasjon for x-aksen kan leses i vedlegg Ve-Tek.6. Hver variabel er også beskrevet nærmere i vedlegget.

$$\begin{aligned}
 t &= t_1 + t_2 \\
 x_2 &= x_{f,0} + v_f t \\
 x_1 &= x_k + v_{k,0} t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2 \\
 v_1 &= v_{k,0} + a t_1 \\
 x_2 &= x_1 + v_1 t_2 + \frac{1}{2} a_r t_2^2 \\
 v_s &= v_1 + a_r t_2 \\
 x &= x_2 + v_s t_{skj} \\
 x_f &= x_{f,0} + v_f (t + t_{skj}) \\
 x &= x_2 + v_s t_{skj} \\
 x_f &= x_{f,0} + v_f (t + t_{skj})
 \end{aligned}
 \tag{Tek-El-Mat.1}$$

### Tek-El.1.3 Operasjonstider ved valgt scenario

Akselerasjonene vil i hovedsak avhenge av hvor kort tid hver akse har på å forflytte seg mellom flekkene. Tilfellet som ble presentert i Tek-El.1.1 resulterte i en akselerasjon på  $18m/s^2$  for X-aksen ved å løse likningssettet i seksjon Tek-El.1.2. Denne akselerasjonen og bevegelsen ga et sett med tidspunkter der de andre aksene måtte være i posisjon. Måten resultatene ble kommet frem til er presentert i Ve-Tek.6.

Tidene ble som følger:

$$t_1 = 0,396s$$

$$t_{skj,1} = 0,1s$$

$$t_2 = 0,175s$$

$$t_{skj,2} = 0,1s$$

$$t_3 = 0,175s$$

$$t_{skj,3} = 0,1s$$

(Tek-El-Mat.2)

$$t_4 = 0,187s$$

$$t_{skj,4} = 0,1s$$

$$t_5 = 0,237s$$

$$t_{skj,5} = 0,1s$$

$$t_6 = 0,209s$$

$$t_{skj,6} = 0,1s$$

Her er  $t_1$  tiden aksesystemet må bruke på å komme i posisjon for skjæring av første flekk,  $t_2$  for andre flekk osv.  $t_{skj,1}$  er tiden det tar å skjære først flekk osv.

#### **Tek-El.1.4 Bevegelser for hver akse ved valgt scenario**

Det ble definert en bevegelse for hvordan hver akse måtte bevege seg i henhold til arbeidsområdet og tidene som kommer av det valgte scenarioet. Disse bevegelsene skal presenteres under. Mer fullstendig definisjon er presentert i vedlegg Ve-Tek.6.3.

##### **Tek-El.1.4.1 Bevegelse for pitch**

Bevegelsen mellom hver melaninflekk ble antatt som worst-case til å være på  $90^\circ$ .

##### **Tek-El.1.4.2 Bevegelse for yaw**

Bevegelsen mellom hver melaninflekk ble antatt som worst-case til å være på  $90^\circ$ .

### Tek-El.1.4.3 Bevegelse for x

Som presentert i Ve-Tek.6.3 er x-aksebevegelsen vanskelig å definere siden melaninflekkene beveger seg i x-retning. Måten x-aksebevegelsen er kommet frem til er presentert i detalj i Ve-Tek.6.

Utgangspunktet er scenarioet som presentert i seksjon Tek-El.1.1. Kniven starter på posisjon  $1m$ , og første flekk starter på posisjon  $0m$ . Kniven akselererer mot flekken før den begynner å bremse til den har null hastighet. Deretter fortsetter den å akselerere andre veien for å oppnå ønsket skjærefart på  $0,5m/s$  som varer i  $0,1s$  (antatt skjæretid).

Melaninflekkene er plassert som definert i seksjon Tek-El.1.1. Akselerasjonen for x-aksen ble beregnet iterativt ved bruk av et Matlab-script som presentert i detalj i vedlegg Ve-Tek.6.

### Tek-El.1.4.4 Bevegelse for y

Bevegelsen mellom hver melaninflekk ble antatt som worst-case til å være på  $300mm$ .

### Tek-El.1.4.5 Bevegelse for z

Bevegelsen mellom hver melaninflekk ble antatt som worst-case til å være på  $90mm$  opp og  $90mm$  ned. Det kan tenkes at dette er i overkant mye for en laksefilet, men det er tatt hensyn til at vinklingen av kniven (pitch) også endrer høyden til knivens endepunkt.

### Tek-El.1.4.6 Akselerasjoner i systemet

De resulterende akselerasjonene for hver aksene blir:

$$a_x = 18m/s^2$$

$$a_y = 39m/s^2$$

$$a_z = 47m/s^2 \quad (\text{Tek-El-Mat.3})$$

$$\alpha_{pitch} = 205rad/s^2$$

$$\alpha_{yaw} = 205rad/s^2$$

Måten disse akselerasjonene ble kommet frem til er beskrevet i vedlegg Ve-Tek.6.

### Tek-El.1.5 Dimensjonering av motorer for systemet

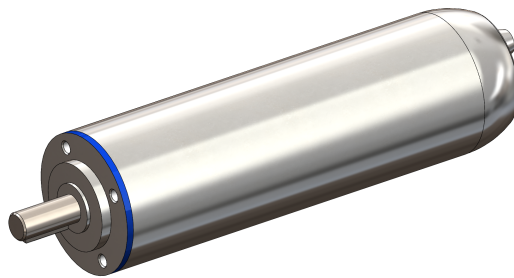
#### Tek-El.1.5.1 Dimensjonering av motorer for pitch

I dette kapittelet skal resultatene fra beregningene og motordimensjoneringen for pitch presenteres. Dimensjoneringen kan finnes i sin helhet i vedlegg Ve-Tek.6.

Pitch-aksen er en rotasjonsakse. Tregghetsmomentet til legemet som flyttes er på  $0,01923kgm^2$  med mål fra Solidworks-modellen. Tidene og bevegelsene for denne aksen ble presentert i Tek-El.1.1 og Tek-El.1.3. Disse parametrene ble satt inn i Sizer som vist i vedlegg Ve-Tek.6.

Motorkravene ble da:

$$\begin{aligned}\tau_{effective,pitch} &= 1,84Nm \\ \omega_{mean,pitch} &= 45,48rpm \\ \tau_{peak,pitch} &= 3,95Nm \\ \text{at } \omega_{peak,pitch} &= 171,43rpm\end{aligned}\tag{Tek-El-Mat.4}$$



**Tek-El-Fig.2:** Wittenstein Cyber d40

Valgt motor for å drive pitch er "Cyber d40" fra produsent Wittenstein [45] som vist i figur Tek-El-Fig.2. Det er valgt å benytte en innebygget to-steps girutveksling med 20 i tannhjulforhold. Denne motoren finnes med kapslingsgraden IP69K, og veier  $0,8kg$  med valgt girutveksling. Maksimalt dreiemoment for denne elmotoren er oppgitt i datablad til:  $\tau_{m,pitch} = 8Nm$ . Denne motoren ble valgt grunnet dens lille størrelse og vekt. På dagens marked er det begrenset hvor mange ulike produsenter som leverer elektriske motorer med kapslingsgrad IP69K. Cyber-serien til

Wittenstein er den minste serien med hygieniske motorer. Typen d40 er den største størrelsen i denne serien, og veier som sagt kun  $0,8kg$  inkludert gir. Dersom en annen motorserie skulle ha blitt valgt (f.eks. Kollmorgen) veier den minste av disse, AKMH21C, hele  $3,6kg$  uten gir. Det er derfor klart at det er ønskelig å benytte Cyber-serien til Wittenstein i stedet for disse.

### Tek-El.1.5.2 Dimensjonering av motorer for yaw

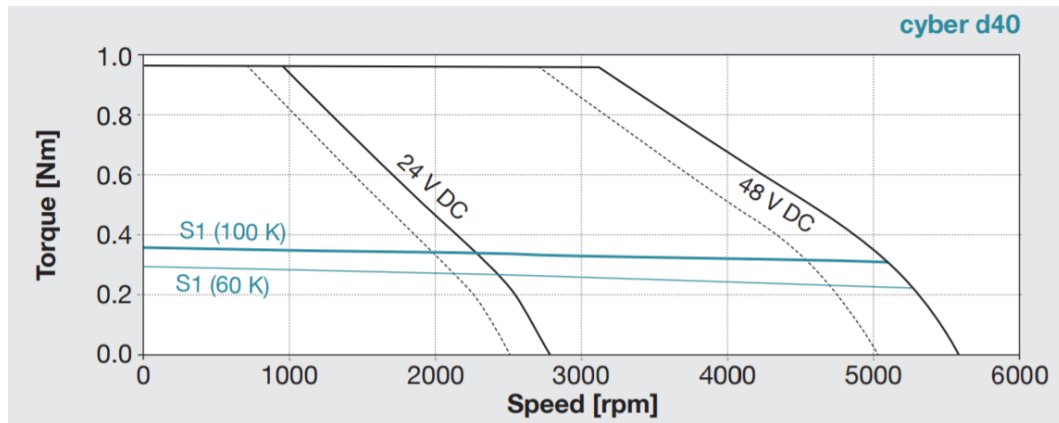
I dette kapitlet skal resultatene fra beregningene og motordimensjoneringen for yaw presenteres. Dimensjoneringen kan finnes i sin helhet i vedlegg Ve-Tek.6.

Siden dette også er en rotasjonsakse er det nødvendig å vite treghetsmomentet til legemet som forflyttes. Dette er på  $0,06kgm^2$  med mål fra Solidworks-modellen. Tidene og bevegelsene for denne aksen ble presentert i Tek-El.1.1 og Tek-El.1.3. Disse parametrene ble satt inn i Sizer som vist i vedlegg Ve-Tek.6.

Motorkravene ble da:

$$\begin{aligned}\tau_{effective,yaw} &= 7,30Nm \\ \omega_{mean,yaw} &= 45,48rpm \\ \tau_{peak,yaw} &= 13,68Nm \\ \text{at } \omega_{peak,yaw} &= 171,43rpm\end{aligned}\tag{Tek-El-Mat.5}$$

Valgt motor for å drive yaw er "Cyber d40" fra produsent Wittenstein [45] som er samme motor som for pitch. Se figur Tek-El-Fig.2 for bilde av motoren. For denne aksen er det nødvendig å benytte to slike motorer for å drive aksen. Disse har et maksimalt dreiemoment på  $8Nm$  og i den verste delen av bevegelsen krever systemet et dreiemoment på  $13,68Nm$  ved  $171,43rpm$ . Dette vil ikke være veldig overdimensjonert, men tallene er basert på maksimalt utslag for denne aksen mellom hver flekk. Som det kan sees i operasjonsgrafene til disse motorene Tek-El-Fig.3 synker ikke dreiemomentet nevneverdig med økende rotasjons hastighet. Det er derfor rimelig å anta at disse motorene vil fungere ved dette scenarioet.



**Tek-El-Fig.3:** Operasjonsgraf for Cyber d40 [43]

Figuren viser operasjonsgrafene uten påmontert girutveksling. Dreiemomentene og rotasjonshastighetene på aksene må derfor skaleres i henhold til girutvekslingen.

### Tek-El.1.5.3 Dimensjonering av motorer for X

I dette kapittelet skal resultatene fra beregningene og motordimensjoneringen for X-aksen presenteres. Dimensjoneringen kan finnes i sin helhet i vedlegg Ve-Tek.6.

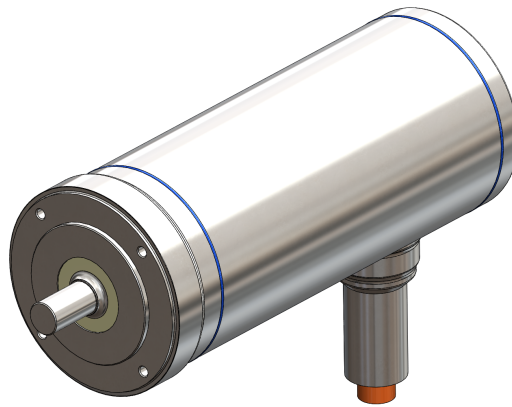
Dette er den innerste av de lineære aksene, og dens funksjon er å drive løperen frem og tilbake langs rullebåndets retning. Løperen inneholder hele mekanismen for pitch og yaw, samt selve løperen med hjul etc. Dette er ikke en rotasjonsakse. For å definere det fysiske systemet i Sizer er det derfor ikke nødvendig å beregne treghetsmomenter. Det er massen til løperen og alt som er festet på denne som har betydning for bevegelsen. Løperen drives med bånddrift, der motoren er plassert på den ene enden av en skinne. Motoren vil ikke være med på denne aksens bevegelse. Løperen vil rulle frem og tilbake langs en skinne. Med et drivhjul med en diameter på 80mm kan dette systemet defineres i Sizer. Vekten på det som flyttes er satt til 18kg med tall fra Solidworks-modellen. Intern masse i båndet er antatt til 1kg.

Tidene og bevegelsene for denne aksen ble presentert i Tek-El.1.1 og Tek-El.1.3. Disse parametrene ble satt inn i Sizer som vist i vedlegg Ve-Tek.6.

Som nevnt i Tek-El.1.1 kan ikke X-aksebevegelsen enkelt defineres. Det ble derfor tatt utgangspunkt i det tilfellet der systemet måtte ha maksimal akselerasjon/-dreiemoment ved toppfarten siden det er dette som er den begrensende faktoren for en elektrisk motor [46].

Med et girforhold på 5:1 blir motorkravene:

$$\begin{aligned}\tau_{effective,x} &= 2,49Nm \\ \omega_{mean,x} &= 1535,61rpm \\ \tau_{peak,x} &= 3,04Nm \\ \text{at } \omega_{peak,x} &= 3957,25rpm\end{aligned}\tag{Tek-El-Mat.6}$$



**Tek-El-Fig.4:** Kollmorgen AKMH32

Valgt motor for å drive X-aksen er "AKMH32E - CNWNGFXK" fra produsent Kollmorgen [47] som vist i figur Tek-El-Fig.4. Denne motoren har kapslingsgraden IP69K som tilfredsstillter kravet. Motoren har et maksimalt dreiemoment på  $8,24Nm$ . "Rated-verdi" for dreiemomentet kan bli en del lavere enn dette ved de hastighetene som motoren skal operere med. Motoren kan levere godt over det dreiemomentet som kreves ved korte intervaller. Tilfellet der X-aksen når sin topphastighet er kun når den starter på den ene siden av arbeidsområdet og melaninflekkene på den andre siden. Dette er et tilfelle som i praksis sjeldent vil oppstå. Motoren regnes derfor for å være tilstrekkelig for å drive denne aksen. Valgt gir er "AQT-060-005-0-MMR-725". Vekt på motoren er  $5,4kg$  med "face-mounting", og giret veier  $2,4kg$ . Total vekt for X-akse motoren blir da  $7,8kg$ .

#### Tek-El.1.5.4 Dimensjonering av motorer for Y

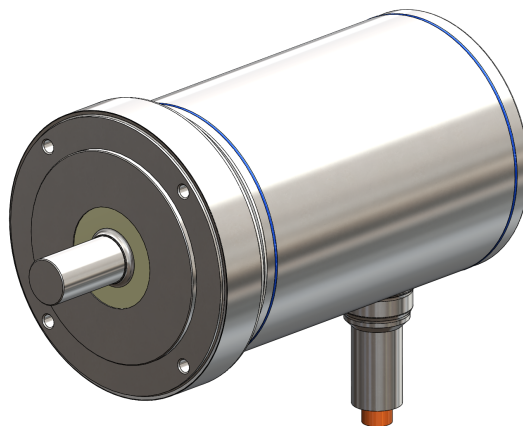
I dette kapitlet skal resultatene fra beregningene og motordimensjoneringen for Y-aksen presenteres. Dimensjoneringen kan finnes i sin helhet i vedlegg Ve-Tek.6.

Dette er den nest ytterste akselen, og dens funksjon er å flytte verktøyet på tvers av rullebåndet. Denne akselen må flytte skinnen som løperen for X-aksen ruller langs i tillegg til selve løperen og alt som er fastmontert på denne. Som for X-aksen er dette ikke en rotasjonsakse. Det fysiske systemet er definert som en lineær akse, der diameteren på drivhjulet som er montert på motorens rotor er på  $80\text{mm}$ . Vekten på det fysiske systemet er definert til å være på  $64\text{kg}$  med tall fra Solidworks-modellen. Dette inkluderer løperen med alt som er fastmontert i tillegg til skinnene som X-aksen løper langs og motoren som driver X-aksen. Intern masse i drivløsningen er satt til  $1\text{kg}$ .

Tidene og bevegelsene for denne akselen ble presentert i Tek-El.1.1 og Tek-El.1.3. Disse parametrene ble satt inn i Sizer som vist i vedlegg Ve-Tek.6.

Det er valgt å bruke en girutveksling på 5:1 i girforhold. Da blir motorkravene:

$$\begin{aligned}\tau_{effective,y} &= 12,09\text{Nm} \\ \omega_{mean,y} &= 1085,70\text{rpm} \\ \tau_{peak,y} &= 22,64\text{Nm} \\ \text{at } \omega_{peak,y} &= 4092,56\text{rpm}\end{aligned}\tag{Tek-El-Mat.7}$$



**Tek-El-Fig.5:** Kollmorgen AKMH52



Valgt motor for å drive Y-aksen er: "AKMH52H - CNWNGFXK" fra produsent Kollmorgen [48] som vist i figur Tek-El-Fig.5. Denne motoren har kapslingsgraden IP69K. Det er valgt å benytte to stykker for å oppnå høyt nok dreiemoment (kravet per motor kan halveres når det benyttes to motorer). Kravet til effektivt dreiemoment per motor blir da  $12,09Nm/2 = 6,045Nm$  ved  $1085,70rpm$ . Disse motorene kan levere et nominelt dreiemoment på  $5,32Nm$  ved  $1800rpm$ . Ved de rotasjonshastighetene systemet normalt skal operere med vil disse motorene være tilstrekkelige. Over kortere intervaller kan motorene levere helt opp mot  $29,1Nm$ . Tilfellet for bevegelsen som det tas utgangspunkt i er regnet som tidligere diskutert regnet som worst-case for Y-aksen basert på tidene gitt av X-bevegelsen. Det er derfor lite sannsynlig at systemet må operere som definert i Tek-El.1.1 kontinuerlig over tid. Disse motorene blir derfor regnet for å være tilstrekkelige for å drive systemet.

De valgte motorene veier  $13,6kg$  med "face-mounting" per stykk. Valgt gir er "AQT-120-005-0-MMR-727" som har en utveksling på 5:1. Hvert gir veier  $12kg$ . Total vekt for disse motorene blir  $51,2kg$

### **Tek-El.1.5.5 Dimensjonering av motorer for Z**

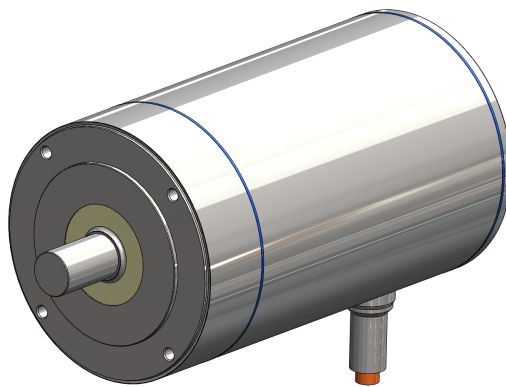
I dette kapittelet skal resultatene fra beregningene og motordimensjoneringen for Y-aksen presenteres. Dimensjoneringen kan finnes i sin helhet i vedlegg Ve-Tek.6.

Dette er den ytterste aksene, og dens funksjon er å flytte systemet opp og ned. Denne aksene må flytte alle de andre aksene. Motorene for Z-aksene skal være stillestående og det er derfor mulig for disse motorene å ha ganske høy masse, og dermed også høyt dreiemoment. Som for både X- og Y-aksene er dette en lineær akse. Det fysiske systemet ble definert som et system med lineær bevegelse der drivhjulsdiameteren er  $120mm$ . Massen til det fysiske systemet ble definert til å være på  $200,248kg$  med verdier fra Solidworks-modellen. Massen inkluderer alle de indre aksene inkludert motorer, festemekanismer osv. for disse. Intern masse i bånddriften ble satt til  $1,5kg$ . Et ekstra treghetsmoment fra stengene som motorene er festet på ble satt til  $0,036kgm^2$  basert på verdier fra Solidworks-modellen. Systemet ble satt til å være vertikalt, slik at gravitasjonsens påvirkning på massen også tas med i betraktningen.

Tidene og bevegelsene for denne aksen ble presentert i Tek-El.1.1 og Tek-El.1.3. Disse parametrene ble satt inn i Sizer som vist i vedlegg Ve-Tek.6.

Det er valgt å bruke en girutveksling på 5:1 i girforhold. Da blir motorkravene:

$$\begin{aligned}\tau_{effective,z} &= 74,23Nm \\ \omega_{mean,z} &= 398,09rpm \\ \tau_{peak,z} &= 159,13Nm \\ \text{at } \omega_{peak,z} &= 1637,02rpm\end{aligned}\quad (\text{Tek-El-Mat.8})$$



**Tek-El-Fig.6:** Kollmorgen AKMH64

Valgt motor for drive Z-aksen er da: "AKMH64K - CNW2GFXX" fra produsent Kollmorgen [48] som vist i figur Tek-El-Fig.6. Denne motoren har også kapslingsgraden IP69K. Det er valgt å benytte fire stykker for å oppnå høyt nok dreiemoment. Kravet til effektivt dreiemoment per motor blir da  $74,23Nm/4 = 18,56Nm$  ved  $398,09rpm$ . Disse motorene kan levere et nominelt dreiemoment på  $17,1Nm$  ved  $1200rpm$ . Ved den lavere rotasjonshastigheten systemet effektivt må arbeide ved vil motorene være tilstrekkelige (som nevnt tidligere blir dreiemomentet større ved lavere hastigheter [46]) Over kortere intervaller kan motorene levere helt opp mot  $75,1Nm$ . Det er lite sannsynlig at systemet må operere som definert i vedlegg Ve-Tek.6 kontinuerlig over tid, men motorene kan altså levere mer enn nok dreiemoment ved kortere intervaller dersom dette kreves.

De valgte motorene veier  $29,2kg$  per motor (med face-mounting). Valgt gir er "AQT-160-005-0-MMR-728" som har en utveksling på 5:1. Hvert gir veier  $24,8kg$ . Siden denne aksen er vertikal er det valgt å bruke "holding brake". Dette er et bremsesys-

tem som holder systemet på plass mens det står stille [49]. Dette brukes på den vertikale Z-aksen for at denne skal kunne holdes på plass i en høyde uten å falle ned. Hver brems veier  $3,5\text{kg}$ .

Total vekt for disse fire motorene blir da  $230\text{kg}$ . Denne vekten kan i utgangspunktet høres veldig mye ut, men som tidligere nevnt vil disse motorene stå fastmontert. Disse vil derfor ikke påvirke hvor store krefter som må brukes for å drive systemet.

### **Tek-El.1.6 Motorvalg med tanke på hygienisk design**

I dette kapittelet vil motorvalgene diskuteres med tanke på hygienisk design.

Det er valgt å begrense antallet produsenter for valgte motorer. Dette vil være en fordel med tanke på bestilling for å gjøre dette enklere. Cyber-serien til Wittenstein er en fordel å benytte der små og lette motorer er ønskelig. Disse ble derfor benyttet for de to innerste rotasjonsaksene. AKMH-serien til Kollmorgen er både større, tyngre og kan levere høyere dreiemomenter ved de hastighetene systemet skal operere ved enn Cyber-motorene. Det er derfor valgt å benytte motorer fra denne serien for å drive de tre kartesiske aksene som må flytte mer masse enn rotasjonsaksene.

Alle motorene som er valgt for systemet har kapslingsgraden IP69K. Ifølge kravspesifikasjonen kunne IP67-motorer ha blitt benyttet. AKM-serien til Kollmorgen har kapslingsgraden IP67 og disse er både washdown- og foodgrade-godkjent [50]. Motorene i AKM-serien har en mye lavere vekt enn tilsvarende kraftige motorer i AKMH-serien. Det kunne derfor tenkes at disse motorene hadde passet bedre til et system som skal bevege seg med de akselerasjonene som RoboTrim skal operere med. Et av problemene med AKM-serien er at disse har et epoxy-belegg. Dette belegget kan teoretisk skalle av etter høytrykksvask. Dette måtte derfor ha blitt spesifisert i vaskeprosedyrene for systemet (AKM-motorene kunne ikke blitt vasket med  $80\text{BAR}$  vanntrykk som IP69K motorer kan).

Det kunne likevel tenkes at AKM-motorene kunne ha blitt benyttet på steder i systemet der motorene ikke trenger å være plassert direkte over maten. Dette kunne f.eks. vært en løsning for Y- og Z-aksene. Det har likevel vist seg å være vanskelig å finne hygieniske girutvekslinger som passet til disse motorene. Valget falt derfor likevel på AKMH-serien til Kollmorgen. Bakdelen med disse er at vekten øker, som

igjen øker kravet til dreiemoment for motorene som kommer utenfor disse. Fordelen er at alle motorene, og det elektriske utstyret som er montert på aksesystemet har kapslingsgraden IP69K. Dette er den høyeste kapslingsgraden, og hele systemet vil derfor kunne vaskes etter normal IP69K-prosedyre.

Det er likevel mulig at fremtidig arbeid kan være å designe hygieniske girutvekslinger som passer til AKM-motorene. Dette kan redusere massen som er i bevegelse, samt den totale massen til systemet. Dersom AKM-motorene velges må det derfor som nevnt spesifiseres i vaskeprosedyrene at disse motorene ikke kan vaskes med høytrykksvask som resten av systemet.

Det er valgt å kun bruke brems (holding-brake) på Z-aksen. En slik brems er ikke egnet for nødstop av systemet, de er kun beregnet på å holde systemet i en gitt posisjon når motorene står stille eller er slått av [49]. Z-aksen er en vertikal akse. Det er dette som er grunnen til at det er valgt å bruke holding brake på denne. Når systemet skal vaskes er det nødt til å kunne beveges mens vasken pågår. Dette er for at delene med kontaktoverflater skal kunne flyttes for å komme til med vasking. For at Z-aksen skal kunne holdes på plass i en annen posisjon enn bunnposisjonen er det nødt til å brukes slike bremsere. Når systemet skal vaskes må derfor denne aksen f.eks. først stå i bunnposisjon når den øvre delen vaskes, og i en høyere posisjon for å vaske den nedre delen.

**Tek-El.1.7 Oversikt over valgte motorer**

Tabellen er splittet for å passe på siden.

<b>Motorer og viktige parametre</b>			
<b>Akse</b>	<b>Pitch</b>	<b>Yaw</b>	<b>X</b>
<b>Motor</b>	Cyber d40	Cyber d40	AKMH32E
<b>Kode</b>	N/A	N/A	CNWNGFXK
<b>Produsent</b>	Wittenstein	Wittenstein	Kollmorgen
<b>Gir</b>	Innebygget	Innebygget	AQT-060-005-0-MMR-725
<b>Girforhold</b>	20:1	20:1	5:1
<b>Brems (holding)</b>	Nei	Nei	Nei
<b>Masse per enhet</b>	0,8kg	0,8kg	7,8kg
<b>IP-grad</b>	69K	69K	69K
<b>Antall</b>	1	2	1

**Tek-El-Tab.2:** Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.

<b>Motorer og viktige parametre</b>		
<b>Akse</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Motor</b>	AKMH52H	AKMH64K
<b>Kode</b>	CNWNGFXK	CNW2GFXK
<b>Produsent</b>	Kollmorgen	Kollmorgen
<b>Gir</b>	AQT-120-005-0-MMR-727	AQT-160-005-0-MMR-728
<b>Girforhold</b>	5:1	5:1
<b>Brems (holding)</b>	Nei	Ja
<b>Masse per enhet</b>	25,6kg	57,5kg
<b>IP-grad</b>	69K	69K
<b>Antall</b>	2	4

**Tek-El-Tab.3:** Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.

## Tek-El.2 Valg av elektrisk hardware

I dette kapitlet er konfigureringen av den valgte elektriske hardwaren vist i systemtopologi og begrunnet. For at konseptet prosjektgruppen har utviklet skal være enkelt for oppdragsgiver å bygge og utvikle videre, har det vært et stort fokus på at den valgte hardwaren skal ha god nok ytelse til å utføre applikasjonen, samt at komponentene er kompatible. Innledningsvis ble det utviklet en systemtopologi med bruk av PLS fra Siemens, men etter mye research på komponentkompatibilitet og kontakt med leverandører, ble det konkludert med at en PLS fra Omron førte til en enklere løsning med færre komponenter. Det er hovedsaklig denne konfigureringen med PLS fra Omron som er beskrevet i dette kapitlet. Hardwarekonfigureringen med bruk av Siemens PLS, oppkoblingsdiagram og topologiskisser i A3-format er vedlagt, se Ve-Tek.8, Ve-Tek.7 og Ve-Tek.9.

### Tek-El.2.1 Valgkriterier for elektrisk hardware

**Kommunikasjon** Hastigheten som aksesystemet skal operere i stiller store krav til rask informasjonsflyt, kommunikasjonen mellom enhetene må dermed foregå raskt. Syklustidene må være korte og kommunikasjonsprotokollen må tillate nøyaktig synkronisering av systemets akser.

**PLS** Aksesystemets hardware krever sanntidsoperasjon i alle fem akser og det er derfor viktig at PLS-ens syklustid er kort nok til å håndtere applikasjonen. Om PLS-ens syklustid er for lang, vil dette føre til at verdier som endrer seg *for* raskt, ikke fører til endringer på utgangene. I tillegg til dette må PLS-en være kompatibel med servodriverne, samt kommunisere over den valgte kommunikasjonsprotokollen for systemet. Konfigureringen av hardware er basert på at det softwaremessig er PC-en med ROS som utfører de kinematiske beregningene og baneplanleggingen. Dette medfører at CPU-en som velges ikke har behov for å foreta kinematiske beregninger eller interpolering av de fem aksene - noe den måtte utført om PLS-en hadde en vært frittstående kontroller av aksesystemet. PLS-en må i tillegg til dette inneha kapasitet til å kontrollere alle de ti motorene i systemet.

**HUB** Om en HUB skal brukes, må den være kompatibel med både valgt PLS og kommunikasjonsprotokoll. Det må også være nok inn- og utganger på HUBen.

**Servodrivere** Valg av egnet servodrive for de ulike servomotorene som brukes i systemet er kritisk, dette for at servomotorene skal utføre bevegelsen PC-en har beregnet at motorene må gjennomføre. Servodrivernes oppgave er å omforme det elektriske signalet som kommer fra PLS-en, til et signal motoren forstår, slik at motoren utfører ønsket bevegelse. Driven må kunne levere *maks* strømtrekk for servomotorene, være kompatibel med kommunikasjonsprotokollen som er valg for systemet og kunne tolke enkoder-feedbacken som den mottar fra enkoderen.

**Servomotorer** Som beskrevet i Ve-Tek.6, baserer kravene til dreiemoment og rotasjonshastighet for motorene seg på dynamikk beskrevet i Siemens Sizer. I tillegg til dette må kapslingsgraden til motorene være IP69K eller IP67-washdown-godkjent i følge *KR-17*.

For applikasjonen er det ønskelig med så få kabler mellom motor og drive som mulig, dette med tanke på hygienisk design (minskede mulige festeoverflater for "laksesøl") og for å gjøre kablingen enklere. Om mulig velges det derfor enkodere med mulighet for enkoder-signalet "*integrert*" i forsyningskabelen.

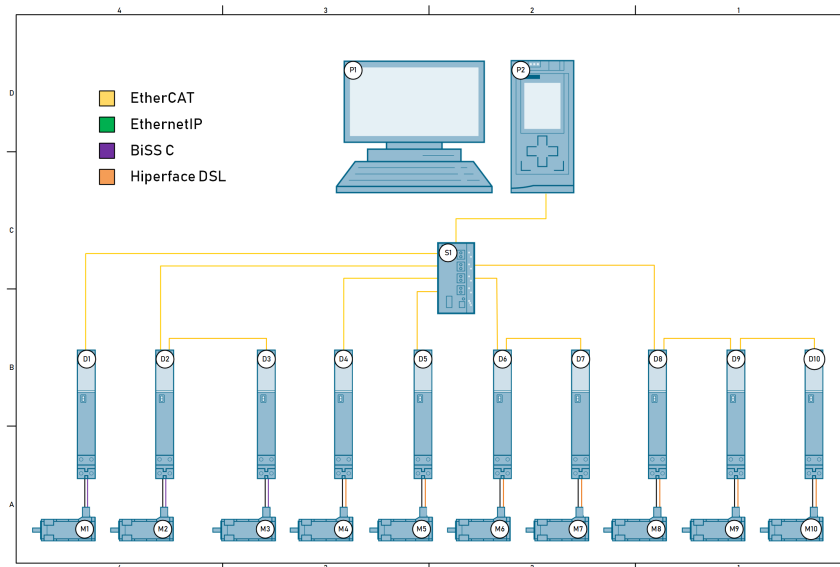
**Strømforsyning** I det foreslåtte systemet vil det være tre strømforsyninger:

- Én 5V strømforsyning for PLS-en/CPU-en.
- Én 24V strømforsyning som skal forsyne den interne logikken i servodrivene.
- Én 48V strømforsyning for servodrivene fra Wittenstein

I tillegg til dette må en del av servodrivene være tilkoblet trefasenett.

Strømforsyningene må ha kapasitet til å levere maks strømtrekk til komponentene den skal forsyne.

## Tek-El.2.2 Hardwarekonfigurasjon ved bruk av PLS fra Omron



Tek-El-Fig.7: Topologiskisse. Omron.

Samme topologiskisse i A3-format er lagt ved, se Ve-Tek.9.

Identifikator	Beskrivelse	Komponentnavn
P1	PC	PC med RJ-45-tilkobling
P2	PLS	Omron NJ501-1300
S1	HUB	Omron GX-JC06
D1-D3	Servodrive	Wittenstein SIMCO SIM2010D-C
D4	Servodrive	Kollmorgen AKD-P00607
D5, D6	Servodrive	Kollmorgen AKD-P01207
D7-D10	Servodrive	Kollmorgen AKD-P02407
M1-M3	Servomotor	Wittenstein Cyber d40
M4	Servomotor	Kollmorgen AKMH32E
M5, M6	Servomotor	Kollmorgen AKMH52H
M7-M10	Servomotor	Kollmorgen AKMH64K

Tek-El-Tab.4: Elektriske komponenter brukt i topologiskisse med PLS fra Omron



### Tek-El.2.2.1 Kommunikasjon

Oppkoblingen mellom komponentene som kommuniserer over EtherCAT og Ethernet/IP er vist i Ve-Tek.7 *tegningnr. 3*

**EtherCAT** (Ethernet for Control Automation Technologi) er en Ethernet-basert sanntidskommunikasjonsprotokoll som ble utviklet av Beckhoff i 2003 [51]. Protokollen ble spesielt utviklet for å tillate bruk av Ethernet i automatiseringsapplikasjoner med krav til korte syklustider ( $\leq 100\mu s$ ) og nøyaktig synkronisering. EtherCAT kan synkronisere med nanosekunds nøyaktighet. Dette er en nødvendighet for applikasjoner hvor systemet kontrolleres av eller måles via kommunikasjonsbussen [52] .



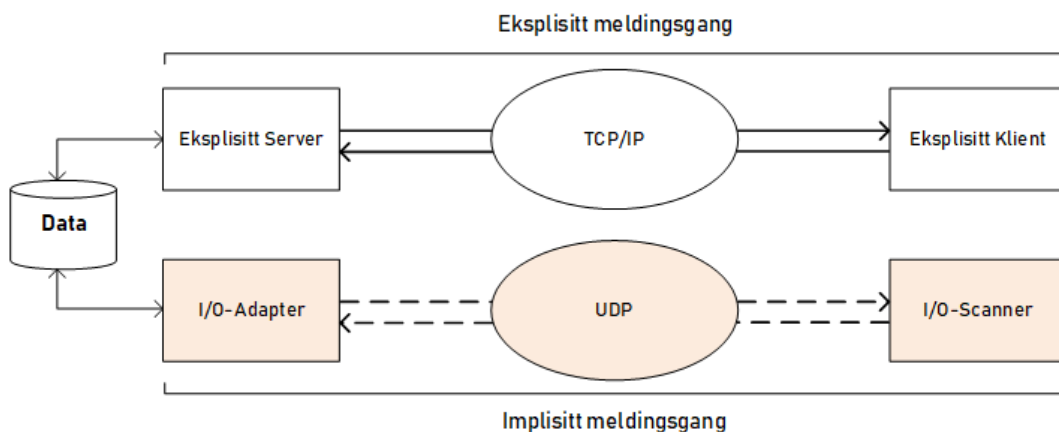
Tek-El-Fig.8: EtherCAT

Informasjonsflyten mellom EtherCAT-master og EtherCAT-slaver er: EtherCAT-masteren sender telegrammer som inneholder all informasjon til komponentene i nettverket den styrer. EtherCAT-slavene leser dataen som er adressert til dem, mens telegrammet fortsetter videre i nettverket - dataen håndteres altså "on the fly". Samme prinsipp gjelder for informasjonen som skal fra EtherCAT-slaven tilbake til EtherCAT-masteren. Data *hektes* på telegrammet, mens telegrammet fortsetter videre i nettverket. Et helt nettverk vil normalt bli adressert med kun ét telegram.

EtherCAT blir ofte brukt i applikasjoner som stiller høye krav til kort syklustid, som robotapplikasjoner, pakkemaskiner og pick-and-place-maskiner.

**Ethernet/IP** Ethernet/IP benytter seg av to typer meldingskommunikasjoner, henholdsvis eksplisitt og implisitt meldingsgang.

Ethernet/IP bruker TCP/IP ved eksplisitt meldingskommunikasjon: en klient forespør informasjon fra en server, der forespørselen inneholder all informasjon som serveren behøver for å respondere på meldingen. Serveren responderer ved å returnere data i det formatet som klienten spesifiserte i forespørselen. Eksplisitt meldingsgang fungerer godt for ikke-tidskritisk meldingsgang.



**Tek-El-Fig.9:** Ethernet/IP

For tidskritiske applikasjoner som sanntidskontroll brukes implisitt meldingsgang. Implisitt meldingsgang er mye mer effektiv enn eksplisitt meldingsgang, da klienten og serveren er pre-konfigurert til å vite *akkurat* hva de kan forvente seg i form av kommunikasjon. Med dette blir minimalt med tilleggsinformasjon bygget inn i meldingene [53]. Når man aktiverer en link mellom to enheter, kopieres informasjonen frem og tilbake mellom enhetene med den oppdateringsfrekvensen som spesifiseres.

Det er utviklet en såkalt "ROS Bridge" for å gjøre ROS-I kompatibel med Ethernet/IP. Denne er utviklet av ClearPath Robotics [54].

**Tek-El.2.2.2 Kommunikasjon mellom servodriverne og servomotorene**

Kommunikasjonen mellom servodriverene og servomotorene vil gå over to forskjellige enkoder-protokoller, henholdsvis BiSS C for Wittenstein-drive og Wittenstein-motor (med BiSS C-enkoder) og over Hiperface DSL for Kollmorgen-drive og Kollmorgen-motor (med Hiperface DSL-enkoder).

Wittenstein Cyber d40-motoren finnes kun med én type enkoder, en innebygget 12-bits-absoluttenkoder som kommuniserer med driven over BiSS C.



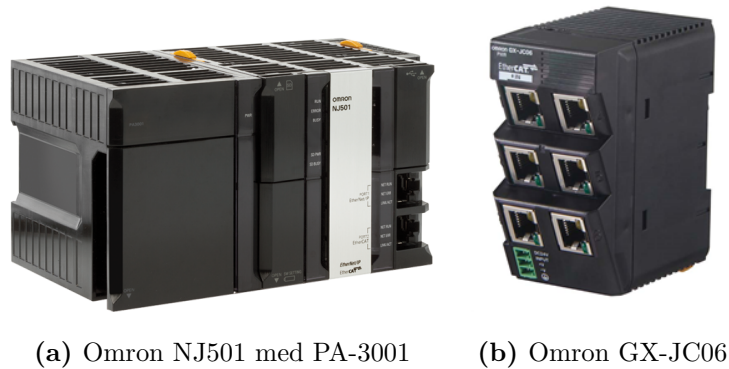
**Tek-El-Fig.10:** Enkoder-interface

Kollmorgen AKMH-motorene finnes med en rekke valgmuligheter når det gjelder enkoder. Enkoderen som er valgt er en multiturn absolutt-enkoder med oppløsning på 262144 counts/rev, som kommuniserer med drive over Hiperface DSL,

### Tek-El.2.3 PLS

Oppkoblingen mellom PLS og HUB er vist i Ve-Tek.7 *tegningsnr. 5*.

Topologien vist i Tek-El-Fig.7 illustrerer hvordan komponentene i systemet kommuniserer. PC-en skal fore inn posisjonskommandoer til PLS-en. PLS-en vil i denne topologien fungere som EtherCAT-master, og dens oppgave er å distribuere kontrollsignalene til drivene, i tillegg til å oppdatere PCen på servomotorenes *nåværende* posisjon. PLS-en valgt for aksesystemet er av typen Omron NJ501-1300, som er utstyrt en EtherCAT-tilkobling og en EtherNet/IP-tilkobling. PLS-en er ideell som kontroller for *små* applikasjoner, for systemer med opp til seksten akser. PLS-en håndterer linje-, daisy-chain- og forgrenings-topologi. [55]



**Tek-El-Fig.11:** Omron PLS og HUB

### Tek-El.2.4 HUB

Som vist i topologiskissen er det tenkt å bruke en HUB som forgreningspunkt mellom PLS og drivere. Dette fordi man med en daisy-chain-løsning kan risikere å miste kommunikasjon med alle etterfølgende drives, hvis noe skulle gå galt med komponenter foran. Med dette vil en løsning med en HUB være mer robust. HUBen som er valgt er fra GX-JC-serien til Omron og er EtherCAT-kompatibel. Komponenten finnes i to forskjellige størrelser, enten med en inngang og to utganger (Omron GX-JC03) eller med en inngang og fem utganger (Omron GX-JC06) [56]. Da det er valgt å gå for en forgreningstopologi, faller valget på en Omron GX-JC06, som vist i Tek-El-Fig.11b.

### Tek-El.2.5 Servomotorer og servodrives

Oppkoblingen mellom servodrives og servomotorer er vist i Ve-Tek.7 *tegningsnr. 6* for pitch, *tegningsnr. 7* for yaw, *tegningsnr. 8* for X-akse, *tegningsnr. 9* for Y-akse og *tegningsnr. 10 og 11* for Z-akse.

#### Tek-El.2.5.1 Pitch-akse

Motoren valgt for pitch-aksen er av typen Wittenstein Cyber d40, utstyrt med en 12-bits-absoluttenkoder (BiSS C) og en innebygget girutveksling på 20:1. Servodriven som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver pitch-aksen er Wittenstein SIMCO SIM2010D-CCSA-EC00-0000-0000. Driven er produsert av Wittenstein og er spesielt utviklet for bruk i Wittensteins "Industrial small servo drive system" der motoren Cyber d40 også inngår. Den leverer maksimalt strømtrekk på 20A i 5 sekunder, og er kompatibel med Omron NJ301-1200 over EtherCAT. Det trengs kun én kabel fra drive til motor, da ledningene som kreves for at enkoderen kommuniserer med driven er "*integrert*" i forsyningskabelen. Driven har to kommunikasjonsbusser. [57]



Tek-El-Fig.12: Wittenstein Small servo drive system

#### Tek-El.2.5.2 Yaw-akse

Motorene (to stk) valgt for pitch-aksen er av typen Wittenstein Cyber d40, utstyrt med 12-bits absoluttenkoder (BiSS C) og innebyggede girutvekslinger på 20:1. Servodriverene valgt for disse motorene er, som for pitch-aksen, Wittenstein SIMCO SIM2010D-CCSA-EC00-0000-0000.

### Tek-El.2.5.3 X-akse

Motoren valgt for X-aksen er av typen Kollmorgen AKMH32E-CNWNFGFXK, utstyrt med en 18-bits multiturn-absoluttenkoder (Hiperface DSL) og en girutveksling med ratio 5:1 av typen Thomsom Micron AquaTrue, AQT060-005-0-MMR-725. Motoren har et maksimalt strømtrekk på 14.1 A. Servodriften som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver X-aksen er Kollmorgen AKD-P00607, som kan levere en nominell strøm på 6A og et makstrekk på 18A i fem sekunder. [58] Det trengs kun én kabel fra drive til motor, da ledningene som kreves for at enkoderen kommuniserer med driven er *"integrert"* i forsyningskabelen.



**Tek-El-Fig.13:** Kollmorgen AKD

### Tek-El.2.5.4 Y-akse

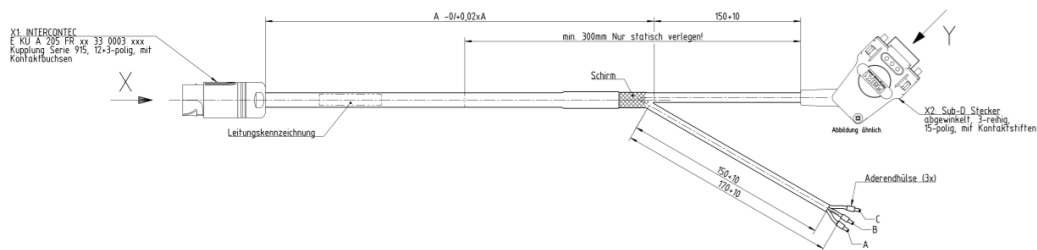
Motorene (to stk) valgt for Y-aksen er av typen Kollmorgen AKMH52H-CNWNFGFXK, utstyrt 18-bits multiturn-absoluttenkodere (Hiperface DSL) og girutvekslinger med ratio 5:1 av typen Thomsom Micron AquaTrue, AQT120-005-0-MMR-727. Motoren har et maksimalt strømtrekk på 29.5 A. Servodriften som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver Y-aksen er Kollmorgen AKD-P01207, som kan levere en nominell strøm på 12 A og levere et makstrekk på 30 A i fem sekunder. Det trengs kun én kabel fra drive til motor, da ledningene som kreves for at enkoderen kommuniserer med driven er *"integrert"* i forsyningskabelen.

### Tek-El.2.5.5 Z-akse

Motorene (fire stk) valgt for Z-aksen er av typen Kollmorgen AKMH64K-CNW2GFXK, utstyrt 18-bits multiturn-absoluttenkodere (Hiperface DSL) og girutvekslinger med ratio 5:1 av typen Thomsom Micron AquaTrue, AQT160-005-0-MMR-728. Motoren har et maksimalt strømtrekk på 46 A. Servodriften som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver Y-aksen er Kollmorgen AKD-P02407, som kan levere en nominell strøm på 24 A og levere et makstrekk på 48 A i fem sekunder. Det trengs kun én kabel fra drive til motor, da ledningene som kreves for at enkoderen kommuniserer med driven er ”integrert” i forsyningskabelen.

### Tek-El.2.6 Kabler

Det skal brukes ferdigproduserte spesialkabler, med støpsler påsatt, hvor jording (støyskjerming og PE) er tatt hånd om. Kabelen mellom Wittenstein SIMCO SIM2010D-C og Wittenstein Cyber d40 er av typen S/L cable XXXHI-XXXX-BAS0-6/3, pin-out er vist i Tek-El-Fig.14



**Tek-El-Fig.14:** Wittenstein adapterkabel

Kabelen mellom Kollmorgen AKD-drivene og Kollmorgen AKMH-motorene er en hybridkabel med partnummer HCJ2AA, som har hygieniske connectorer og er tilpasset drivene. [59]

## Tek-El.2.7 Strømforsyning

### Tek-El.2.7.1 5V DC for PLS

Den valgte PLS-en fra Omron trenger 5V DC driftsspenning. Omron har spesielt tilpassede strømforsyninger for NJ PLS-ene sine, enten med 230V AC (NJ-PAXXXX) eller 24V DC (NJ-PDXXXX) som mating. Det er valgt å bruke en separat strømforsyning for PLS-en, da dette er den eneste elektriske komponenten som trenger 5V DC forsyning. PLSen har et strømtrekk på 1.9A ved 5Vs mating. En 30W strømforsyning av typen Omron NJ-PA3001, som kan levere 6A ved 5V vil dermed være tilstrekkelig.



Tek-El-Fig.15: Omron NJ-PA3001



**Tek-El.2.7.2 24V DC for "logic supply" til servodrivene og HUB-ene**

Samtlige av servodrivene trenger 24V DC "logic supply". I følge databladet til Kollmorgen AKD, trenger samtlige av AKD-drivene strømtilførsel på opp til 1A [60]. I følge databladet til Wittenstein SIMCO SIM2010D-C trekker logikken til driven  $< 250\text{mA}$  [57]. I følge databladet til Omron GX-JC06 er strømforbruket til HUB-en på  $170\text{mA}$  [56].

$$(7 \times 1)\text{A} + (3 \times 250)\text{mA} + (2 \times 170)\text{mA} = 8.09\text{A} \quad (\text{Tek-El-Mat.9})$$

En 240W strømforsyning av typen Omron S8VK-S24024, som nominelt kan levere 10A ved 24V DC vil være tilstrekkelig.



**Tek-El-Fig.16:** Omron S8VK-S24020

**Tek-El.2.7.3 48V DC for Wittenstein SIMCO SIM2010D-C-driverne**

De tre Wittenstein-drivene har et nominelt strømtrekk på 10A og et maksimalt strømtrekk på 20A. I følge datablad krever de en inngangsspenning på 48V DC, og strømforsyningen må være EN/IEC 60950-sertifisert [57]. Strømforsyningen dimensjoneres etter maksimalt strømtrekk for de tre driverne, og må i henhold til Tek-El-Mat.10 levere 60A med en inngangsspenning på 48V.

$$3 \times 20A = 60A \quad (\text{Tek-El-Mat.10})$$

Den valgte strømforsyningen for de tre Wittenstein-driverne er av typen Mean Well RPS-3000-48. Denne har en utgangsspenning på 48V DC, kan levere opp til 62,5A og er EN/IEC 60950-sertifisert [61].



**Tek-El-Fig.17:** Mean Well RPS 3000-48

## Tek-El.3 Reguleringsystemet

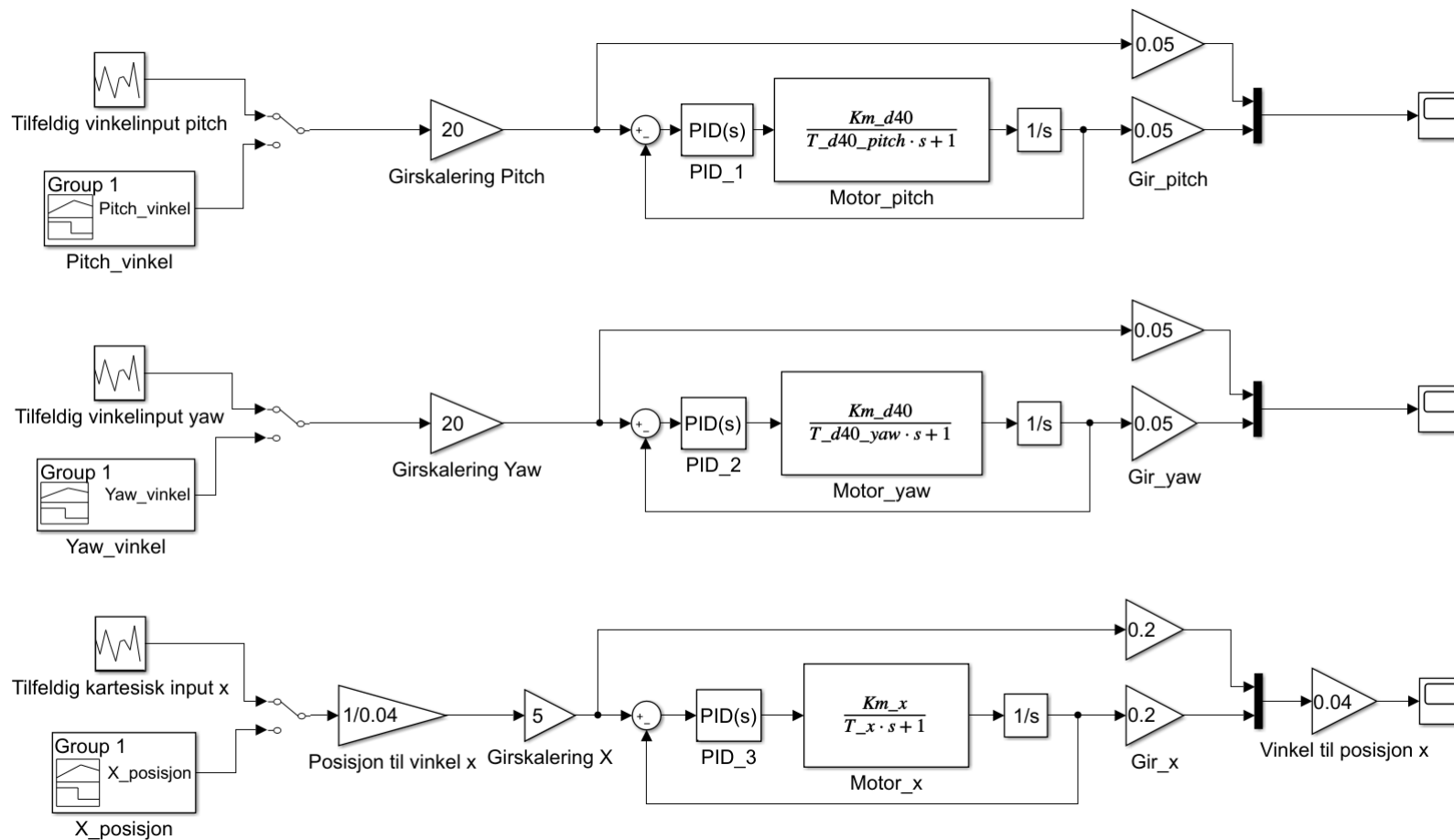
I denne seksjonen skal reguleringsystemet for motorene i RoboTrim presenteres. Beregningene, antagelsene og parameterne er presentert i vedlegg Ve-Tek.10. I vedlegget finnes det informasjon om blant annet omregning av referansesignalene til rotasjonsposisjoner for motorene, skalering av referansesignalene basert på girforhold, utregning av transferfunksjonene for motorene, motorparametre og PID-”tuning”. I tillegg er det presentert et alternativt reguleringsystem.

Motorene i systemet mottar posisjonsdata fra baneplanleggeren som er basert i ROS. Denne gir ut to rotasjonskoordinater pitch og yaw og tre kartesiske koordinater X, Y og Z. Disse posisjonene forteller hvor det er ønskelig at systemet skal posisjonere seg når input-dataen sendes til reguleringsystemet. Det er reguleringsystemets oppgave å benytte input-dataen og styre motorene basert på fysiske og matematiske modeller av disse (for simuleringen sin del). Hver motor vil ha en PID-regulator som regulerer motorpådraget basert på avviket mellom referansesignalet og målt verdi gjennom en tilbakekobling [62].

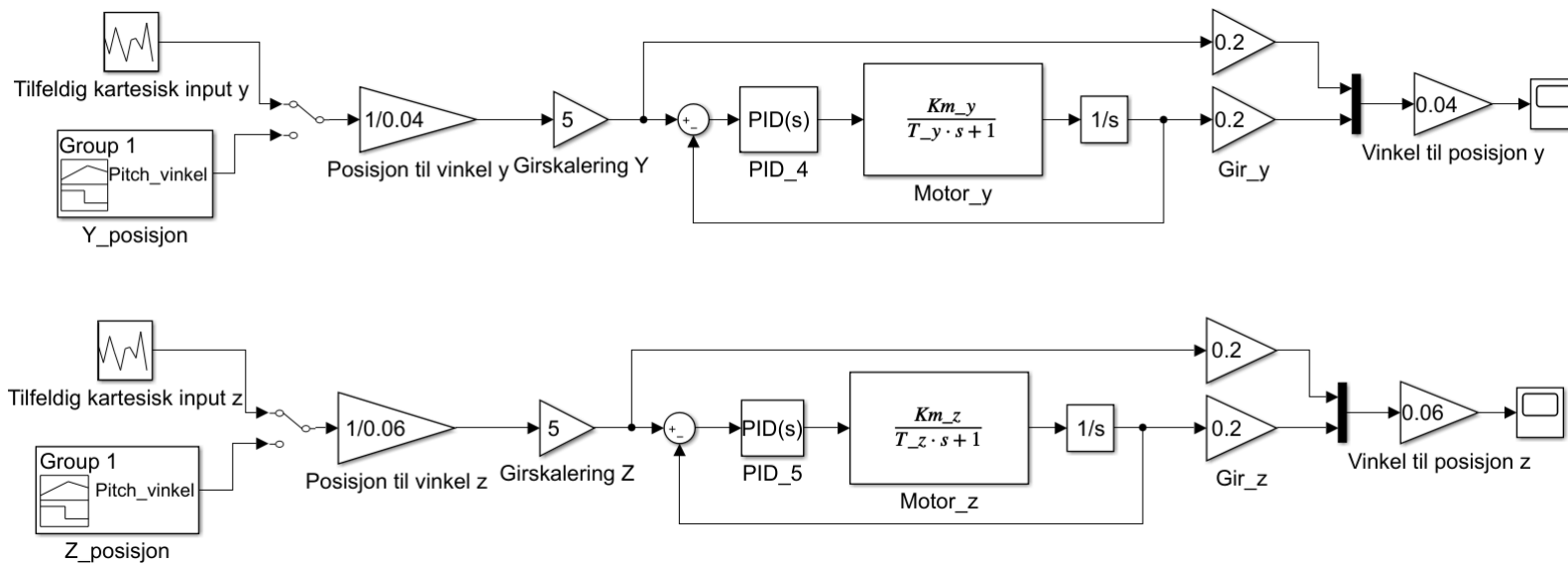
Reguleringsystemet til RoboTrim er todelt. Den ene delen er hvordan systemet skulle ha blitt styrt ved en eventuell prototype. Den andre delen baserer seg på simuleringen. Det er den siste som vil være hovedfokusområdet i dette kapitlet, ettersom målet med prosjektet er å lage et teoretisk bevist konsept. Det skal også presenteres hvordan reguleringsystemet kunne ha blitt benyttet til å styre en fysisk modell.

Reguleringsystemet er basert i Simulink. Simulink er et modellbasert design- og simuleringstøytøy laget av Mathworks [63]. Programmet brukes i forbindelse med Matlab. I Simulink kan reguleringsystemet settes opp som et blokkdiagram. Konstanter og parametre skrives først inn i et Matlab-script som kjøres for å deklare variablene som benyttes i blokkdiagrammet. Her vil motorparametrene settes inn. Matlab-scriptet der disse parametrene er satt inn, ”*Motorparametre\_RoboTrim.m*”, finnes på Bitbucket Tek-Da.3. Simulink-diagrammene kan også finnes der.

Reguleringssystemet er vist i figuren under. Som det skal kommes tilbake til er det dette systemet som ble benyttet for PID-tuning. Her er referansesignalene basert på bevegelsen definert i Ve-Tek.6.2 og Ve-Tek.6.3, som også ble benyttet for motordimensjoneringen. Det er lagt inn en mulighet for å manuelt svitsje mellom denne bevegelsen eller tilfeldige koordinater innenfor arbeidsområdet for å undersøke responsen til systemet.

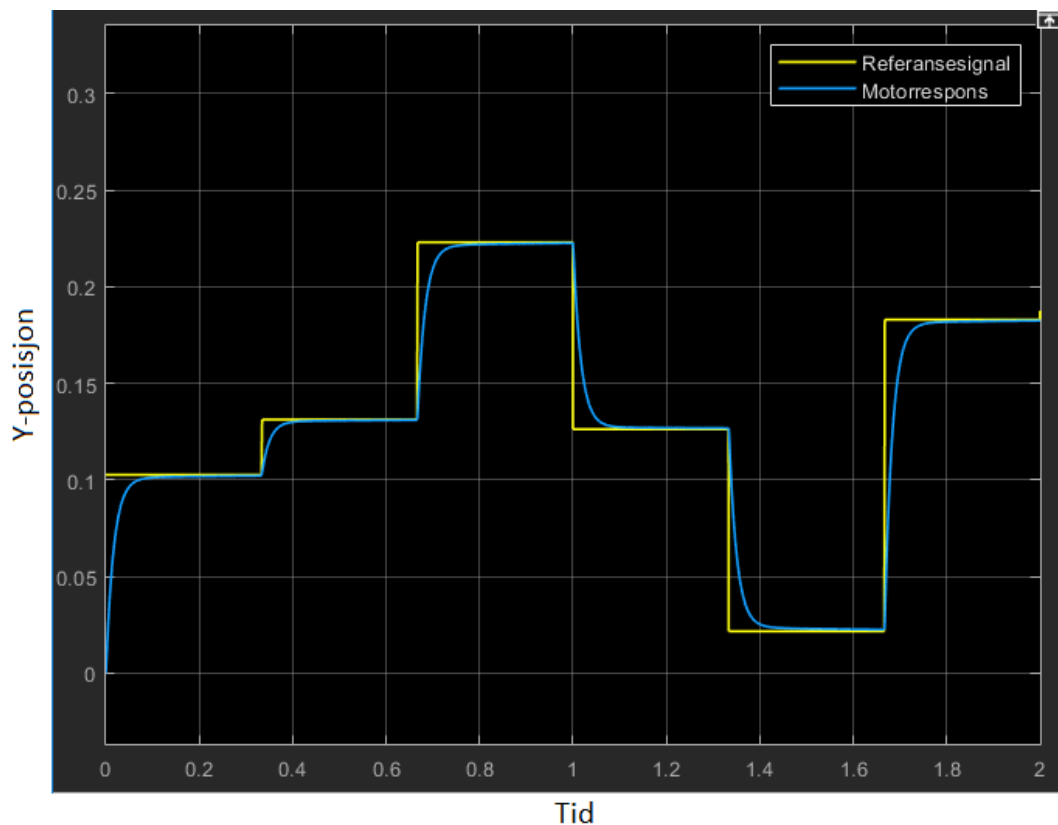


**Tek-El-Fig.18:** Simulink-blokkdiagram brukt for PID-tuning. Parallell regulering av motorene. De tre første aksene.



**Tek-El-Fig.19:** Simulink-blokkdiagram brukt for PID-tuning. Parallell regulering av motorene. De to siste aksene.

Figuren inkluderer én motor per akse. For aksene som inneholder to motorer vil reguleringssystemet se likt ut, men dette blokkdiagrammet er forenklet. Hver regulator inneholder også grener kalt ”sammenlikning” i blokkdiagrammet over. Disse er kun inkludert for å kunne sammenlikne referansesignalet med utgangssignalet når hver PID-regulator skal ”tunes”, og vil ikke være en del av det ferdige reguleringssystemet. Figuren under viser responsen til tilfeldige referansesignaler for Y-aksen (for å vise et eksempel).



**Tek-El-Fig.20:** Respons for Y-aksen

Plottets X-akse tilsvarer tid, og simuleringen varer i 2 sekunder. Plottets Y-akse tilsvarer Y-posisjon på tvers av rullebåndet med tilfeldige verdier med frekvens 3Hz. Den gule grafen er referansesignalet mens den blå grafen er motorens respons (hvordan motorens rotor faktisk beveger seg for å følge referansesignalet).

### Tek-El.3.1 Simulink integrert med ROS

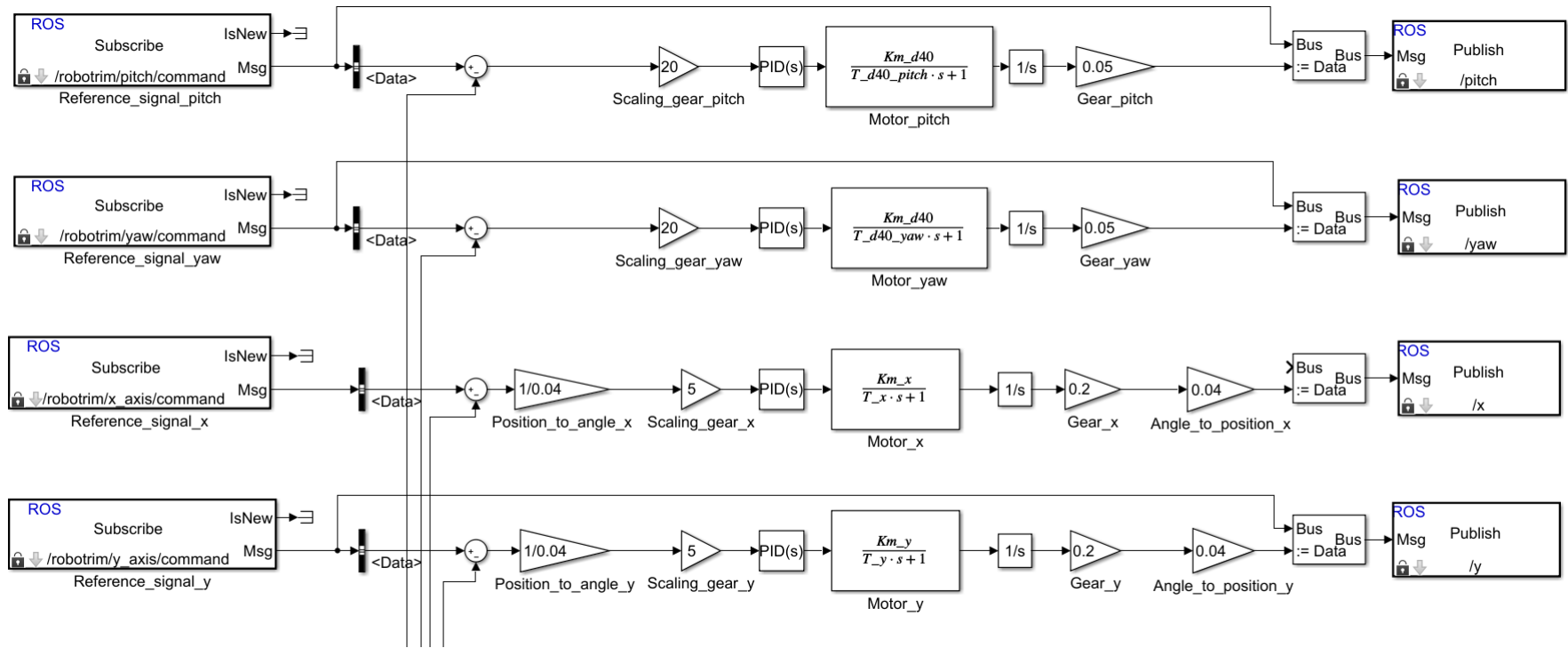
Simulink er som diskutert benyttet for å simulere reguleringsystemet. Det er valgt å integrere Simulink-simuleringen med styreprogrammet i ROS Tek-Da.2. På denne måten vil simuleringen inkludere både generering av konfigurasjoner for aksesystemet, i tillegg til å ta hensyn til reguleringsystemet og responsen til motorene.

Simulink vil fungere som en "node" i ROS, som subscriber (abonnerer) på inputkoordinater. Det er da referansesignalene i blokkdiagrammet som byttes ut med reelle inputkoordinater. Vanligvis ville ikke motormodellen vært en del av et fysisk reguleringsystem ettersom regulatorene da styrer reelle motorer. I denne simuleringen er det valgt å la motormodellene være i systemet ettersom motorparametrene ikke ligger inne i ROS-styreprogrammet.

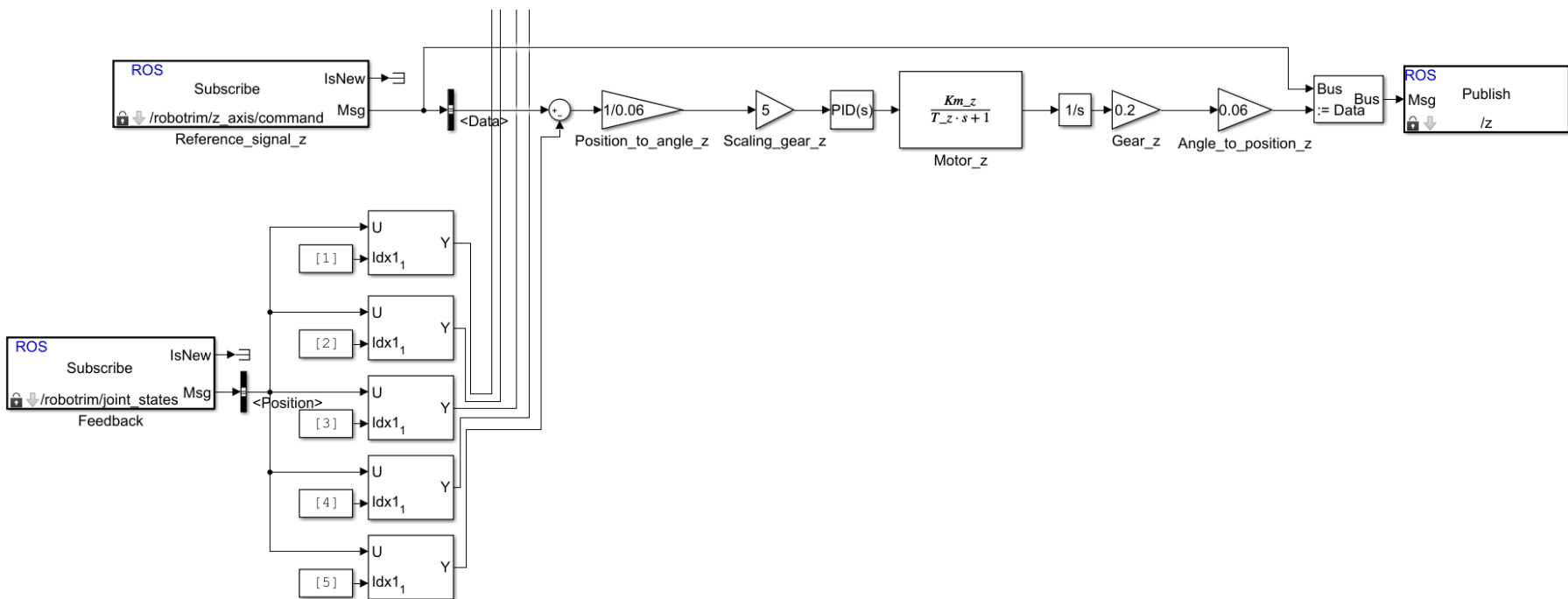
Utgangssignalet ut av reguleringsystemet vil deretter sendes tilbake til ROS, med en "publisher". I tillegg til dette vil tilbakekoblingen komme fra ROS. Faktisk posisjon til hver akse måles i ROS, som da simulerer signalene som i realiteten ville kommet fra optiske enkodere i motorene.

Reguleringsystemet ble integrert med simuleringsmiljøet i ROS som vist i figuren under. Her er referansesignalene basert på beregnede posisjoner fra styreprogrammet. Tilbakekoblingen kommer også fra ROS. Systemets faktiske posisjon blir også kontinuerlig sendt fra ROS til Simulink. Tilbakekoblingen representerer sensordata som i praksis ville kommet fra de optiske enkoderne i motorene. Styresignaler blir til slutt sendt fra Simulink til ROS basert på PID-reguleringen.



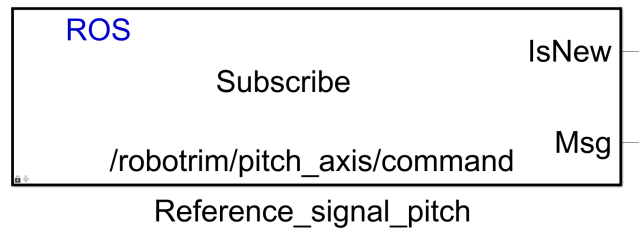


**Tek-E1-Fig.21:** Simulink-blokkdiagram med subscriber- og publisher-blokker for oppkobling med styreprogrammet i ROS. Figuren er delt i to for å få plass på arket.



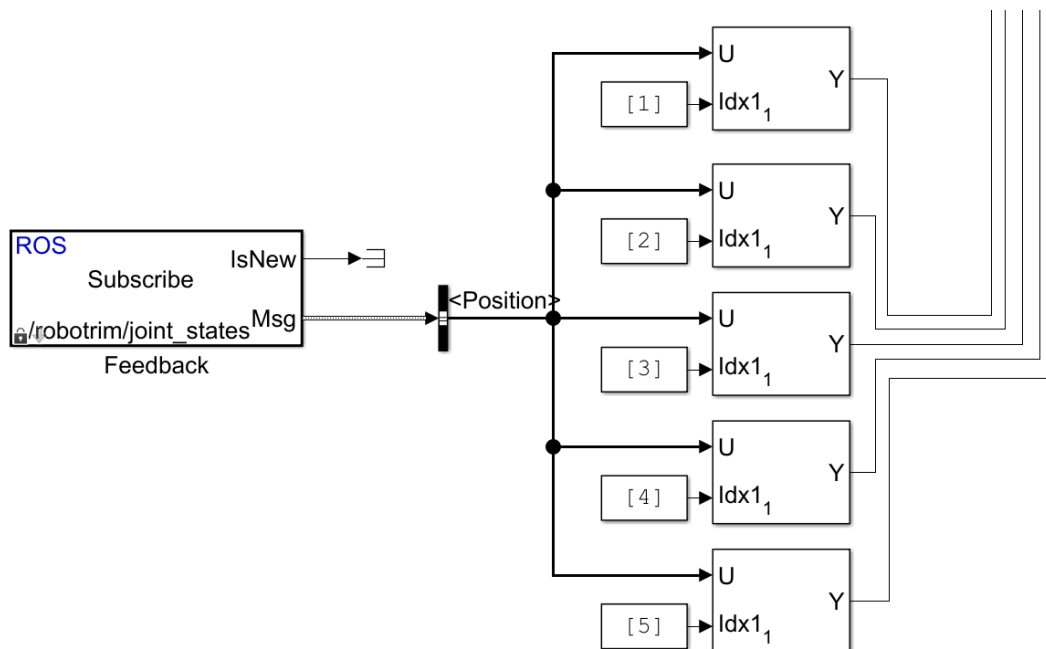
**Tek-El-Fig.22:** Simulink-blokkdiagram med subscriber- og publisher-blokker for oppkobling med styreprogrammet i ROS. Figuren er delt i to for å få plass på arket.

Referansesignalene hentes inn i Simulink med blokker som vist i figuren under.



**Tek-El-Fig.23:** Referansesignal fra ROS, det ble benyttet én per akse.

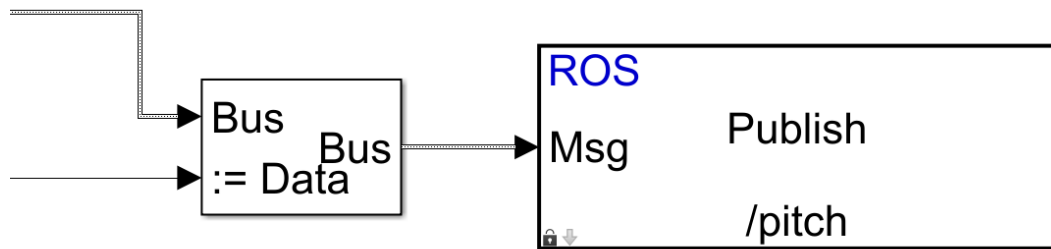
Måten tilbakekoblingssignalene hentes inn i Simulink er vist i figuren under.



**Tek-El-Fig.24:** Tilbakekoblingssignal fra ROS der meldingen dekomponeres til en tilbakekobling for hver akse.

Tilbakekoblingssignalene kommer som et array med koordinater for alle aksene. Dette arrayet må derfor dekomponeres som vist i figuren over slik at hvert individuelt tilbakekoblingssignal kan sendes til riktig regulator.

Måten Simulink-simuleringen leverer styresignaler tilbake til ROS er vist i figuren under. Det er benyttet en "Bus assignment" blokk som tar signaltypen som kommer inn fra ROS og overskriver denne med output-data fra reguleringsystemene. Blokken til høyre leverer til slutt dette signalet tilbake til ROS og fungerer som en "publisher" i ROS.



**Tek-El-Fig.25:** Blokk som publiserer signaler tilbake til ROS.

## Tek-Da - Teknisk, Data

---

Datateknisk arbeid gjort i utviklingen av HS RoboTrim 2018.

Versjon: 1.0

---

# Innholdsfortegnelse

## Tek-Da **Tek-Da**

Tek-Da.1	<b>Softwarearkitektur</b>	<b>1</b>
Tek-Da.1.1	Client-server	2
Tek-Da.1.2	Publish-subscribe	2
Tek-Da.2	<b>Robotic Operating System (ROS)</b>	<b>3</b>
Tek-Da.2.1	ROS-pakker	3
Tek-Da.2.2	Noder i ROS	4
Tek-Da.2.3	Meldinger i ROS	4
Tek-Da.2.4	URDF/Xacro	5
Tek-Da.2.5	Gazebo	6
Tek-Da.3	<b>Software</b>	<b>8</b>
Tek-Da.3.1	Hardwarekonfigurasjon	8
Tek-Da.3.2	Utviklingsmiljø	8
Tek-Da.3.3	Styresystem	9
Tek-Da.4	<b>Formler brukt i programmering</b>	<b>25</b>
Tek-Da.5	<b>Kinematikk</b>	<b>28</b>
Tek-Da.5.1	Geometrisk representasjon	28

## Liste over figurer

Tek-Da-Fig.1	Spesifikasjon for header melding	5
Tek-Da-Fig.2	Link i URDF	5
Tek-Da-Fig.3	Joint i URDF	6
Tek-Da-Fig.4	Enkelt diagram av software og grensesnitt	9
Tek-Da-Fig.5	UC_1: Overordnet use-case diagram	11
Tek-Da-Fig.6	Diagram over ROS-pakkene i softwaresystemet	11
Tek-Da-Fig.7	Nodediagram som viser noder og kommunikasjon i ROS-grafen	13
Tek-Da-Fig.8	Input/Output til callback funksjoner tilhørende planlegger og kinematics	14
Tek-Da-Fig.9	rt_controller-pakken	14
Tek-Da-Fig.10	Use-case diagram for rt_controller	15
Tek-Da-Fig.11	Sekvensdiagram for rt_controller	16
Tek-Da-Fig.12	Meldingstyper brukt i rt_controller	17
Tek-Da-Fig.13	RT_UC-1.1: Forespør bane	18
Tek-Da-Fig.14	rt_planner-pakken	18
Tek-Da-Fig.15	Sekvensdiagram som viser sekvens ved kall til planleggeren	19
Tek-Da-Fig.17	RT_UC-1.2: Forespør konfigurasjon	20

---

Tek-Da-Fig.16	rt_kinematics-pakken	20
Tek-Da-Fig.18	JointTrajectory.msg respons fra kinematikk-server	21
Tek-Da-Fig.19	Sekvensdiagram for rt_kinematics	21
Tek-Da-Fig.20	rt_world-pakken	22
Tek-Da-Fig.21	Solidworks til URDF til Gazebo	22
Tek-Da-Fig.22	Bilde og output fra simuleringsmiljøet i Gazebo 7.0 med v2 av konseptet. Positiv XYZ langs hhv. rød, grønn, blå.	23
Tek-Da-Fig.23	Interface til Simulink via ROS.	24
Tek-Da-Fig.24	RT_UC-1: Generelt use-case diagram	26
Tek-Da-Fig.25	RT_UC-1.1: Forespør bane	26
Tek-Da-Fig.26	RT_UC-2: Kontroller / RoboTrim	27
Tek-Da-Fig.27	RT_UC-3: Simuleringsscenario	27
Tek-Da-Fig.28	Geometrisk fremstilling av RoboTrim	29



## Liste over tabeller

Tek-Da-Tab.1	Vanlig struktur for en catkin-pakke brukt i ROS	3
Tek-Da-Tab.2	Hardwarekonfigurasjon for utvikling og testing	8
Tek-Da-Tab.3	Krav til styresystem	10
Tek-Da-Tab.4	Filtyper brukt i softwaresystemet	12
Tek-Da-Tab.5	DH-parametre	29

## Tek-Da.1 Softwarearkitektur

Majoriteten av roboter som brukes i dagens industri kan kategoriseres som forhåndsprogrammerte og repetitive i handlingene som utføres, eksempler er roboter som blant annet brukes til pakking, montering, maling, sveising og lignende. En av utfordringene vi ønsker å håndtere i vårt prosjekt er at vår manipulator er avhengig av varierende input fra sensorer som bidrar til at hver handling manipulatoren skal utføre vil være unik.

Ettersom manipulatoren vil jobbe med fiskefileter med ukjent fasong og størrelse, i tillegg til uendelig mange muligheter for flekkplassering, er det viktig å til enhver tid kunne generere baner for hver ”unike” oppgave.

En vanlig egenskap ved moderne robotarkitektur og softwaresystem generelt er at de er designet for å være modulære. I robotarkitektur er en modulær oppbygning av systemet viktig for å redusere den totale kompleksiteten ved å dele inn systemet i mindre, ofte uavhengige deler. Modulariteten av et system kan oppnås ved en hierarkisk oppbygning hvor hierarkiet kan abstraheres ut i fra for eksempel oppgaver et system skal gjøre.

Når man skal kontrollere en robotmanipulator er det vanlig å definere manipulatoren oppgaver i tre ”moduler”, hvor en vanlig oppdeling består av: *baneplanlegging*, *banegenerering* og *banesporing* [64]. Baneplanlegging består av å finne en kollisjonsfri geometrisk beskrivelse av bevegelsen manipulatoren skal utføre, men tar ikke hensyn til dynamiske variable av bevegelsen. Banegenereringen har til hensikt å kalkulere en funksjon  $\mathbf{q}(t)$ , som angir en komplett spesifisering av den ønskede bevegelsen av manipulatoren langs den planlagte banen.

Mange av dagens robotsystemer er designet slik at asynkrone prosesser kommuniserer ved å sende meldinger til hverandre. To vanlige kommunikasjonsstyper er *client-server* og *publish-subscribe* [65].

### **Tek-Da.1.1 Client-server**

Client-server modellen baserer seg på at det fra klienten sendes en forespørsel til serveren, som i tur og orden besvarer denne. En vanlig tilnærming er at klienten blokkeres inntil en respons mottas. Denne typen kommunikasjon er sårbar for *deadlocks* da klienten i prinsippet kan vente for evig på en respons dersom serveren for eksempel krasjer. Et alternativ er at klienten ikke blokkeres når den forespør serveren om en respons. Siden client-server modellen i prinsippet er basert på sekvensiell meldingsdeling, kan denne tilnærmingen påvirkes negativt dersom det for eksempel ankommer responser fra serveren i annerledes rekkefølge enn forespørslene ble sendt i.

### **Tek-Da.1.2 Publish-subscribe**

Systemet som tar i bruk publishers og subscribers for å behandle kommunikasjon baserer seg på at meldinger kringkastes asynkront av publishers, mens moduler/noder som er interessert i data fra bestemte publishers kan abonnere på disse. Denne type system blir regnet for å ha høyere pålitelighet enn client-server ettersom det tas utgangspunkt i at meldinger skal behandles asynkront.

## Tek-Da.2 Robotic Operating System (ROS)

Robotic Operating System (ROS) er et rammeverk for å produsere software for roboter basert i Ubuntu/Debian. Som navnet tilsier er ROS en type meta operativsystem som tilbyr OS-spesifikke tjenester som hardware-abstraksjon, lav-nivå enhetskontroll, message-passing og pakkehåndtering. ROS ble først utviklet av Stanford AI Laboratory i 2007, men vedlikeholdes nå av Open Source Robotics Foundation [66].

En av fordelene ROS har med tanke på prosjektarbeidet er at det er open-source. Den opprinnelige planen var å benytte seg av Labview med tilleggspakken Robotics Toolbox, men av kostnadmessige årsaker utgikk dette (Labview tilbyr 6 måneders prøvetid for studenter, men ikke inkludert Robotics Toolbox). I tillegg er programvare skrevet i ROS integrerbart med "single-board computers" som for eksempel Raspberry Pi, og har fungerende biblioteker for integrasjon med Arduino og lignende.

### Tek-Da.2.1 ROS-pakker

ROS organiserer softwaren i pakker som kan inneholde for eksempel ROS-noder, frittstående bibliotek eller konfigurasjonsfiler. Pakker i ROS følger en norm hva angår innhold og struktur [67].

<b>Pakkestruktur</b>	
<b>include/</b>	C++ include headere
<b>src/</b>	Inneholder filer for kildekode
<b>msg/</b>	Inneholder meldingstyper i message-definition format (.msg)
<b>srv/</b>	Inneholder tjenestetyper i sevice-definition format (.srv)
<b>CMakeLists.txt</b>	Fil brukt for CMake build
<b>package.xml</b>	Manifest for en catkin-pakke

**Tek-Da-Tab.1:** Vanlig struktur for en catkin-pakke brukt i ROS

## Tek-Da.2.2 Noder i ROS

I ROS kalles prosessene i systemet *noder*, hvor følgelig hver node har ansvaret for å gjennomføre en operasjon i systemet. Et ROS basert system danner en graf, hvor nodene kommuniserer med hverandre ved bruk av topics og RPC-tjenester. Noder i en ROS-graf består av *graph resource name* (GRN) og en typedefinisjon *package resource name* (PRN) [68].

GRN er en viktig del av enkapsuleringen i ROS. I en ROS-graf blir hver ressurs definert innenfor et gitt namespace som kan deles med andre ressurser. Kort forklart kan ressurser generere nye ressurser innenfor sitt eget namespace, men har tilgang til ressurser i sitt eget eller andre namespaces. Det eksisterer fire typer GRN:

- base
- relative/name
- /global/name
- private/name

hvor løsning for navn i systemet gjøres relativt til nodens namespace.

PRN kan sees på som stier i et filsystem. Et eksempel på et PRN er *msg*. I ROS lagres alle meldingstyper som brukes til kommunikasjon mellom nodene i et subdirectory ved navn *msg* og har *.msg* extensions.

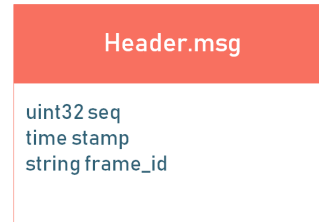
## Tek-Da.2.3 Meldinger i ROS

Meldinger i ROS består av to deler: *fields* og *constants* [69]. Fields er den dataen som sendes i meldingen, mens constants definerer verdier som kan brukes til å tolke dataen som har blitt sendt.

Filene som spesifiserer meldingene brukt til kommunikasjon i ROS bruker et *message description language* for å beskrive meldinger brukt i et ROS-nettverk [69].

### Tek-Da.2.3.1 Message Description Specification

Meldingene brukt i et ROS-nettverk er som nevnt spesifisert av *message description specification*. Denne spesifikasjonen består av datafelt og konstanter definert i egne .msg filer. Tek-Da-Fig.12a viser spesifikasjonen av meldingstypen header, som er spesifisert som en standardmelding i ROS og definert i "Header.msg".



**Tek-Da-Fig.1:** Spesifikasjon for header melding

ROS har innebygde meldingstyper for de fleste primitive datatyper, men tillater også egen-definerte meldinger. Egendefinerte meldinger defineres som standardmeldingene i en .msg fil og må bygges som en del av den respektive pakken ved CMake [69].

### Tek-Da.2.4 URDF/Xacro

URDF *Unified Robot Description Format* er en XML-representasjon av en robotmodell i ROS. URDF beskriver kinematiske og dynamiske egenskaper, samt at det blant annet kan beskrive forskjellige typer sensorer på en robot. I URDF tar man utgangspunkt i den *geometriske representasjonen* av en robot og baserer verdier på kinematiske modeller for å få en riktig fremstilling [70].

```

<link name="gripper">
  <visual>
    <geometry>
      <mesh filename="package://pkg/m.dae"/>
    </geometry>
  </visual>
  <visual>
    <geometry>
      <cylinder length="0.6" radius="0.2"/>
    </geometry>
  </visual>
</link>

```

**Tek-Da-Fig.2:** Link i URDF

En URDF-produsert modell vil gjengi en kinematisk trestruktur av den ønskede modellen, hvor deler av roboten defineres i tags som for eksempel *link*, *joint* og *transmission*. Hvor link er en gitt lenke på roboten, joint er et ledd og transmission er en form for aktuator.

```
<joint name="joint1" type="revolute">
  <parent link="forearm"/>
  <child link="gripper"/>
  <origin xyz="0.5 0 0" rpy="0 0 -1.57" />
  <axis xyz="0 0 1" />
</joint>
```

**Tek-Da-Fig.3:** Joint i URDF

Tek-Da-Fig.2 viser et eksempel på et ledd skrevet i URDF. I dette tilfellet defineres end-effektoren med navn "gripper". Videre defineres geometrien til lenken til å være satt til lengde 0.6 og radius 0.2 i en sylinderform. I tillegg legges det til en mesh fra en .dae fil, som for eksempel kan være eksportert fra SolidWorks.

Tek-Da-Fig.3 viser et ledd definert i URDF. Leddet som defineres er av typen revolute, altså et hengselsledd som roterer om en akse. I koden beskrives det parent og child av leddet, altså hva leddet er festet til, og hva som er festet til leddet. I tillegg beskrives leddets rotasjonscenter.

Xacro er et XML-basert språk som er en videreutvikling av URDF. Hovedformålet med Xacro er å bidra til gjenbruk av kode og modularitet. Hvis man i URDF ønsker å definere fem forskjellige ledd som har de samme geometriske attributene, må man for hvert ledd definere konstanter for geometrien. I Xacro kan man istedenfor definere objekter i koden ved hjelp av variable. Altså kan man definere hvordan et ledd skal se ut og bruke dette for å definere ledd som skal ha lik geometrisk representasjon.

### Tek-Da.2.5 Gazebo

Gazebo er et 3D-simuleringsmiljø som vedlikeholdes sammen med ROS. I Gazebo er det mulighet for å kjøre dynamiske simuleringer ved hjelp av fysikkmotorer som ODE og DART, simulere sensordata med mock-up støy og bruke URDF/Xacro definerte robotmodeller fra ROS [71]. Gazebo er en programvare som kan brukes til blant annet:

- Testing av algoritmer for roboter
- Testing av robotfunksjonalitet i et tiltenkt miljø

Gazebo, som ROS er basert i Ubuntu, men kan kjøres i Windows. Ved simulering av modeller i Gazebo får man ved hjelp av Gazebo-serveren tilgang til en rekke topics som publiseres av simuleringen i sanntid, i tillegg til at man ved bruk av Gazebo-tjenester har mulighet til å inkorporere dynamikk i simuleringsmiljøet, noe som vil være viktig for å kunne simulere scenario for prosjektet.



## Tek-Da.3 Software

Fullstendig dokumentasjon av kildekoden for prosjektet er generert ved hjelp av Doxygen [72], denne ligger med resten av kildekoden på bitbucket: <https://bitbucket.org/erlend0610/robotrim/src/master/>.

### Tek-Da.3.1 Hardwarekonfigurasjon

Systemet har blitt utviklet og testet på hardwarekonfigurasjonen vist i Tek-Da-Tab.2.

Hardwarekonfigurasjon for utviklingssystem	
<b>Produsent</b>	Lenovo
<b>Modell</b>	YOGA 720-131KB
<b>Prosesor</b>	Intel(R) Core(TM) i7-7500U CPU @ 2.70GHz - 2.90GHz
<b>RAM</b>	16.0GB
<b>Operativsystem</b>	Ubuntu 16.04 Xenial

**Tek-Da-Tab.2:** Hardwarekonfigurasjon for utvikling og testing

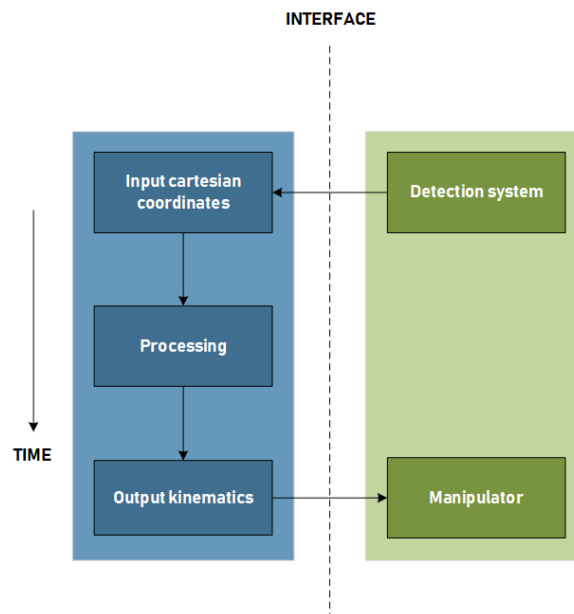
### Tek-Da.3.2 Utviklingsmiljø

Styresystemet utviklet er basert i Robotic Operating System Kinetic (heretter ROS). ROS er et open-source rammeverk som inneholder verktøy, biblioteker og pakker for å designe software for robotapplikasjoner [66]. Kinetic er LTS-releasen for Ubuntu 16.04.

Kildekoden er hovedsakelig skrevet i C++, i tillegg til at det har blitt brukt ROS-baserte språk hvor nødvendig. Tek-Da-Tab.4 lister opp filtypene i software-pakken.

### Tek-Da.3.3 Styresystem

Prosjektets styresystem har hovedfokus på baneplanlegging og generering av nødvendig kinematikk for å gjennom et simulert miljø illustrere handlingene systemet vil utføre under operasjon. En forenklet illustrasjon av softwaresystemet og dets grensesnitt vises i Tek-Da-Fig.4. Deteksjonssystemet vil gi input i form av kartesiske koordinater som angir flekkposisjon. Flekkposisjonene brukes for å beregne baner mellom flekker før det videre blir kalkulert utslag for de forskjellige leddene av roboten. Disse utslagene vil være outputten som videresendes til det elektriske systemet. Det elektriske systemet, som simuleres ved hjelp av Simulink er videre beskrevet i Tek-Da.3.3.5 Ve-Tek.10. Utslagene reguleres før de deretter blir videresendt til en eventuell prototype eller simulering.



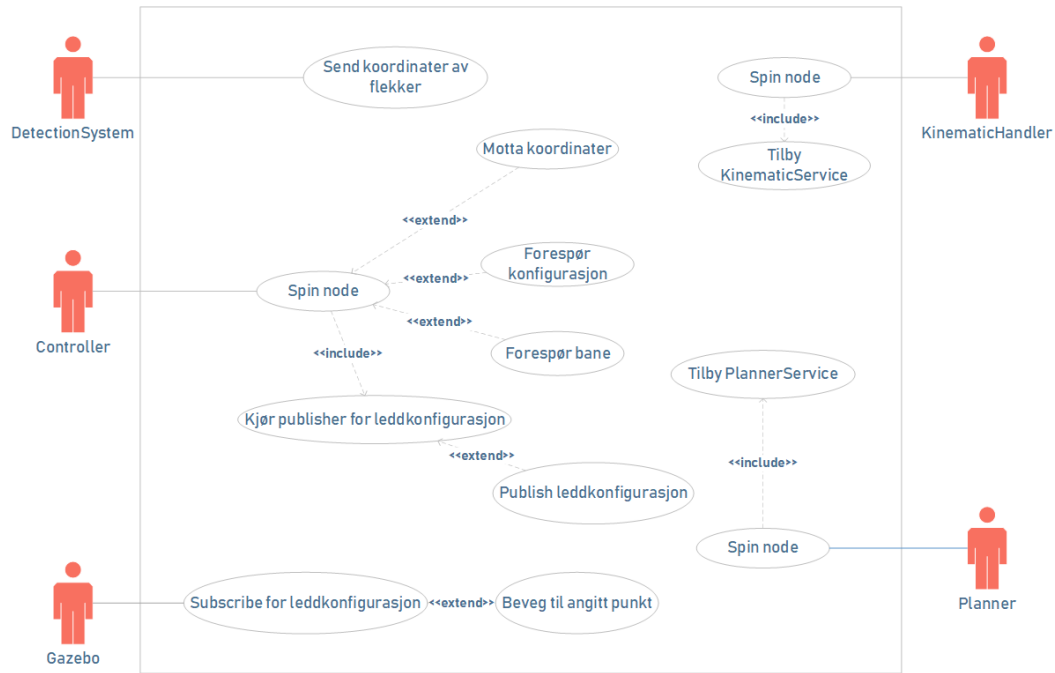
**Tek-Da-Fig.4:** Enkelt diagram av software og grensesnitt

I utviklingen av styresystemet ble det fokusert på å tilfredstille kravene oppsummert i Tek-Da-Tab.3.

<b>Krav til styresystem</b>			
<b>Krav-ID</b>	<b>Krav</b>	<b>Opphav</b>	<b>Prioritet</b>
KR-06	Systemet skal kunne fjerne tre melaninflekker per laksefilet.	TE	A
KR-07	Systemet skal kunne fjerne melaninflekker som er vilkårlig plassert på laksefiletene.	TE	A
KR-08	Systemet skal kunne prosessere én laksefilet per sekund.	TE	A
KR-09	Systemet skal kunne prosessere laksefileter som beveger seg med en hastighet på minst 1000mm/s langs X-aksen.	TE	A
KR-10	Styresystemet må kunne generere kinematikk for manipulatoren slik at endestykket følger planlagt bane.	TE	A
KR-11	Med input fra deteksjonssystemet skal knivenheten på systemet bevege seg i en bane mellom inputkoordinatene.	TE	A

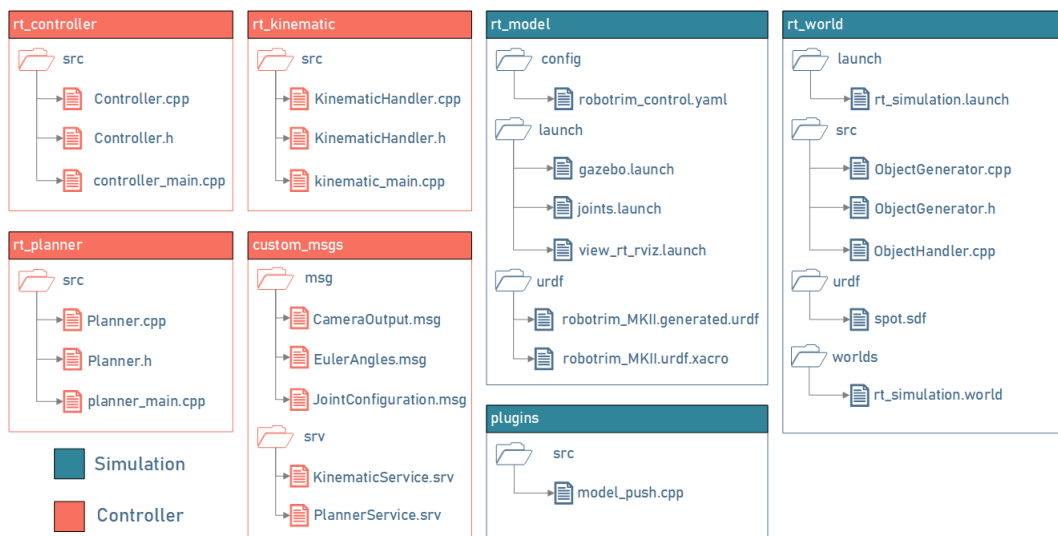
**Tek-Da-Tab.3:** Krav til styresystem

Tek-Da-Fig.5 viser et overordnet use-case diagram for softwaresystemet i forbindelse med simuleringen av systemet som er utviklet i Gazebo, simuleringen blir grundigere gjennomgått i Tek-Da.3.3.5. UC.1 viser nodene som er aktive under en simulering samt de mest generelle use-casene assosiert med disse.



Tek-Da-Fig.5: UC\_1: Overordnet use-case diagram

ROS-arkitekturen bruker en blanding av publish/subscribe- og client/server-arkitektur som vil si at kommunikasjonen mellom noder i systemet baserer seg på både asynkrone og synkrone meldinger. Tek-Da-Fig.6 viser pakkene tilhørende softwaresystemet hvor fargene på pakkene indikerer tilhørighet til selve styresystemet eller simulerings utviklet for å teste og verifisere (se legende).



Tek-Da-Fig.6: Diagram over ROS-pakkene i softwaresystemet

Tek-Da-Tab.4 gir en kort forklaring på de forskjellige filtypene brukt i de forskjellige pakkene vist i Tek-Da-Fig.6.

Filtyper	
Extension	Beskrivelse
.cpp	Standard filtype for kildekode-filer i C++
.h	Header fil brukt i C++ kildekode-filer
.msg	Message-definition fil i ROS
.srv	Service-definition fil i ROS
.yaml	YAML Ain't Markup Language filer brukt i konfigurasjonsfiler
.launch	XML filer brukt for å kjøre ROS-noder
.urdf	Unified Robot Description Format filer basert i XML for å representere robotmodeller
.xacro	XML Macro som er en utvidelse av URDF som tillater bruk av makroer i URDF-kode
.world	XML baserte filer for å beskrive simuleringsmiljø i Gazebo

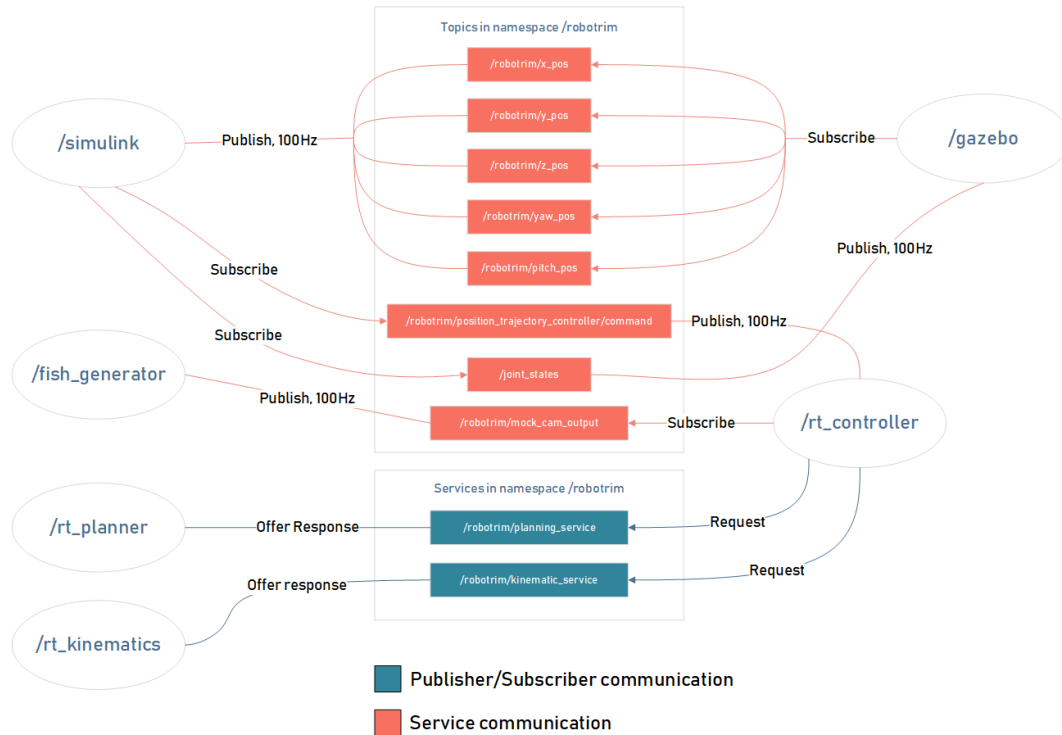
**Tek-Da-Tab.4:** Filtyper brukt i softwaresystemet

### Tek-Da.3.3.1 Noder

Alle pakkene ekskludert *plugins* og *rt\_world* er ansvarlige for sin egen node i styresystemet. Hver node i systemet fungerer som et frittstående system, noe som gjør systemet mer robust mot lokale feil i noder samt mer modulært. Noder kan publishe, subscribe, tilby tjenester (services) eller forespørre tjenester tilbudt av andre noder. Publishere og abonnere benytter seg av emner (topics), som kort forklart er navngitte busser som tillater asynkron meldingsgang mellom noder [73]. Tjenester i ROS baserer seg på synkron request/reply kommunikasjon, hvor en node tilbyr en tjeneste som kan forespørres av andre noder Tek-Da.2.2.

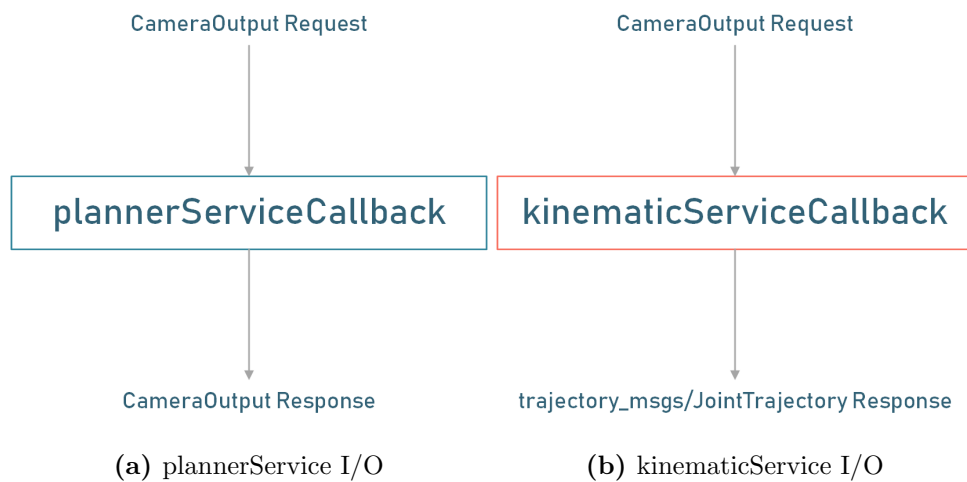
Tek-Da-Fig.7 viser nodene tilhørende softwaresystemet. Nodediagrammet viser hvordan nodene kommuniserer med hverandre ved hjelp av topics (røde rektangler) og tjenester (blå rektangler). Alle publishere har en oppdateringsfrekvens på 100Hz, som angir frekvensen en node publiserer meldinger til topics. All kommunikasjon for styresystemet går gjennom kontrolleren, vist av noden */rt\_controller*.

Styresystemet kan i utgangspunktet prosessere et vilkårlig antall flekker, men er designet med hovedfokus på *KR-06* og *KR-07* som sier at systemet skal kunne fjerne tre vilkårlig plasserte melaninflekker per laksefilet.



**Tek-Da-Fig.7:** Nodediagram som viser noder og kommunikasjon i ROS-grafen

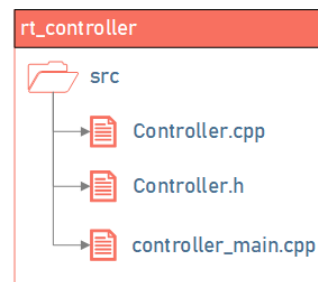
Nodene som håndterer baneplanlegging (`/robotrim/planning_service`) og beregninger av leddkonfigurasjon (`/robotrim/kinematic_service`) tilbyr ROS-services/tjenester og baserer seg på at noden som tilbyr tjenesten har en spesifisert callback-funksjon som blir kalt ved innkommende service-kall fra en klient og returnerer dataen fra callbacket til klienten. Forespørsler og responser er enkapsulert i request- og responseobjekter som definert i den respektive service-definisjonsfilen. Tek-Da-Fig.12 viser input og output til callback-funksjonene spesifisert for `planning_service` og `kinematic_service`. Disse nodene er videre beskrevet i Tek-Da.3.3.3 og Tek-Da.3.3.4.



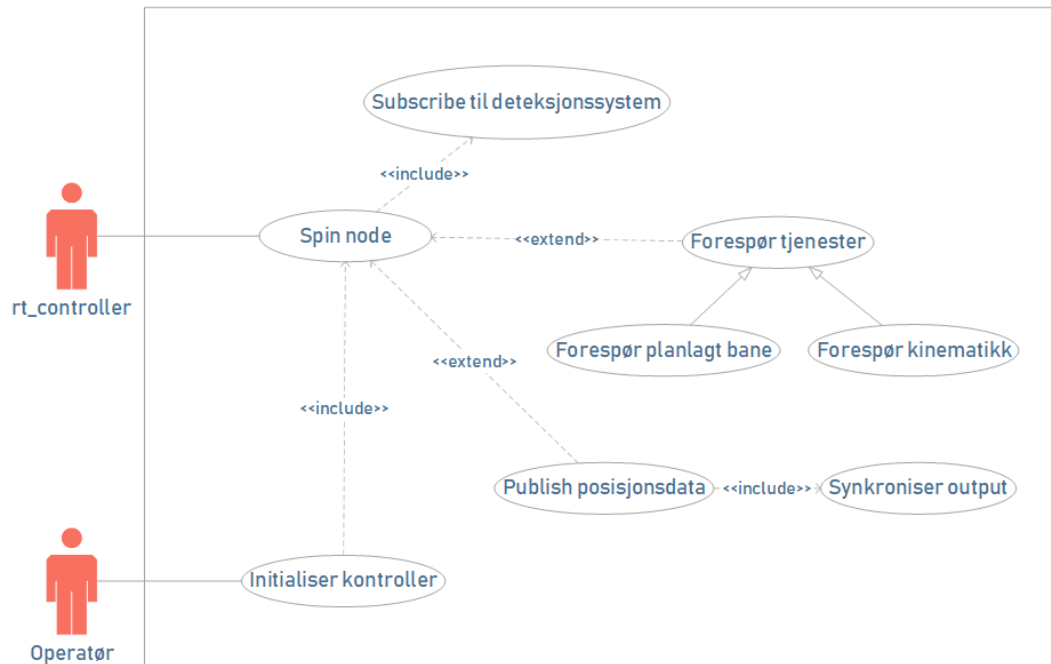
**Tek-Da-Fig.8:** Input/Output til callback funksjoner tilhørende planlegger og kinematics

### Tek-Da.3.3.2 /rt\_controller

Hovedkontrolleren i systemet, hvor den relevante ROS-pakken vises i Tek-Da-Fig.14 fungerer som midtpunktet for all kommunikasjon som foregår i styresystemet. Tek-Da-Fig.10 viser et generelt use-case diagram for rt\_controller-noden. Ved å initialisere kontrollernoden settes det opp en subscriber til topicen for deteksjonssystemet, eller mock-up av dette. Dersom kontrolleren mottar en melding med posisjonsdata for en flekk/markør vil den sende forespørsler til tjenestene for baneplanlegging og leddkonfigurasjon, som beskrevet i Tek-Da.3.3.2 og Tek-Da.3.3.4.



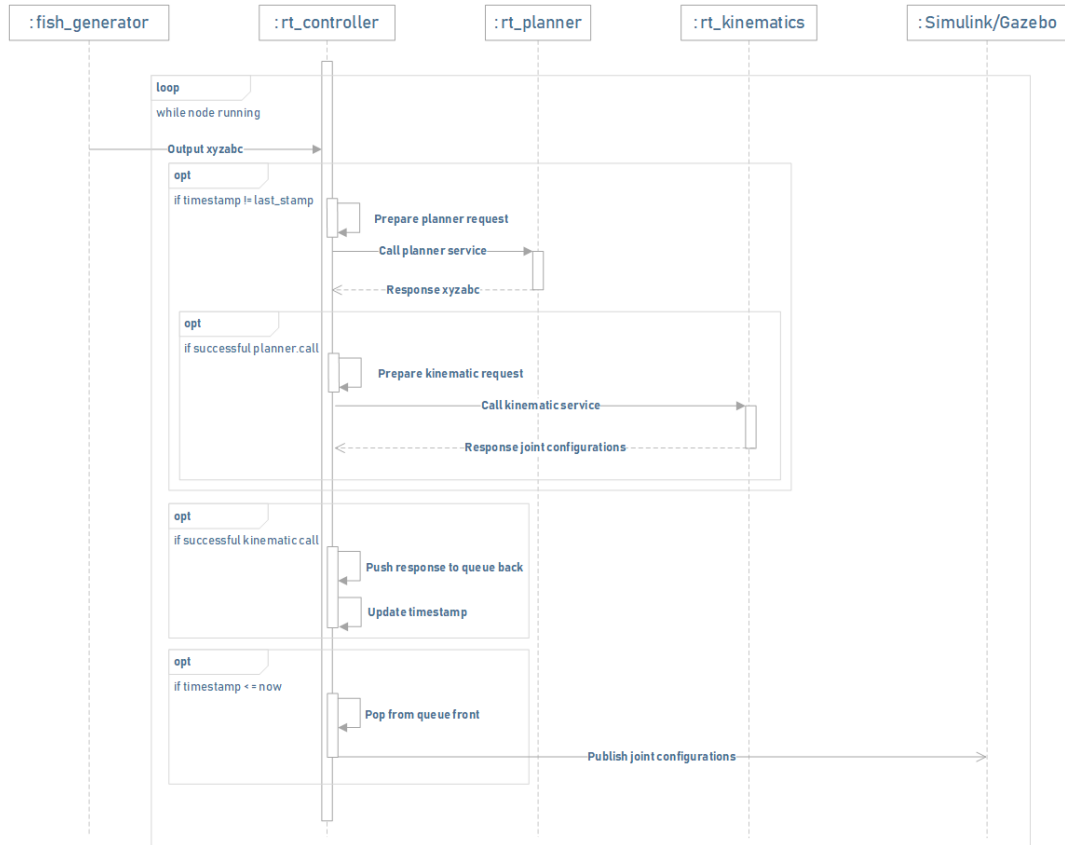
**Tek-Da-Fig.9:** rt\_controller-pakken



**Tek-Da-Fig.10:** Use-case diagram for `rt_controller`

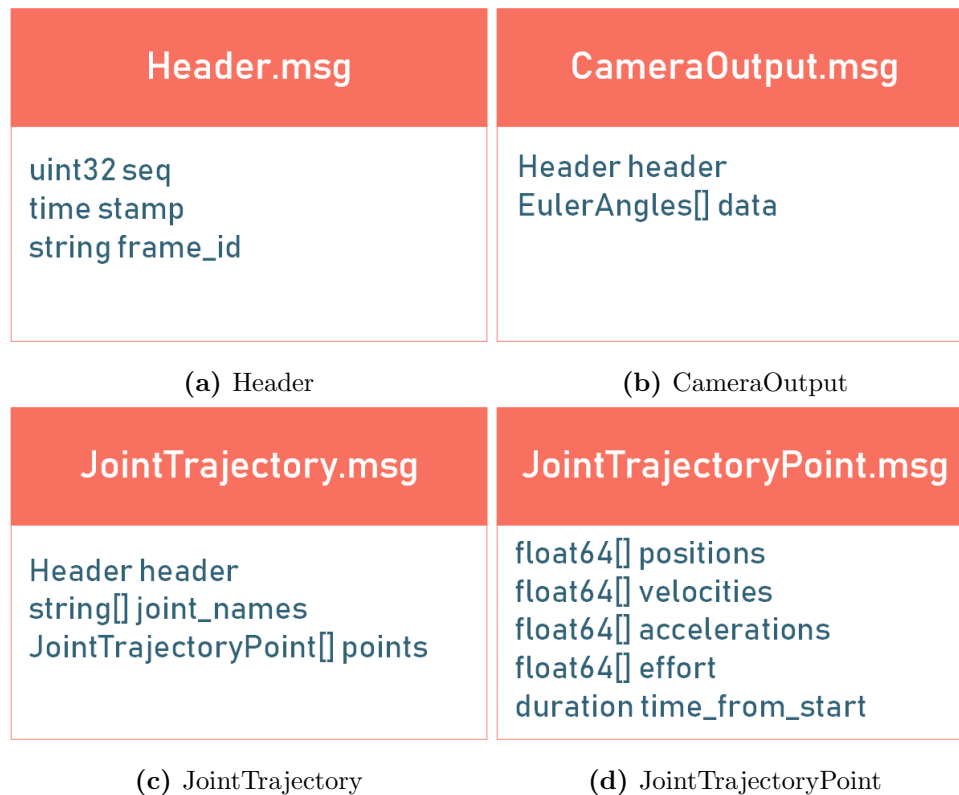
Tek-Da-Fig.11 inneholder et sekvensdiagram som viser kommunikasjonssekvenser til og fra kontrolleren, sekvenser i andre noder er utelatt og kan sees i sine respektive seksjoner (Tek-Da.3.3.3, Tek-Da.3.3.4).





**Tek-Da-Fig.11:** Sekvensdiagram for `rt_controller`

Synkroniseringen av kontrolleren styres ved bruk av den innebygde klokken i ROS. Kontrolleren mottar en melding av typen `CameraOutput.msg` fra deteksjonssystemet, denne meldingstypen er spesifisert i Tek-Da-Fig.12b, data-arrayet inneholder punktene for hver markør. Headeren, definert som vist i Tek-Da-Fig.12a, inneholder timestampet som indikerer når et objekt ble detektert av deteksjonssystemet og vil dermed være unikt for hver fisk. Det blir utført en sjekk om timestampet er unikt i forhold til den forrige unike dataen. Hvis unikt blir det videresendt til planleggeren som responderer med en `CameraOutput.msg`, som i data-arrayet inneholder punktene i for den planlagte banen. Responsen fra planleggeren inneholder i headeren et timestamp som indikerer når den planlagte ruten skal påbegynnes relativt til klokketiden i ROS.



**Tek-Da-Fig.12:** Meldingstyper brukt i rt\_controller

Innholdet i meldingen fra planleggeren blir videresendt til `rt_kinematics` som returnerer en standardmelding av typen `JointTrajectory.msg` (Tek-Da-Fig.12c), denne er bygd opp av punkter tilhørende leddene spesifisert ved navn i string-arrayet `joint_names`. Disse punktene angir en bane som definert i Tek-Da-Fig.12d. `JointTrajectoryPoint.msg` inneholder en enkelt konfigurasjon i en planlagt bane for alle leddene samt et timestamp som indikerer når denne posisjonen skal nåes relativt til timestampet fra headeren i `JointTrajectory.msg`. I tillegg foreligger timestamp fra `CameraOutput.msg` som ble sendt med forespørselen, samt tidsinkrement for hvert punkt som vil indikere når hvert punkt skal nåes relativt til starttiden.

Kontroller-noden vil kontinuerlig publishe et punkt til Simulink/Gazebo så lenge starttiden pluss siste inkrement, som indikerer når et punkt skal være nådd, er mindre enn ROS-klokken. Når ferdig blir det erstattet av det neste punktet i køen.

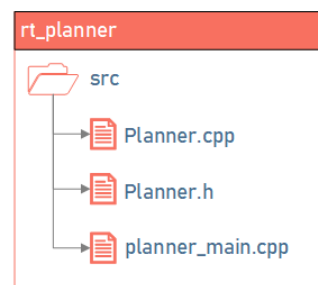
**Tek-Da.3.3.3 /rt\_planner****Tek-Da-Fig.13:** RT\_UC-1.1: Forespør bane

Tek-Da-Fig.13 viser et use-case diagram for en forespørsel til baneplanleggeren.

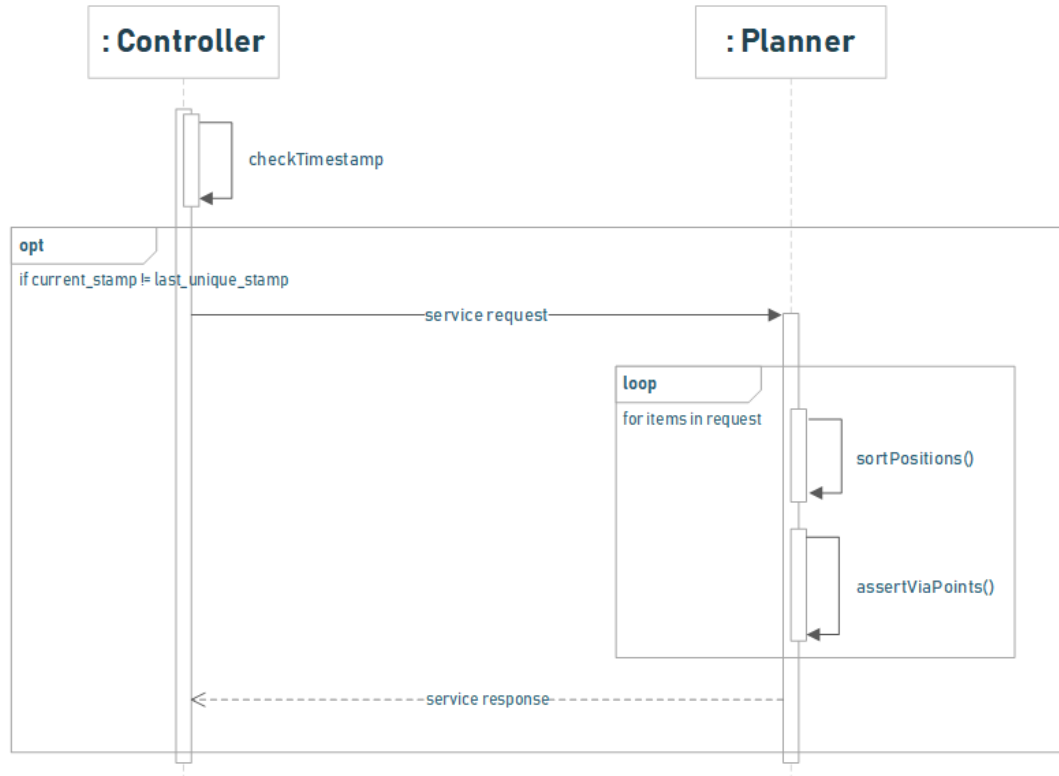
Oppgaven til `rt_planner` er å planlegge en bane med utgangspunkt i posisjoner av flekker/-markører mottatt fra kontrolleren slik at kniven følger en planlagt bane mellom flekker jf. KR-10. Kildekoden til planleggingsnoden ligger i `rt_planner` pakken.

Tek-Da-Fig.15 viser et sekvensdiagram for et tjenestekall til planleggeren fra kontrolleren. Planleggeren mottar via et service-kall fra klienten (`rt_controller`) en `CameraOutput.msg`, denne vil sorteres slik at punktene går fra høy til lav

X-verdi, altså at kniven alltid vil avslutte kuttingen nærmest den neste fisken som kommer dersom det er flere flekker. Videre vil planleggeren bestemme viapunkter (punkter å nå mellom punktene mottatt). Det genereres to typer viapunkter: kuttepunkter og mellompunkter. Kuttepunktene tar i simuleringen utgangspunkt i et

**Tek-Da-Fig.14:** `rt_planner`-pakken

kutt på  $5\text{cm}$ , mellompunktene i Z-retning mellom hver flekk/markør vil defineres av den høyeste Z-verdien av de detekterte flekkene pluss en definert avstand, dette for å sørge for at kniven ikke får uønsket kontakt med fisken.



**Tek-Da-Fig.15:** Sekvensdiagram som viser sekvens ved kall til planleggeren

Tiden avsatt til håndtering av hver flekk baseres i KR-08, som sier at RoboTrim skal kunne prosessere én laksefilet hvert sekund. Tiden blir bestemt med utgangspunkt i antall flekker inneholdt i forespørselen sendt fra kontrolleren.

## Tek-Da.3.3.4 /rt\_kinematics

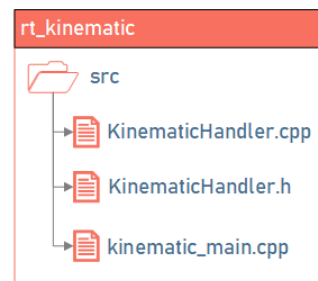


Tek-Da-Fig.17: RT\_UC-1.2: Forespør konfigurasjon

Noden `rt_kinematics` tilbyr tjenesten som skal beregne kinematisk konfigurasjon av ledd basert på posisjonsdataen for en planlagt bane mottatt fra kontrolleren. Tek-Da-Fig.17 viser use-case diagram for kinematikk-noden.

Tek-Da-Fig.19 viser sekvensdiagram for kinematikk-noden ved et tjenestekall fra kontrolleren. Som kort beskrevet i Tek-Da.3.3.2 mottar `rt_kinematics` et service-kall i form av en `CameraOutput.msg` og responderer med en `JointTrajectory.msg`.

Tek-Da-Fig.18 viser outputten fra kinematikk-tjenesten i real-time fra simuleringen i Gazebo. Markert i rødt er headeren som inneholder timestamp, markert i gult vises arrayet som inneholder navnene på leddene av modellen, markert i grønn er posisjonene i samme rekkefølge som navnene er angitt i `joint_names` for punkter i en planlagt bane. I tillegg til `time.from_start` som indikerer når punktet skal nåes relativt til starttidspunkt.

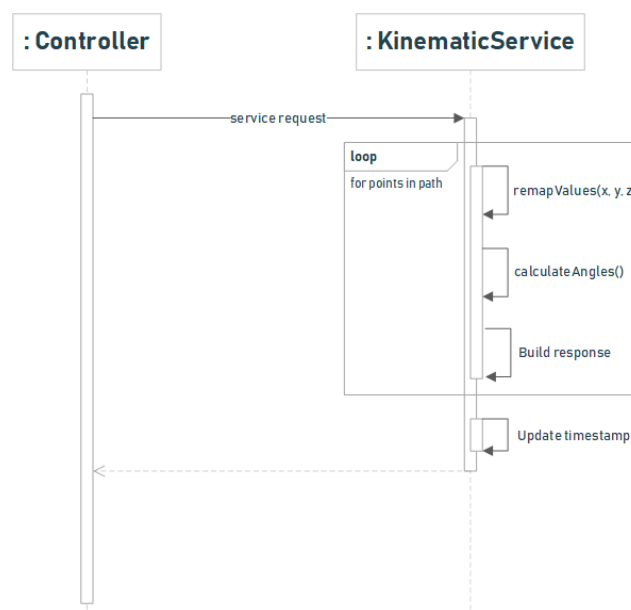
Tek-Da-Fig.16: `rt_kinematics`-pakken

```

header:
  seq: 13
  stamp:
    secs: 109
    nsecs: 662990128
  frame_id: ''
joint_names: [x_axis, y_axis, z_axis, yaw, pitch]
points:
  positions: [-0.6664093732833862, 0.06062094494700432, 0.04758011609315872, -1.3255343437194824, 0.3030563890933990
5]
  velocities: []
  accelerations: []
  effort: []
  time_from_start:
    secs: 0
    nsecs: 388020455

```

Tek-Da-Fig.18: JointTrajectory.msg respons fra kinematikk-server



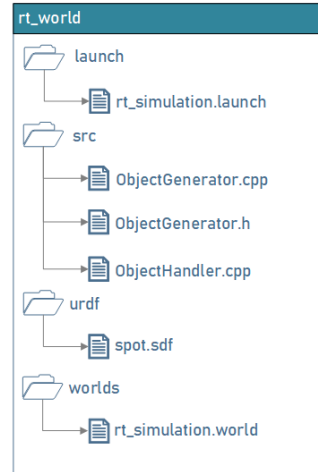
Tek-Da-Fig.19: Sekvensdiagram for rt\_kinematics

Styresystemet benytter en egenutviklet løsning for å beregne konfigurasjoner av de fem leddene på modellen basert på input-koordinatene fra et deteksjonssystem. Input-koordinatene er spesifisert som XYZ for kartesiske koordinater og ABC for rotasjon om disse aksene. Siden systemet som er utviklet er av typen Gantry vil posisjonene for de kartesiske aksene X, Y og Z være delvis gitt av de kartesiske input-koordinatene. De to nederste leddene, yaw og pitch, vil være angitt av ABC, hvor det er tatt utgangspunkt i at A angir rotasjon om X-aksen, B om Y-aksen og C om Z-aksen. Dette er videre spesifisert i **REF TIL MASKINDOKUMENT**. Ved trigonometri kan det basert i knivens dimensjoner kalkuleres offset med tanke på vinkling av kniven for leddene for X, Y og Z.

### Tek-Da.3.3.5 /gazebo

Siden det i prosjektet ikke ble produsert en fysisk modell ble det utviklet et simuleringsmiljø for å kunne verifisere styresystemet samt visualisere hvordan designet ville oppføre seg i tiltenkt miljø. Simuleringen er utviklet for å simuleres i Gazebo 7.0, som er den støttede versjonen for ROS Kinetic, som er versjonen av ROS brukt i styresystemet. Gazebo blir beskrevet i Tek-Da.2.5.

Simuleringen styres av pakken *rt.world*, hvor strukturen vises i Tek-Da-Fig.20. I simuleringen er SolidWorks-modellen som er designet av maskin importert i tillegg til at det er et grensesnitt mot Simulink for å simulere det elektriske subsystemet.



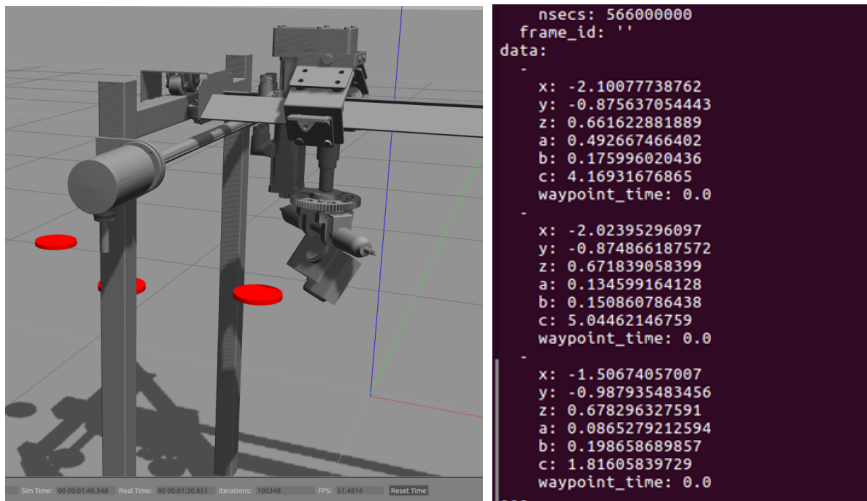
**Tek-Da-Fig.20:** *rt.world*-pakken

**Integrering av SolidWorks modell** RoboTrims design er importert i simuleringen ved bruk av .urdf formatet. URDF er beskrevet i Tek-Da.2.4, i tillegg til i dokumentasjonen for kildekoden. I tillegg til å få importert et mesh av modellen som er designet i SolidWorks, får man ved de fysiske parametrene som dimensjoner, vekt og massesenter som vil påvirke operasjonen til RoboTrim. Tek-Da-Fig.21 viser en illustrasjon av grensesnittet mellom Solidworks og Gazebo via URDF.



**Tek-Da-Fig.21:** Solidworks til URDF til Gazebo

Tek-Da-Fig.22a viser utklipp av simuleringen hvor den andre versjonen av det utviklede konseptet er importert, det tredje og siste konseptet ble ikke ferdig i tide til å importeres. De sirkulære røde flekkene er markørene brukt i simuleringen. Tek-Da-Fig.22b viser outputten fra kamera-mocken i simuleringen hvor XYZ angir kartesisk posisjon og ABC angir rotasjon om aksene.

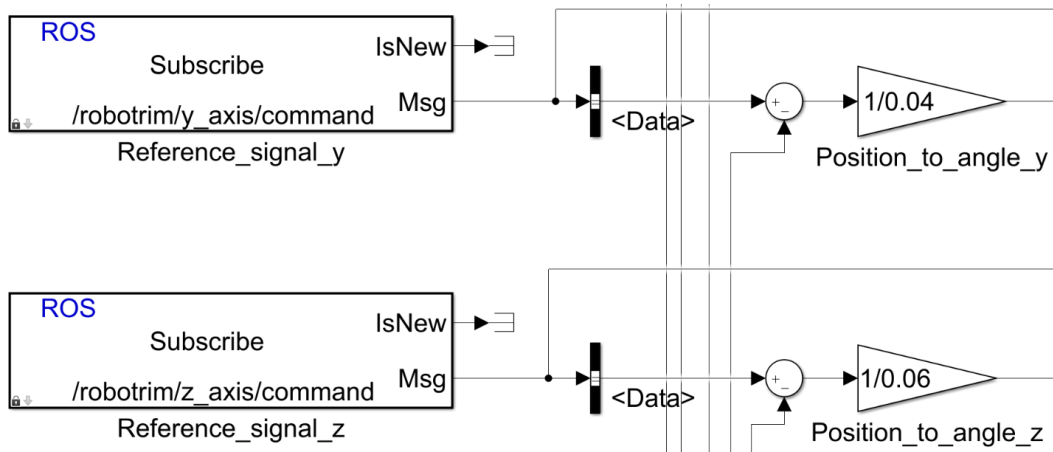


(a) Illustrasjon av simulering 1/2      (b) Output fra kamera-mock.

**Tek-Da-Fig.22:** Bilde og output fra simuleringstiljøet i Gazebo 7.0 med v2 av konseptet. Positiv XYZ langs hhv. rød, grønn, blå.

**Grensesnitt mot Simulink** For å kunne simulere det elektriske subsystemet er det utviklet et grensesnitt mot Simulink. Det er brukt tilleggspakken *Robotic Systems Toolbox* som er en tilleggspakke til Matlab/Simulink som tillater en Simulink-simulering å være en frittstående node i ROS-grafen. Simulink-noden vil via subscriberen vist til venstre i Tek-Da-Fig.23 få leddkonfigurasjonen fra `rt_controller` som er av typen `JointTrajectory.msg`, det subscribes i tillegg til et feedback signal fra Gazebo som publiser leddkonfigurasjoner real-time fra simuleringen. Feedback blokken vises ikke i figuren. Blokkdiagrammet i Simulink som håndterer reguleringen er beskrevet i .





**Tek-Da-Fig.23:** Interface til Simulink via ROS.

**/fish\_generator** Markørene som brukes i simuleringen håndteres av `/fish_generator` noden, som initialiseres av `rt_world`. Markørene fremstår som vist i Tek-Da-Fig.22 og er modellert i URDF. Markørgenereringen er tilrettelagt for å kunne teste alle kravene oppsummert i Tek-Da-Tab.3. Markørene har en default genereringsrate på  $3Hz$ , noe som tilsvarer ca.  $0.33s$ , hver markør genereres med tre flekker innenfor et spesifisert område på  $700cm \times 300cm \times 50cm$  og ankommer arbeidsområdet i en hastighet på  $1m/s$ , noe som håndteres av en plugin.

## Tek-Da.4 Formler brukt i programmering

Vinkelen som angir rotasjonen om X og Y defineres som  $\theta$  og finnes av Tek-Da-Mat.1

$$\theta = \pi - \arccos \left( \sqrt{\frac{\cos a \cdot \cos b}{-\cos^2 a \cdot \cos^2 b + \cos^2 a + \cos^2 b}} \right) \quad (\text{Tek-Da-Mat.1})$$

Siden RoboTrim kun har et bevegelsesområde som spenner  $\pi$  om Z-aksen, gitt av  $\phi$ , må  $\theta$  korrigeres i henhold til  $\phi$  for å sørge for at kniven kan skjære alle punkter innenfor  $2\pi$ :

$$\phi = \phi + \pi \quad \text{hvis } \phi > 0 \quad \text{og} \quad \phi < \frac{\pi}{2}$$

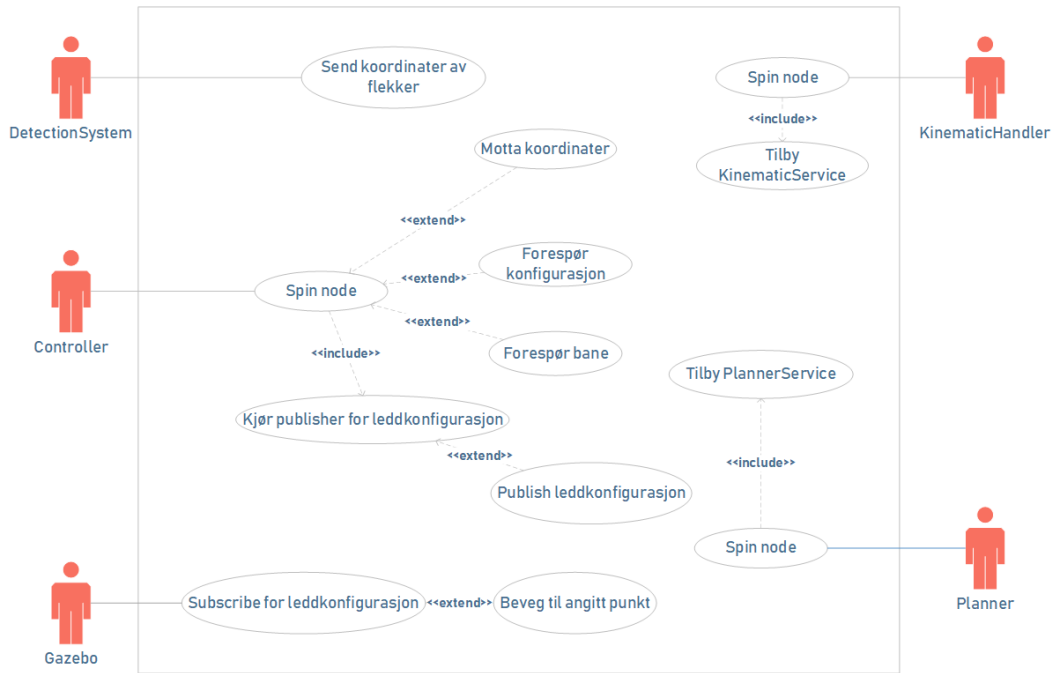
eller

$$\phi = \phi + \pi \quad \text{hvis } \phi < 2\pi \quad \text{og} \quad \phi > \frac{3\pi}{2}$$

For å beregne rotasjonen av vektorer brukes rotasjonsvektorer  $R_z$  og  $R_y$  som vist i henholdsvis Tek-Da-Mat.2 og Tek-Da-Mat.3 for å finne rotasjon om knivens Z- og Y-aksen.

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Tek-Da-Mat.2})$$

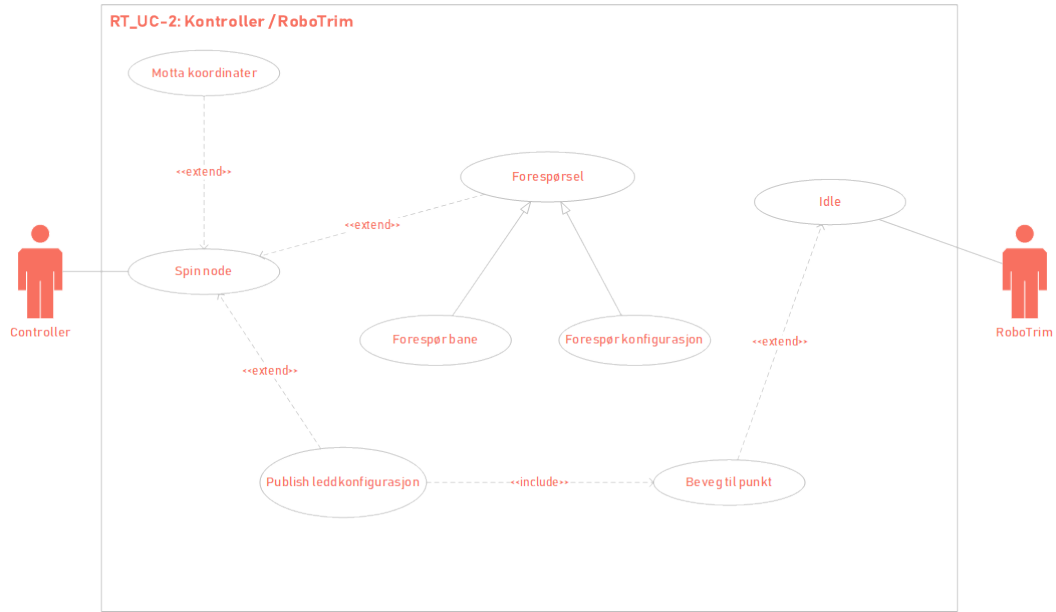
$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (\text{Tek-Da-Mat.3})$$



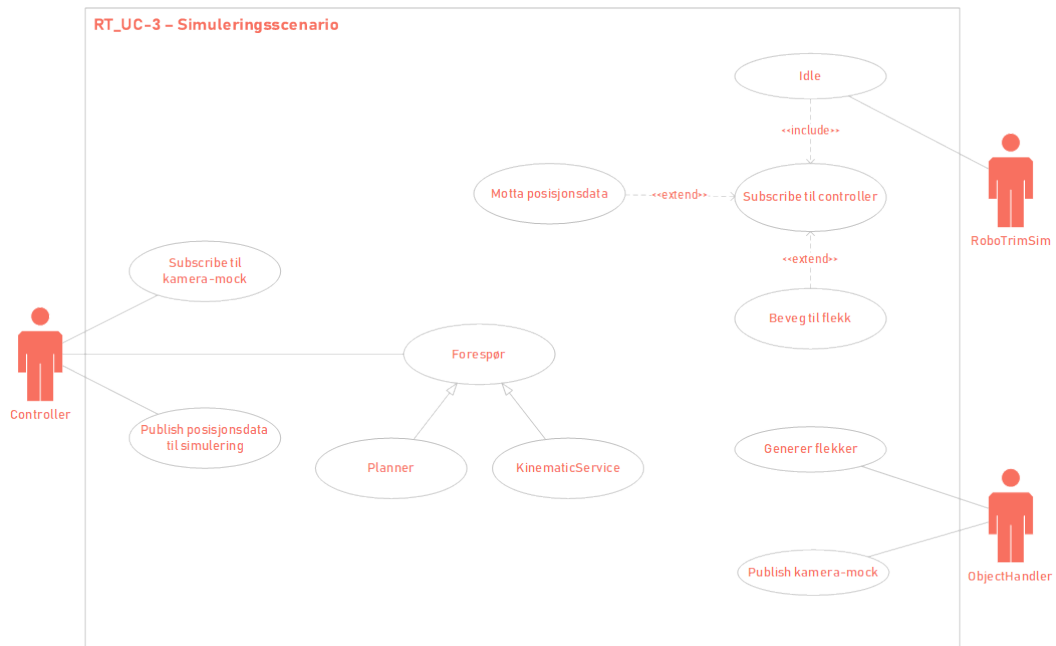
Tek-Da-Fig.24: RT\_UC-1: Generelt use-case diagram



Tek-Da-Fig.25: RT\_UC-1.1: Forespør bane



Tek-Da-Fig.26: RT\_UC-2: Kontroller / RoboTrim



Tek-Da-Fig.27: RT\_UC-3: Simuleringsscenario

## Tek-Da.5 Kinematikk

### Tek-Da.5.1 Geometrisk representasjon

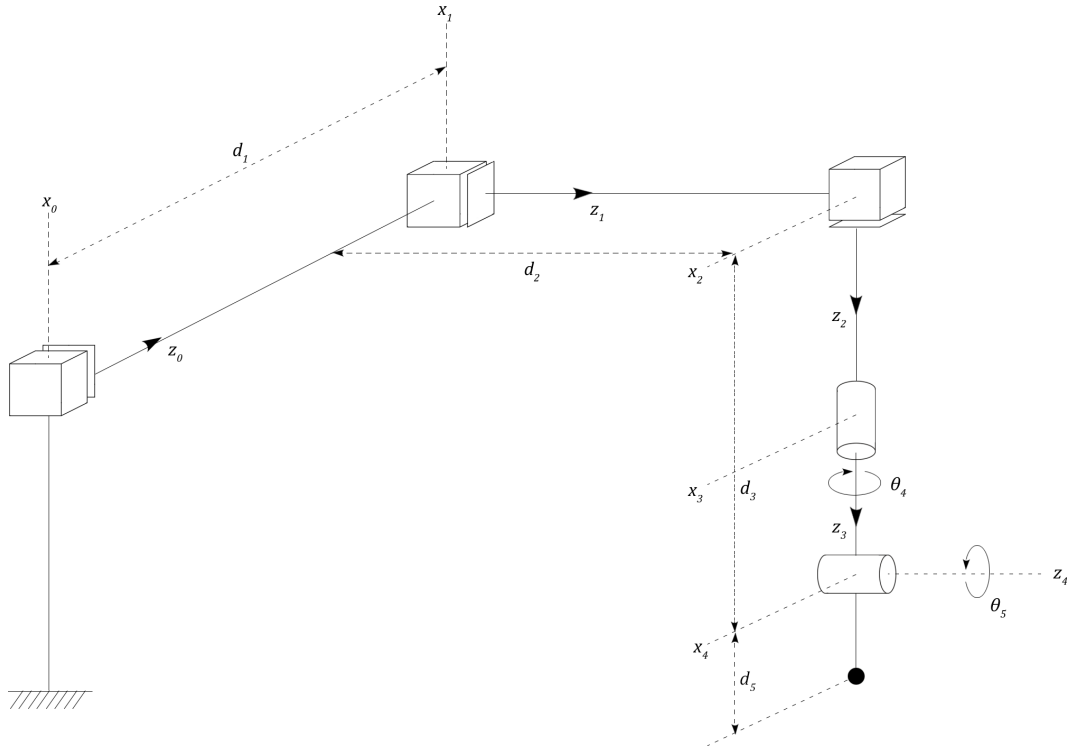
*Beregninger av kinematikken ble ikke ferdigstilt i tide til innlevering, under arbeid er beregninger for invers-kinematikk.*

Av konvensjon er det vanlig å representere den geometriske modellen av en robotmekanisme ved å definere egne koordinatsystem for hver lenke. En metode for geometrisk representasjon er *DH-metoden* (av Denavit and Hartenberg) som i stedet for seks parametre kun er avhengig av fire for å lokalisere et koordinatsystem med hensyn til et annet et. De fire parametrene er  $a_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $d_i$  og  $\theta_i$ . Parametrene  $a_i$  og  $\alpha_i$  er parametre for lenken, hvor  $a_i$  er lengden og  $\alpha_i$  er twisten.  $d_i$  og  $\theta_i$  er parametre for leddet, hvor  $d_i$  representerer leddets forskyvning og  $\theta_i$  er leddets vinkel.

For å fremstille en geometrisk representasjon av RoboTrim, brukes konvensjonen presentert i [74]. I definisjonen av koordinatsystem for hver lenke blir følgende regler fulgt i tråd med DH-metoden:

- $\hat{x}_i$ -aksen står vinkelrett på  $\hat{z}_{i-1}$ .
- $\hat{x}_i$  aksen skjærer  $\hat{z}_{i-1}$  aksen.

De fire parametrene som relaterer et koordinatsystem av en lenke til et koordinatsystem av en annen lenke er definert som:



**Tek-Da-Fig.28:** Geometrisk fremstilling av RoboTrim

Av Tek-Da-Fig.28 fremkommer parametre brukt av Denavit-Hartenberg konvensjonen vist i Tek-Da-Tab.5. Parametrene er definert som:

- $a_i$  er avstanden fra  $\hat{z}_{i-1}$  til  $\hat{z}_i$  langs langs felles normalvektor.
- $\alpha_i$  er vinkelen fra  $\hat{z}_{i-1}$  til  $\hat{z}_i$  om felles normalvektor.
- $d_i$  er forskyvningen langs  $z_{i-1}$  til felles normalvektor.
- $\theta_i$  er vinkelen om  $z_{i-1}$  fra  $x_{i-1}$  til  $x_i$ .

Link	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$	$\theta_i$
1	$d_1$	0	$-90^\circ$	0
2	$d_2$	0	$+90^\circ$	$+90^\circ$
3	$d_3$	0	0	$-90^\circ$
4	0	0	$-90^\circ$	$\theta_4$
5	$d_5$	0	$+90^\circ$	$\theta_5$

**Tek-Da-Tab.5:** DH-parametre

Siden både revolute- og prismatiske ledd kun gir en frihetsgrad, vil virkningsgraden av et enkelt ledd brukt i RoboTrim kunne beskrives med en enkelt variabel:

$$q_i = \begin{cases} \theta_i & \text{Revolute} \\ d_i & \text{Prismatisk} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
A_i &= Rot_{z,\theta_i} Trans_{x,a_i} Trans_{x,a_i} Rot_{x,\alpha_i} \\
&= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

(Tek-Da-Mat.4)

Innsatt DH-parametre følger matrisene  $A_i$ :

$$\begin{aligned}
A_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & A_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
A_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -a_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & A_4 &= \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & -s\theta_4 & a_4 c\theta_4 \\ s\theta_4 & 0 & c\theta_4 & a_4 s\theta_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
A_5 &= \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & s\theta_5 & a_5 c\theta_5 \\ s\theta_5 & 0 & -c\theta_5 & a_5 s\theta_5 \\ 0 & 1 & 0 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$T_0^3 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & d_3 + a_1 \\ -1 & 0 & 0 & d_2 - a_3 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 - a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Tek-Da-Mat.5})$$



$$T_3^5 = A_4 A_5 = \begin{bmatrix} c_{\theta_4} c_{\theta_5} & -s_{\theta_4} & c_{\theta_4} s_{\theta_5} & c_{\theta_4} c_{\theta_5} a_5 + c_{\theta_4} a_4 - d_5 s_{\theta_4} \\ c_{\theta_5} s_{\theta_4} & c_{\theta_4} & s_{\theta_4} s_{\theta_5} & c_{\theta_5} a_5 s_{\theta_4} + a_4 s_{\theta_4} + c_{\theta_4} d_5 \\ -s_{\theta_5} & 0 & c_{\theta_5} & -a_5 s_{\theta_5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Tek-Da-Mat.6})$$

Ligningssettet for forward kinematikk (Tek-Da-Mat.7) fremkommer ved å kombinere (Tek-Da-Mat.5) og (Tek-Da-Mat.6):

$$T_0^5 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 = T_0^3 T_3^5 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Tek-Da-Mat.7})$$

hvor  $n, o, a, p$  er gitt ved:

$$n_x = s_{\theta_4}$$

$$o_x = -c_{\theta_4} c_{\theta_5}$$

$$a_x = c_{\theta_4} c_{\theta_5}$$

$$n_y = -c_{\theta_4}$$

$$o_y = -s_{\theta_4} s_{\theta_5}$$

$$a_y = c_{\theta_5} s_{\theta_4}$$

$$n_z = 0$$

$$o_z = -c_{\theta_5}$$

$$a_z = -s_{\theta_5}$$

$$p_x = c_{\theta_4} c_{\theta_5} (d_3 + a_1) - s_{\theta_4} (d_2 - a_3) + c_{\theta_4} c_{\theta_5} (d_1 - a_2) + a_5 c_{\theta_4} c_{\theta_5} + a_4 c_{\theta_4} - s_{\theta_4} d_5$$

$$p_y = c_{\theta_5} s_{\theta_4} (d_3 + a_1) + c_{\theta_4} (d_2 - a_3) + s_{\theta_4} s_{\theta_5} (d_1 - a_2) + a_5 c_{\theta_5} s_{\theta_4} + a_4 s_{\theta_4} + c_{\theta_4} d_5$$

$$p_z = -s_{\theta_5} (a_1 + d_3) - a_5 s_{\theta_5} + c_{\theta_5} (d_1 - a_2)$$

For å finne inverskinematikken for RoboTrim multipliseres (Tek-Da-Mat.7) med inversmatrisene  $A_n^{-1}$  for å finne verdier for variablene  $d_i$  og  $\theta_i$ .

$$A_n^{-1} A_{n-1}^{-1} \dots A_{n-j}^{-1} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A^{n+1} \dots A^{n+k} \quad (\text{Tek-Da-Mat.8})$$

$$n-1 \geq i \quad \text{og} \quad n-j \geq i \quad , \quad \text{gitt av } A_i$$

$$n+1 \leq i \quad \text{og} \quad n+k \leq i \quad , \quad \text{gitt av } A_i$$

$$A_1^{-1} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_2 A_3 A_4 A_5,$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_2 A_3 A_4 A_5$$

(Tek-Da-Mat.9)

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x - a_1 \\ -n_z & -o_z & -a_z & d_1 - p_z \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -s_{\theta_5} & 0 & c_{\theta_5} & d_3 - a_5 s_{\theta_5} \\ c_{\theta_5} s_{\theta_4} & c_{\theta_4} & s_{\theta_4} s_{\theta_5} & a_2 + d_5 c_{\theta_4} + a_4 s_{\theta_4} + a_5 c_{\theta_4} s_{\theta_5} \\ -c_{\theta_4} c_{\theta_5} & s_{\theta_4} & -c_{\theta_4} s_{\theta_5} & d_5 s_{\theta_4} - a_5 c_{\theta_4} c_{\theta_5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^{-1}A_1^{-1} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_3A_4A_5$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & d_1 - a_2 \\ 0 & 1 & 0 & -d_2 \\ 1 & 0 & 0 & -a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_3A_4A_5$$

(Tek-Da-Mat.10)

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} -n_z & -o_z & -a_z & d_1 - a_2 - p_z \\ n_y & o_y & a_y & p_y - d_2 \\ n_x & o_x & a_x & p_x - a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\theta_5}s_{\theta_4} & c_{\theta_4} & s_{\theta_4}s_{\theta_5} & d_5c_{\theta_4} + a_4s_{\theta_4} + a_5c_{\theta_5}s_{\theta_4} \\ -c_{\theta_4}c_{\theta_5} & s_{\theta_4} & -c_{\theta_4}s_{\theta_5} & d_5s_{\theta_4} - a_4c_{\theta_4} - a_3 - a_5c_{\theta_4}c_{\theta_5} \\ -s_{\theta_5} & 0 & c_{\theta_5} & d_3 - a_5s_{\theta_5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^{-1}A_2^{-1}A_1^{-1} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_4A_5,$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & d_2 - a_3 \\ 0 & 0 & -1 & d_1 - a_2 \\ 1 & 0 & 0 & -a_1 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_4A_5$$

(Tek-Da-Mat.11)

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} -n_y & -o_y & -a_y & d_2 - a_3 - p_y \\ -n_z & -o_z & -a_z & d_1 - a_2 - p_z \\ n_x & o_x & a_x & p_x - d_3 - a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\theta_4}c_{\theta_5} & -s_{\theta_4} & c_{\theta_4}s_{\theta_5} & a_4c_{\theta_4} - d_5s_{\theta_4} + a_5c_{\theta_4}c_{\theta_5} \\ c_{\theta_5}s_{\theta_4} & c_{\theta_4} & s_{\theta_4}s_{\theta_5} & d_5c_{\theta_4} + a_4s_{\theta_4} + a_5c_{\theta_5}s_{\theta_4} \\ -s_{\theta_5} & 0 & c_{\theta_5} & -a_5s_{\theta_5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Tek-Ko - Teknisk, Konklusjon

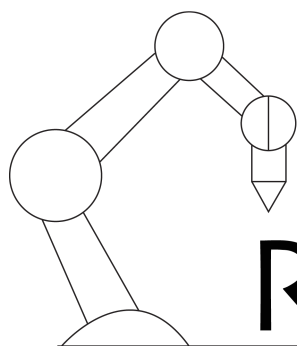
---

Konklusjon og anbefalinger for videre utvikling av HS RoboTrim 2018.

## Tek-Ko.1 Konklusjon

Konstruksjonen som har blitt utarbeidet bærer preg av de høye akselerasjonene som systemet skal tåle. Skal systemets størrelsesomfang reduseres må kuttetiden per fisk økes, eller hastigheten på båndet senkes. En annen mulighet er å se på om tilfellet av plassering av melaninflekker på fileten er reelt eller ikke. Dersom forekomst av tre flekker per filet er sjelden, eller at flekkene er spredt plassert, kan systemets akselerasjon senkes. Dette vil resultere i at både størrelse og vekt på systemet kan reduseres. Fra et mekanisk synspunkt anbefales det å endre innfestningen på kniven som brukes i systemet. Sidemonteringen som brukes ved det nåværende designet fører til unødvendige bevegelser i de kartesiske aksene, da avstanden til akselen kniven er festet til i stor grad avhenger av knivens vinkling. Det anbefales derfor å se nøyer på en mer sentrert innfestning på kniven, noe som vil redusere bevegelsen i de kartesiske aksene. Dersom det konkluderes med at tilfellet som ble undersøkt er urealistisk, eller at det er ønskelig å benytte flere aksesystemer i serie, kan dette som nevnt føre til lavere akselerasjoner i systemet. Ved lavere akselerasjoner kan både motorstørrelsen og motorkraften reduseres, noe som igjen vil gi ringvirkninger på den mekaniske konstruksjonen. Dette vil føre til lavere strømtrekk, billigere og eventuelt færre motorer, drivere og rimeligere elektrisk hardware.

Det ønskes å presisere at prosjektgruppen har sett på prosjektet som et mulighetsstudie. Det var ønskelig å undersøke hvor høy akselerasjon og hvor lav operasjonstid det var mulig å rimelig kunne oppnå, med et fullstendig hygienisk designet aksesystem. Systemet som prosjektgruppen har designet skal basert på analyser og beregninger fungere, og har kapasitet til å fjerne tre melaninflekker per sekund ved gitt scenario. Avslutningsvis ønsker prosjektgruppen å takke Tronrud Engineering for samarbeidet, og for at vi fikk gjennomføre et /textitmeget spennende og utfordrende bachelorprosjekt i samarbeid med dere. Vi har gjennom hele prosjektet arbeidet hardt for å kunne levere et best mulig og velbegrunnet resultat, og vi håper dere kan dra nytte av vårt arbeid i videre utvikling av systemet.



# RoboTrim

2018

Te - Test

---

Dokumentasjon om planlagte og gjennomførte tester for HS-RoboTrim 2018.

Versjon: 2.0

## Revisjonshistore

Revisjonshistorie: Test			
Versjon:	Dato:	Endring:	Av:
1.0	26.01.2018	Opprettet dokument. Lagt til: "Foreløpig verifikasjonsplan"	PAS
1.1	28.02.2018	Lagt til: "Verifikasjonsmetoder"	ØJCÅ
1.2	03.03.2018	Lagt til: "RT-koder i verifikasjonskort"	ØJCÅ
1.3	08.03.2018	Lagt til: "Flere verifikasjonsmetoder"	ØJCÅ
1.4	15.03.2018	Endret: "Oppdatert prosedyrer" "Oppdatert testkort"	EH
1.5	18.04.2018	Lagt til: "VA.03-KR.12 til VA.10-KR.12"	ØJCÅ
1.6	09.05.2018	Endret: "Oppdatert testkort, fylt inn utførte tester"	ØJCÅ
1.7	15.05.2018	Endret: "Oppdatert testkort, fylt inn utførte tester"	ØJCÅ
1.8	19.05.2018	Endret: "Oppdatert testkort, fylt inn utførte tester"	ØJCÅ
1.9	19.05.2018	Endret: "Testkort og testutførelse flyttet til Gen-Ve"	ØJCÅ
2.0	20.05.2018	Endret: "Oppdatert testkort, fylt inn utførte tester"	ØJCÅ



## Innholdsfortegnelse

### Te **Test**

Te.1 <b>Test- og verifikasjonsplan</b>	<b>1</b>
Te.1.1 Analyse	1
Te.1.2 Inspeksjon	2
Te.1.3 Demonstrasjon	3
Te.1.4 Testing	4
Te.2 <b>Status på verifisering</b>	<b>6</b>

## Liste over figurer

Te-Fig.1	Verifikasjonskode for analyse	2
Te-Fig.2	Verifikasjonskode for teoretisk inspeksjon	2
Te-Fig.3	Verifikasjonskode for praktisk inspeksjon	2
Te-Fig.4	Verifikasjonskode for demonstrasjon	3
Te-Fig.5	Verifikasjonskode for praktisk test	5
Te-Fig.6	Verifikasjonskode for teoretisk test	5
Te-Fig.7	Status på verifikasjoner	6

## Te.1 Test- og verifikasjonsplan

Test- og verifikasjonsmetodene beskrevet i dette dokumentet er utarbeidet for å verifisere om ytelsen til vårt system tilfredsstillende kravspesifikasjonen gitt av TE. Prosjektgruppen har valgt å legge til flere test- og verifikasjonsmetoder i verifikasjonsplanen. Dette fordi prosjektet i all hovedsak er et mulighetsstudie, og hardwarevalg (bla. material- og motorvalg) baserer seg dermed på matematiske fremstillinger av systemet.

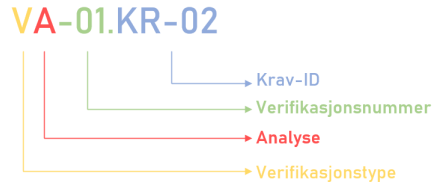
Verifikasjon er en prosess som går på å evaluere et system, for å objektivt kunne bestemme om systemet som bygges svarer til fastsatte krav. [75] For at prosjektgruppen skal kunne verifisere oppfylingsgraden av krav mot epics og user-stories må det foreligge en plan for test og verifisering.

De fastsatte kravene, gitt i kravspesifikasjonen, må verifiseres før systemet prosjektgruppen utvikler kan godkjennes. Dette kan gjøres ved hjelp av flere forskjellige verifikasjonsmetoder. Hver verifikasjon som utarbeides vil bli gitt en unik verifikasjonskode som sier noe om hvilken verifikasjonsmetode som har blitt brukt, og hvilket krav verifikasjonen er knyttet til. Om flere krav inngår i samme verifikasjon, legges .KR-XX (kravet det gjelder) bak den unike verifikasjonskoden. Dette er illustrert i de neste kapitlene.

### Te.1.1 Analyse

Verifikasjonsmetoden baserer seg i utgangspunktet på matematiske modeller, som skal gi en forutsigelse på systemets ytelse. Basert på denne matematiske modellen skal rimelig bevis på at systemets ytelse svarer til kravene fremkomme. I tillegg til dette ønsker prosjektgruppen å innlemme researchbasert verifikasjon, i form av dokumentert fakta i denne verifikasjonsmetoden. Siden prosjektgruppens primærmål er å ha et teoretisk bevist konsept, vil verifisering ved hjelp av analyse brukes i stor grad i prosjektforløpet.

Prosjektgruppen har ingen fysisk enhet som kan testes, og systemets ytelse kan med det kun estimeres ved hjelp av matematiske modeller. Oppbygningen til koden for verifikasjonsmetoden er beskrevet i Te-Fig.1.



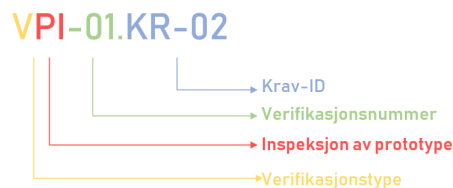
**Te-Fig.1:** Verifikasjonskode for analyse

### Te.1.2 Inspeksjon

Verifikasjonsmetoden baserer seg i utgangspunktet på fysisk inspeksjon av et system, i tillegg til fysisk manipulering og/eller måling av systemet. Denne metoden vil sannsynligvis kun bli tatt i bruk i form av inspeksjon av en programvare prototype. Oppbygningen til koden for verifikasjonsmetoden er beskrevet i Te-Fig.2 og Te-Fig.3



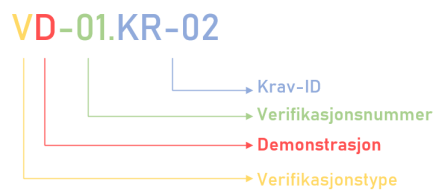
**Te-Fig.2:** Verifikasjonskode for teoretisk inspeksjon



**Te-Fig.3:** Verifikasjonskode for praktisk inspeksjon

### Te.1.3 Demonstrasjon

Verifikasjonsmetoden baserer seg på en funksjonell bekreftelse på at systemet tilfredsstiller det respektive kravet. Dette gjøres i form av en demonstrasjon der man kan observere systemets ytelse. En slik demonstrasjon vil altså vise en del av funksjonaliteten systemet innehar, og man kan basert på dette trekke en konklusjon på om systemet oppfyller/ikke oppfyller kravet. Oppbygningen til koden for verifikasjonsmetoden er beskrevet i Te-Fig.4.



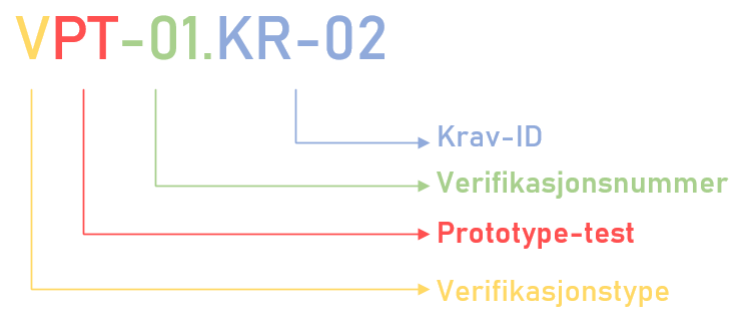
**Te-Fig.4:** Verifikasjonskode for demonstrasjon

### Te.1.4 Testing

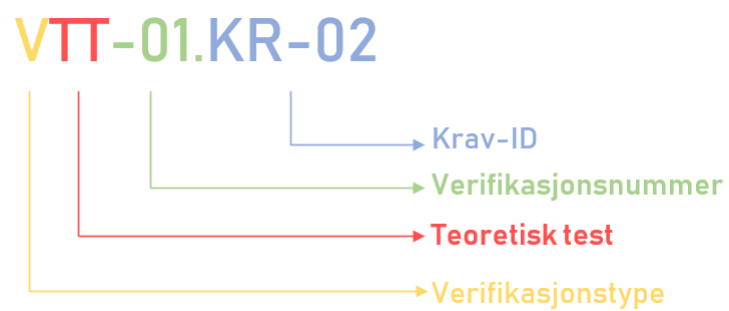
Verifikasjonsmetoden baserer seg på å teste systemets/delsystemers ytelse under spesifiserte forhold. Verifikasjon på at et krav tilfredsstilles oppnås ved en senere analyse av dataene som er innsamlet. [75]

Det finnes flere typer tester, hvorav prosjektgruppen ser for seg at disse kan komme til å måtte brukes i en senere fase av prosjektet:

- **Enhetstesting:** Mindre formelle tester som utføres på delsystemer før disse leveres videre for integrering eller for grundige tester. Hovedformålet med enhetstesting er å teste delsystemene for å forstå og analysere den isolerte funksjonaliteten delsystemet innehar. Dette er en begrenset testmetode der større problemer ofte ikke avdekkes.
- **Integregingstest:** Utføres når de ulike delsystemene integreres til et helt sammensatt system. Integreringstesting kan være en bottom-up-, eller en top-down-prosess. Begge implementerer enhetstesting. Eventuelle feil i grensesnittene mellom delsystemene vil avdekkes her.
- **Aksepteringstest:** Denne testmetoden er drevet av ønskene til oppdragsgiver, og er direkte knyttet opp mot kravene gitt av dem. På dette stadiet er oppdragsgiver direkte med i testprosessen. Her testes funksjoner som skal tilfredsstillende krav og ønsker fra kunde. Prosjektgruppen har valgt å dele testene opp i to forskjellige kategorier hvorav tester markert med "PT" er tester som skal utføres på en eventuell prototype. Tester markert med "TT" er tester som skal teste det teoretiske konseptet, altså tester som skal utføres på den programvarebaserte prototypen. Oppbygningen til koden for prototype-testene er beskrevet i Te-Fig.5, og oppbygningen til koden for teoretiske tester er beskrevet i Te-Fig.6.



**Te-Fig.5:** Verifikasjonskode for praktisk test



**Te-Fig.6:** Verifikasjonskode for teoretisk test

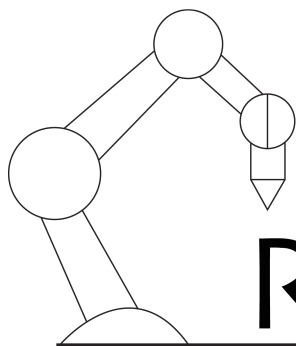
## Te.2 Status på verifisering

I Te-Fig.7 vises statusen på verifikasjonene. Fargene indikerer statusen på verifikasjonene. Verifikasjonene, med tilhørende testprosedyrer og resultater er vedlagt i Ve-Gen.3.

<span style="background-color: #d9ead3;">Utført, godkjent</span> <span style="background-color: #fff2cc;">Ikke utført</span> <span style="background-color: #f2dede;">Utført, ikke godkjent</span>				
Status på verifikasjon				
Krav-ID	Analyse	Inspeksjon	Demonstrasjon	Test
KR-01		VTI-01.KR-01		
KR-02		VTI-01.KR-02		
KR-03		VTI-01.KR-03		
KR-04		VTI-01.KR-04		
KR-05				VPT-01.KR-05
KR-06				VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11
KR-07				VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11
KR-08				VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11
KR-09				VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11
KR-10				VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11
KR-11				VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11
KR-12	VA-01.KR-12			
	VA-02.KR-12			
	VA-03.KR-12			
	VA-04.KR-12			
	VA-05.KR-12			
	VA-06.KR-12			
	VA-07.KR-12			
	VA-08.KR-12			
	VA-09.KR-12			
	VA-10.KR-12			
KR-13				VTT-01.KR-13
KR-14				VTT-01.KR-14/KR-14/02
KR-14/01				VTT-01.KR-14/01
KR-14/02				VTT-01.KR-14/KR-14/02
KR-14/03				VPT-01.KR-14/03
KR-15		VPI-01.KR-15		
KR-15/01				VPT-01.KR-15/01.KR-15/02
KR-15/02				VPT-01.KR-15/01.KR-15/02
KR-15/03				VPT-01.KR-15/03
KR-15/04				VPT-01.KR-15/04
KR-16		VPI-01.KR-16		
KR-16/01				VPT-01.KR-16.01/KR-16.02/KR-16.03
KR-16/02				VPT-01.KR-16.01/KR-16.02/KR-16.03
KR-16/03				VPT-01.KR-16.01/KR-16.02/KR-16.03
KR-17				VPT-01.KR-17
KR-18	VA-01.KR-18			
KR-19		VPI-01.KR-19		
KR-20		VPI-01.KR-20		
KR-21		VTI-01.KR-21		
KR-22		VTI-01.KR-22		
KR-23	VA-01.KR-23			
KR-24	VA-01.KR-24			
KR-25	VA-01.KR-25			
KR-26	VA-01.KR-26			
KR-27		VTI-01.KR-27		
KR-28		VTI-01.KR-28		

Te-Fig.7: Status på verifikasjoner





# RoboTrim

2018

Ri - Risiko

---

Dokumentasjon av risikohåndteringen for HS-RoboTrim 2018.

Versjon: 1.4

<b>Revisjonshistorie: Risiko</b>			
<b>Versjon:</b>	<b>Dato:</b>	<b>Endring:</b>	<b>Av:</b>
0.1	21.01.2018	Første risikoplan.	TSV
0.2	09.02.2018	Revisjon og oppdatering.	TSV
1.0	14.03.2018	Innsatt i hoveddokument.	EH
1.1	16.03.2018	Revisjon av tekst og oppdateringstabell.	TSV
1.2	09.04.2018	Revisjon og oppdatering.	TSV
1.3	27.04.2018	Revisjon og oppdatering.	TSV
1.4	19.05.2018	Revisjon og oppdatering. Endelige refleksjoner.	TSV

## Innholdsfortegnelse

### Ri **Risiko**

Ri.1	<b>Håndtering av risiko</b>	<b>1</b>
Ri.1.1	Risikoer under prosjektarbeidet	1
Ri.2	<b>Oppdateringer og status på risikoplanen</b>	<b>4</b>

## Liste over figurer

Ri-Fig.1	Risikomatrise	3
Ri-Fig.2	Fargekoding for risiko	3

## Liste over tabeller

Ri-Tab.1 Oppdateringer og status på risikoplan

8

## Ri.1 Håndtering av risiko

En avgjørende faktor for prosjektarbeidet, er hvordan utfordringer håndteres underveis. I prosjektplanleggingsfasen var fokuset på å forutse flest mulige risikoer på forhånd. Dette var for at det raskest mulig skulle kunne reageres og dermed minimere tapt tid og eventuelt penger. I risikohåndteringsplanen er det de høyest prioriterte risikoene som kan ha størst innvirkning på om prosjektet blir vellykket til slutt. Disse har følgelig høyest prioritet når det gjelder både å forebygge og planlegge hvordan disse problemene kan løses om de oppstår.

### Ri.1.1 Risikoer under prosjektarbeidet

Prosjektgruppen valgte å inkludere risikohåndtering fra startfasen av prosjektet. For å kunne identifisere mulige risikoer var det viktig å begynne med å identifisere prosjektets målsettinger (*Pp.1.5*), omfang (*Pp.1.4*) og innleveringer (*Pp.1.6*) [76].

I et teknisk bachelorprosjekt er det mye som skal produseres for at prosjektet skal regnes for å være vellykket til slutt. Det som skal produseres innebærer både selve produktet, RoboTrim, men også en rekke dokumenter og presentasjoner.

Prosjektets mulige risikoer er delt inn i to hovedkategorier, *teknisk risiko* og *prosjektrisiko*. Teknisk risiko innebærer for eksempel for sen bestilling av deler eller forandringer av komponenter underveis. Prosjektrisiko omhandler for eksempel håndtering av sykdom i gruppa, eller hvordan tilbakemeldinger fra veiledere håndteres. Listen er ført inn i en risikotabell i Excel, og er vedlagt i sin helhet som *A3*.

Det var fra starten av prosjektet viktig at risikohåndteringsplanen ikke bare skulle lages "for å lages", men at den underveis skulle brukes som et verktøy for prosjektarbeidet. Følgelig har planen blitt brukt, oppdatert og revidert aktivt underveis i prosessen. Revisjoner gjort med tanke på risiko kan sees i Ri-Tab.1. Denne tabellen loggfører oppdateringer kontinuerlig, hvor oppdateringer kan både være tiltak som er gjennomført, risikoer som er håndterte eller loggføring av risikoer som ikke lenger er relevante for prosjektet.

Både opprinnelig avdekte risikoer, og risikoer avdekt underveis i arbeidet ble rangert på en skala fra 1 til 12 i henhold til risikomatriksen i Ri-Fig.1, og kan finnes i vedlegg. Det ble vurdert hvor sannsynlig det var at en risiko ville påvirke prosjektet og utvikle seg til et problem. Videre ble også omfanget av konsekvensene en mulig risiko kunne påføre prosjektet. Verdiene langs sannsynlighetsaksen er:

- **1:** Usannsynlig
- **2:** Mulig
- **3:** Mest sannsynlig

Langs aksen for alvorlighetsgrad tolkes verdiene som:

- **1:** Akseptabel
- **2:** Tolererbar
- **3:** Uønsket
- **4:** Ikke tolererbar

Den totale risikokarakteren som vises i Ri-Fig.2 rangeres følgende:

- **1-2:** Lav risiko
- **3-6:** Middels risiko
- **7-10:** Høy risiko
- **11-12:** Ekstrem risiko

Risikomatrise		1 - Akseptabel	2 - Tolererbar	3 - Uønsket	4 - Ikke-tolererbar
		Liten eller ingen påvirkning på prosjektet	Prosjektet påvirkes, men ikke med kritisk utfall	Stor påvirkning på prosjektets utfall	Kan resultere i katastrofe for prosjektet
1 - Usannsynlig	Det er ikke sannsynlig at risikoen vil inntreffe	1	4	6	10
2 - Mulig	Det er sannsynlig at risikoen vil inntreffe	2	5	8	11
3 - Mest sannsynlig	Risikoen kommer til å inntreffe	3	7	9	12

Ri-Fig.1: Risikomatrise

Fargekoding				
Risikokarakter	1-2	3-6	7-10	11-12
Rangering	Lav risiko	Middels risiko	Høy risiko	Ekstrem risiko
Grad av akseptering eller håndtering	Risikoen kan aksepteres. Tiltak kan likevel vurderes.	Tiltak for å redusere sannsynlighet eller alvorlighet burde gjennomføres	Tiltak for å redusere sannsynlighet eller alvorlighet må gjennomføres	Tiltak for å redusere sannsynlighet eller alvorlighet må gjennomføres

Ri-Fig.2: Fargekoding for risiko

Det ble utarbeidet tiltak mot de avdekte risikoene. Disse tiltakene ble delt i to grupper, forebyggende tiltak og konsekvensreducerende tiltak. De forebyggende tiltakene er ting som kan gjennomføres for å minske sannsynligheten for at problemet oppstår. De konsekvensreducerende tiltakene kan brukes for å minske konsekvensen et problem får for prosjektarbeidet dersom problemet likevel har oppstått. Disse tiltakene kan også finnes i den komplette risikotabellen i vedlegg.



## Ri.2 Oppdateringer og status på risikoplanen

Dato	ID	Oppdatering
24.01.2018	PR6	Håndtert. Vi har fått aksept fra Tronrud til å publisere alt arbeid vi gjør i løpet av prosjektarbeidet.
08.02.2018	PR1	Under kontinuerlig håndtering. Vi følger SCRUM-modellen og lærer av våre feil underveis gjennom sprintreview og retrospective
08.02.2018	PR2	Under kontinuerlig håndtering. Vi brukte mye tid på prosjektplanen før 1. presentasjon. Revidering og oppdatering av prosjektplanen skjer fortløpende etter hvert som vi får mer klarhet i fremtidige hendelser.
11.02.2018	PR11	Vi lagrer ferdigstilte dokumenter under "tasks" på Jira. Vi har satt opp Google drive med mappestruktur.
11.02.2018	PR12	Tilbakemeldingene etter første presentasjon var gode. Vi fikk likevel noen konstruktive tilbakemeldinger og tips til hvordan noe kan forbedres. Vi har jobbet mer med sammenhengen mellom krav, epics og user stories.
11.02.2018	PR13	Ved flere anledninger har vi ikke nådd sprintmålet 100%. Vi må vurdere om vi skal legge inn mer overtidarbeid i en periode.
11.02.2018	PR14	Dersom oppgaver ikke har blitt utført innen fredag ettermiddag har vi dedikert tid i helgen for å gjøre disse ferdig. Enkelte oppgaver er blokkert av at vi har feilvurdert hvor store oppgavene. Andre oppgaver har bevisst blitt utsatt fordi vi har funnet ut at andre oppgaver var mer kritiske å få utført fortest mulig.
11.02.2018	PR16	Vi feiltolket viktigheten av hygienisk design noe som fører til at vi må dedikere ekstra tid til dette for å få ferdigstilt kravspesifikasjonen.

Dato	ID	Oppdatering
11.02.2018	PR24	Vi korrekturleser alle dokumenter som skal inn i dokumentasjonen.
25.02.2018	PR5	Under håndtering. Vi har fått se hvordan et datasett fra deteksjonssystemet kan se ut.
25.02.2018	PR9	For å unngå misforståelser mellom gruppen og veiledere angående møter bruker vi google-kalender med invitasjon, slik at alle har oversikt over når det er møter.
25.02.2018	PR11	Vi lagrer ferdigstilte dokumenter på Google drive.
25.02.2018	PR12	Vår første utgave av kravspesifikasjon ble sendt til Tronrud som planlagt. Vi fikk tilbakemeldinger på at de fleste av kravene var tilfredsstillende, men at noen burde revideres. Vi manglet noe på hygienisk design som vi har jobbet videre med.
26.02.2018	PR13	Vi har gjort en vurdering av det overordnede målet frem mot andre presentasjon (hvor langt vi tenker å komme innen da) og arbeidet ut i fra det vi har gjort, selv om noe arbeid overføres til neste sprint.
26.02.2018	PR15	Grunnet en misforståelse måtte ett møte med TE utsettes. Vi har derfor begynt å bruke Google-kalender invitasjon for å forebygge at dette skjer igjen.
26.02.2018	PR16	Vi har bestemt å utelate mye av hygienisk design fra kravspesifikasjonen basert på at kravene ikke er testbare. Vi skal heller utarbeide et designdokument som skal hjelpe oss til å gjennomføre hygienisk design med "best-practice" metoder uten at det er bastante krav.
26.02.2018	PR25	Vi leser gjennom dokumenter som skal inn i dokumentasjonen for å avdekke om det er skrevet ting som ikke har blitt referert riktig.

Dato	ID	Oppdatering
26.02.2018	TR16	vi har bestemt å utarbeide et hygienisk-designdokument som skal hjelpe oss å ta designbeslutninger. Dette dokumentet skal ikke være en del av kravspesifikasjonen, ettersom en stor del av dette fagfeltet ikke har direkte målbare krav og tester.
12.03.2018	TR6	Kravet om kaplingsgraden IP69K er blitt endret til å inkludere både IP69K og IP67. Dette åpner for flere muligheter når det gjelder motorvalg, men gjør at vi må bruke tid til å se over om allerede valgte motorer burde endres.
14.03.2018	TR7	Kravspesifikasjon er nå godkjent og da også validert av TE.
16.03.2018	TR1	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
16.03.2018	TR2	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
16.03.2018	TR3	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
16.03.2018	TR4	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
16.03.2018	TR11	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
16.03.2018	TR15	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.

Dato	ID	Oppdatering
16.03.2018	PR20	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
16.03.2018	PR21	Det kan se ut til at vi ikke har nok tid til å lage en prototype av systemet. Dette medfører at denne risikoen ikke lenger er like relevant.
19.03.2018	TR08	Det har blitt brukt god tid på å utarbeide en testplan. Mange av testene vil vi ikke ha mulighet til å gjennomføre praktisk, men testene i form av motorsimuleringer, FEM-analyser osv. burde gi et svar på om konseptet vil fungere praktisk ved et senere tidspunkt.
21.03.2018	TR10	I møte etter andre presentasjon fikk vi beskjed om at TE hadde fått ny informasjon fra mattilsynet om at åpne tannhjul og/eller tannstant ikke var ønskelig med tanke på hygienisk design. Det må derfor utarbeides en annen løsning der dette er blitt benyttet.
09.04.2018	TR9	Vi har ikke kjennskap til PLS eller programmering av disse fra før av, og dette vil ta for lang tid å lære. Vi har derfor valgt å kun velge PLS, men ikke programmere denne. Valget ble tatt basert på at vi skal forsøke å bevise at konseptet er gjennomførbart. Å programmere en PLS har ingen innvirkning på om systemet er mulig å konstruere eller ikke.
20.04.2018	PR12	Vi fikk gode tilbakemeldinger fra TE på nåværende design på dagens skype-møte.
20.04.2018	PR13	Vi har ikke kommet så langt som vi ønsker ved dette tidspunktet, vi har derfor bestemt å jobbe mye overtid frem mot prosjektslutt for å kunne få et best mulig sluttresultat.

Dato	ID	Oppdatering
27.04.2018	TR3/TR5	Det blir kjørt FEM-analyser av systemet etterhvert som design gjøres. OAFR utfører første design og PAS kjører FEM-analyser og modifikasjoner mens OAFR jobber videre på design. Det blir også gjennomført styrkeberegninger på sveis av SLA for å kontrollere at dette vil holde.
27.04.2018	TR7	Det har vært utfordrende å tolke kravspesifikasjonen opp mot et reelt scenario med flekker på laksefileter.
19.05.2018	PR13	Arbeid har gjennom hele prosjektet tatt lenger tid enn planlagt. Dette har resultert i store mengder overtid-sarbeid, men alle i prosjektgruppen har vært innstilt på å få et best mulig resultat. Derfor har alle vært innstilt på å jobbe overtid for å komme mest mulig i mål til fristen.
19.05.2018	PR22	I forbindelse med oppdateringen i raden over har prosjektets omfang sannsynligvis vært noe stort. Kompleksitetsgraden til et robotsystem som dette er veldig høy, i tillegg til at hygienisk design har krevd veldig mye arbeid. Sekundærmålet om en miniatyrprototype måtte derfor forkastes. Målet til prosjektgruppen, om å utvikle et teoretisk konsept som skal være praktisk gjennomførbart for TE å konstruere ved et senere tidspunkt, er likevel nådd.

**Ri-Tab.1:** Oppdateringer og status på risikoplan

## Ref - Refleksjonsdokument

---

Prosjektgruppens refleksjon rundt prosjektarbeidet med utviklingen av HS RoboTrim 2018.

## Ref.1 Refleksjonsdokument

### Prosjektutfordringer og evaluering

Ved prosjektets slutt ønsket vi å evaluere hvordan arbeidet hadde gått. Prosjektgruppen er som tidligere nevnt tverrfaglig med studenter fra både maskin, elektro og data. Dette har vi sett på som en stor fordel for prosjektet siden det da var mulig å designe et mer komplett system enn dersom gruppen kun hadde bestått av en av fagretningene. I tillegg til dette har det vært en stor fordel med tanke på at vi har lært å kommunisere med ingeniører med ulik bakgrunn, og ikke minst viktigheten av å tenke på grensesnittene mellom de ulike delsystemene.

Siden medlemmene i prosjektgruppen kjente hverandre fra før gjennom emnet “MPSE2201 - Systems Design and Engineering” visste vi på forhånd at alle grupped medlemmene var både hardtarbeidende og dedikerte. Vi ble tidlig enige om at vi ønsket å oppnå et best mulig resultat, og hva dette ville innebære av innsats. Selv om vi kjente hverandre fra før har vi blitt overrasket over hvor bra samarbeidet har fungert. Vi har konstant presset hverandre til å jobbe hardere og bedre. Personlige konflikter har vært totalt fraværende under prosjektet. Hver gang det har vært tekniske uenigheter har vi kunnet diskutere oss frem til enighet, uten at det har oppstått konflikter. Selv om vi har hatt det gøy, har vi likevel klart å holde arbeidet strukturert og målrettet.

En av de store fordelene med å ha gjennomført et prosjektarbeid sammen tidligere, var at vi kunne lære av de feilene som ble begått der. Vi har eliminert endeløse diskusjoner som ikke ledet til enighet. Vi har også fått mye bedre oversikt over hva som både må gjøres og hva som allerede er gjort. Det er i hovedsak prosjektstyringsverktøyene som har hjulpet oss med dette.

Prosjektstyringsverktøyene vi har brukt har vært til stor hjelp med å strukturere arbeidet. Prosjektmodellen Scrum har bidratt med å holde arbeidet iterativt og refleksjonsbasert. Korte sprinter på i hovedsak én uke, har gjort at vi kontinuerlig har kunnet evaluere hvor langt vi hadde kommet og vurdere om arbeidet vi gjorde ledet oss mot det overordnede målet. Vi har likevel hatt utfordringer med bruk av Scrum med tanke på at dette er et tverrfaglig prosjekt. Scrum baserer seg på at

prosjektgruppen hele tiden jobber mot et felles overordnet mål eller leveranse. Vi har derfor flere ganger måttet dele opp sprintmålene i fagspesifikke mål da dette krevdes.

Jira som prosjektstyringsverktøy har vært til stor hjelp med å gi hele prosjektgruppen oversikt over arbeidet både de selv må utføre, men også arbeidet som utføres av de andre i gruppen. Selv om vi har hatt problemer med å estimere størrelsen på oppgavene (vi har gjennomgående underestimert størrelsen på mange oppgaver) har vi hatt god nok oversikt slik at vi alltid kunne legge inn ekstra arbeidstimer når det trengtes.

Omfanget av prosjektet har sannsynligvis vært noe stort. Som vi kommer tilbake til i seksjon Ref.1 er kompleksitetsgraden til et robotsystem som dette veldig høy. Vi måtte derfor forkaste sekundærmålet om å lage en miniatyrprototype. Vi kom ikke så langt som vi hadde håpet, men gruppen er fornøyd med kvaliteten og detaljnivået på det designet som ble utført. Selv om det til tider kan ha vært i overkant mye overtidsarbeid har vi vært innstilt på at det var det som måtte til for å ende opp med et tilfredsstillende resultat.

## **Tekniske utfordringer og evaluering**

De største tekniske utfordringene i prosjektarbeidet har vært hygienisk design, robotikk og fysiske krav. Ingen i prosjektgruppen har erfaring med hygienisk design eller robotikk fra før av. I tillegg til dette skulle vi designe systemet fra bunnen av, uten å kunne ta utgangspunkt i tidligere arbeid (annet enn kniven og at deteksjonssystemet allerede var laget). Dette medførte at mye tid gikk til kompetansebygging og konseptvalg tidlig i prosjektet. Det var ikke gitt at vi skulle gå for et kartesisk aksesystem fra starten, så mye tid gikk også til research på robottyper. I ettertid er det lett å si at vi burde brukt mindre tid på å velge konsept/robottype, men vi er likevel enige om at dette krevde den tiden det gjorde for å kunne foreta et velbegrunnet valg.

Hygienisk design har vært den største utfordringen med dette prosjektet, og den faktoren som har medført flest ekstra arbeidstimer. Siden alt i systemet må være enten helt tett eller helt lukket og med fokus på vaskbarhet har det ført til at selv



ting som kan virke som de enkleste kan utvikle seg til å ta veldig lang tid å designe (med tanke på det mekaniske).

I tillegg til at systemet skal være hygienisk har det vært store utfordringer med systemets akselerasjon og vekt. Siden systemet skal operere med ganske ekstreme akselerasjoner, som oppstår av å fjerne tre melaninflekker per sekund, har vi hele tiden måttet inngå kompromisser mellom dreiemoment, vekt og akselerasjon for systemets elektriske motorer.

Styring av roboter er veldig matematisk krevende. Vi har derfor måttet bruke mye tid på kompetansebygging innenfor kinematikk, ROS og styring av roboter. Å lage et styresystem som tar hensyn til tilfeldig flekkposisjon og genererer nødvendige konfigurasjoner for aksesystemet i sanntid har vært en stor og kompleks oppgave.

Grensesnittet mellom alle undersystemene har også vært et viktig fokusområde. Det var viktig for oss å lage et komplett system. Derfor har det vært fokus på hvordan den fysiske oppkoblingen mellom styreprogrammet og motorene vil se ut (med blant annet PLS og motordrivere). I tillegg til dette har vi fokusert på hvordan styreprogrammet i ROS skal kjøres i forbindelse med motorenes reguleringsystem i Simulink. Videre er motorene grensesnittet mellom styresystemet og det mekaniske. Siden systemet består av så mange individuelle deler som skal fungere sammen, og at mange av undersystemene er mer komplekse enn et vanlig robotsystem (grunnet hygienisk design og akselerasjon) har vi hatt nok av utfordringer å jobbe med. Det er i hovedsak disse utfordringene, og måten vi målrettet har jobbet med disse, som har gjort at vi alle er enige om at prosjektet både har vært givende og lærerikt.

## Individuelle refleksjonsrapporter

### Erlend Helgerud

Av administrative oppgaver har jeg hatt oppgaven som SCRUM-master, noe som har innebært at jeg har vært den som har hatt tettest kontakt med den interne veilederen Kiran Raja. I tillegg har denne oppgaven innebært at det har vært min arbeidsoppgave å sørge for at gruppen jobbet etter SCRUM-rammeverket ved å holde faste møter i forbindelse med planlegging og evaluering av sprinter. Som SCRUM-master har jeg også vært opptatt av å prøve å ha et best mulig innblikk i de forskjellige delene av oppgaven.

Som den eneste datastudenten på gruppa har det vært naturlig at hovedansvaret har vært å utvikle styresystemet som var en del av oppgaven. Oppgaven i sin helhet har vært meget utfordrende, både med tanke på den egne delen, men samtidig oppgaven generelt, som de andre gruppemedlemmene også har fått kjenne på. En av de største utfordringene jeg personlig har hatt i løpet av prosjektarbeidet har vært at jeg har vært alene om software-delen og dermed manglet en sparringspartner i forhold til utviklingen av styresystemet. I forhold til kompleksiteten av oppgaven, hvor mange av de største utfordringene på gruppe-basis omhandlet diskusjoner om hygienisk design og motorvalg, følte det noen ganger litt ensomt med tanke på software-biten.

Samarbeidet i gruppen for øvrig har etter min mening fungert tilnærmet knirkefritt. En av våre store hovedfordeler som gruppe mener jeg har vært at medlemmene under hele prosjektet har vært flinke til å se andres behov og bistå hvor nødvendig. Samtidig har gruppen hatt medlemmer med sterke men reflekterte personligheter, som ofte har diskutert godt for det de selv mente var den beste løsningen, og samtidig innsett egne feil.

Hvis jeg personlig skulle gjort noe annerledes ved en ny anledning ville jeg tidligere startet på teknisk arbeid og strukturert eget arbeid bedre. Av egen skyld var det tendenser til at det i løpet av prosjektarbeidet var tider hvor det dukket opp et personlig scope-creep som en konsekvens av planlegging og strukturering av eget arbeid som kunne vært bedre. Personlig mener jeg at jeg selv kunne fått gjort mer software dersom jeg hadde vært flinkere til å delegere tiden min i forhold til hvor

mye involvering jeg hadde i andre deler.

Som en avsluttende oppsummering av det tidligere nevnte er jeg veldig fornøyd med både oppgaven og prosjektgruppen. Til tross for det nevnte i forrige avsnitt er jeg fornøyd med det personlige utbytte av oppgaven, da jeg har fått et mye større innblikk i det maskin- og elektrotekniske enn jeg hadde forventet før oppgaven.

### **Ole Anders Foss Reistad**

Mine ansvarsområder har gjennom prosjektet vært som Produkteier og CAD-ansvarlig. Som produkteier til prosjektet har jeg hatt ansvar for å holde backloggen oppdatert ved å legge til og holde orden i user-stories og epics gjennom prosjektets gang. I denne rollen har jeg også hatt hovedansvaret for kommunikasjonen med bedriften, noe som har blitt tatt hånd om gjennom ukentlige oppdateringer og levering av sprintrapporter og timelister til ekstern veileder. Som denne rollen krever har jeg måttet ha fokus på å tre inn i rollen som bedriftens representant i diskusjoner som har oppstått om prosjektet med formål om å styre prosjektet i en retning av hva oppdragsgiver ønsker å få ut av prosjektet. Å både tenke som gruppelem og oppdragsgivers representant har vært en av utfordringene jeg har møtt i prosjektet, men som jeg mener jeg har løst på grei måte.

Mitt tekniske arbeid har i stor grad bestått av å finne løsninger på systemet som har blitt utviklet gjennom prosjektets gang. Samtidig har jeg hatt hovedansvaret og arbeidet med CAD-modellen som en representasjon av disse løsningene. Samtidig har jeg hjulpet til på mange andre områder enn mitt eget for å fjerne blokkere i arbeidet. Dette synes jeg har vært en positiv ting da jeg har fått et godt innblikk i prosjektet fra mange vinkler samtidig som jeg har lært mye.

De største utfordringene jeg har møtt på i prosjektet er implementasjon av hygienisk design. Å finne løsninger som både tåler de strukturelle belastningene systemet utsettes for, samtidig som løsningene skal være hygieniske. Å designe hygieniske løsninger har på mange måter endret tankesettet jeg har hatt til produktutvikling ved å måtte gå fra mange løsninger som kan velges til å finne den ene løsningen som vil fungere godt.

Jeg syntes gruppen har arbeidet eksepsjonelt godt sammen gjennom prosjektets gang, og gruppen har blitt en sammensveiset gjeng. Vi har hatt mange diskusjoner da gruppens medlemmer har sterke meninger, men diskusjonene har alltid foregått på et faglig nivå og aldri vært dratt ned på det personlige. Jeg mener kompetansen til gruppen som helhet har vært god selv om ingen av gruppens deltakere har hatt erfaring med liknende type systemer fra før. Evnen til gruppens medlemmer å tilegne seg kunnskap utenfor sin grunnkunnskap og fagområder sammen med arbeidsviljen er noe imponert over, og jeg har ingen betenkeligheter med å jobbe med denne gruppen igjen.

### **Per Anders Stadheim**

Mitt hovedansvarsområdet var testansvarlig som ble kombinert med ansvaret for styrken til aksesystemet. Som testansvarlig var det naturlig at jeg passet på at styrken i systemet ble verifisert i henhold til kravene og testene satt opp i prosjektet. Aksesystemet har mange individuelle deler og sammenstillinger som utgjør mange analyser med forskjellige spenningstilstander. Dette har vært komplisert på grunn av manglende software hvorav SolidWorks som vi har tilgang til på skolen, kun hadde statiske analyser. Hovedproblemområder jeg har støtt på i forbindelse med dette har vært at styrkeberegningene ofte førte til oppdimensjonering som videre resulterte i større forandringer for hele systemet som igjen forhindret fremgang i prosjektet. Vekten skulle holdes så lav som mulig, men på samme tid beholde styrken. Miljøet systemet er tenkt at skal opereres i måtte også kartlegges med hensyn på korrosjon, temperaturforandringer og PH-forandringer og hvordan det kan skade strukturen. Det har vært moro å bruke kunnskap fra konstruksjonsteknikk og materialteknikk og videre sette seg inn i ny kunnskap for å forstå et slikt system.

Oppdateringer for utlegg innenfor prosjektgruppen og priser på komponenter brukt i aksesystemet har også vært min jobb ettersom jeg var økonomiansvarlig. Dette innebar forståelse av hvordan egenproduserte deler kunne bli dyre og hvordan delenes oppbygning økte prisen.

Jeg har også hatt som ansvarsområdet å jobbe med hygienisk design i form av reasearch, lage designdokument, og sette opp en rekke krav. Hygienisk design var i første del av prosjektet noe vi så på som fort gjort. Det viste seg at det var en stor utfordring å forstå seg på dette temaet uten utenforstående hjelp. Med konsultering med TE fikk vi vite at dette var et erfaringsbasert tema og vi fikk se noen eksempler de hadde som hjelp for videre design. Etter dette skrev jeg også et dokument på hva hygienisk design var.

Gruppearbeidet har fungert veldig bra med saklige diskusjoner kombinert med effektivt gruppearbeid. Gruppen har vært veldig samstemte på hva de ville lære og oppnå i prosjektet. Evnen til å både innhente og videreformidle ny kunnskap til hverandre, har vært av høy kvalitet i dette prosjektet. Prosjektoppgaven har vært svært krevende og vi har alle jobbet veldig hardt for å komme i mål. Dette er en gjeng jeg kunne tenkt meg å jobbe med igjen en gang!

### **Thomas Saraby Vatle**

Mitt prosjektrelaterte ansvarsområde var risikoansvarlig. De tekniske ansvarsområdene mine bestod i hovedsak av fysiske beregninger på akselerasjoner, motordimensjonering og reguleringssystemet til disse. Som risikoansvarlig valgte jeg tidlig å utarbeide en grundig risikoanalyse og tiltaksplan. Flere av tiltakene har hjulpet prosjektarbeidet, selv om i overkant mange av problemene ble løst ved overtidsarbeid. Risiko PR22: "Prosjektets omfang er for stort" burde ha blitt tatt mer seriøst tidligere i prosjektet. Selv om omfanget var stort, jobbet vi som nevnt overtid for å oppnå et best mulig resultat og for å nå primærmålet om å lage et teoretisk bevist konsept.

Som elektroingeniør var mine elektrorelaterte ansvarsområder motordimensjonering og motorregulering. Jeg valgte å gjennomføre grundige fysiske analyser av systemets bevegelse ved bruk av blant annet Matlab og Siemens Sizer for å dimensjonere motorene for systemet. Selv om det tok tid å både utarbeide og lage disse simuleringene har det hjulpet meg i arbeidet med motordimensjoneringen ved at det var mulig å enkelt endre parametre og få motorkrav etterhvert som de mekaniske delsystemene ble ferdigutviklet.

Siden vår preliminnære vektestimerting viste seg å være veldig underestimert måtte jeg derfor foreta endringer av valgte motorer underveis i designprosessen. Likevel krevde ikke dette mye ekstra arbeid siden simuleringene allerede var utarbeidet.

En annen utfordring var egen uvitenhet angående hvordan et praktisk reguleringsystem for en robot kan se ut. I ettertid kan jeg derfor se at det tekniske arbeidet rundt dette kunne ha vært startet på tidligere i prosjektet, men prosjektplanleggingen og konseptutviklingen krevde mye tid i starten. Resultatet endte likevel med å bli tilfredsstillende. I samarbeid med EH fikk jeg laget oppkoblingen mellom reguleringsystemet i Simulink og ROS som var viktig for helheten av prosjektet.

Gruppedynamikken kunne etter min mening ikke vært stort bedre. Vi er en gruppe med seks veldig forskjellige personer. Dette har gjort at vi har hatt et bredt spekter av meninger og kompetanseområder. Likevel har vi vært like nok til at samarbeidet har fungert godt på det personlige plan og det ikke har oppstått personlige konflikter eller uenigheter som ikke kunne løses raskt. Det har vært spesielt interessant å kunne samarbeide med både data- og maskinstudenter og få innsikt i hvordan disse jobber og tenker. Etter min mening har alle i gruppen vært like viktige for at vi har hatt et vellykket prosjekt, og jeg ville uten tvil valgt å samarbeide med de samme igjen.

### **Sondre Lieblein Aronsen**

Det prosjektrelaterte ansvarsområdet mitt har omhandlet kravspesifikasjonen. Mye av tiden i starten gikk til lage kravkort som kunne knyttes opp mot epics og user-stories. Det tok lang tid før jeg fant et system på hvordan sporbarheten mellom krav, epics og user-stories skulle løses. Har også holdt kravspesifikasjonen oppdatert underveis da det har vært mye endringer og frem og tilbake med å få kraven godkjent.

Jeg har gjennom perioden hatt flere ansvarsområder. Jeg brukt mye tid på "del 1" av det første konseptet, der jeg jobbet med løsninger på pitch og yaw. Arbeidet gikk i hovedsak ut på finne detaljerte løsninger til overnevnte akser. Ut over dette brukte jeg mye tid på å finne eksterne deler og hygieniske løsninger til hovedkonseptet. Den største utfordringen var å finne leverandører og produkter som støttet opp mot kravene til hygienisk design. Jeg har også hatt hovedansvaret for å lage 2D-tegninger til systemet.

Det var vanskelig å lage korrekte 2D-tegninger siden hver enkelt bedrift har sin egne måte å gjøre dette på. En annen utfordring rundt tegningene er så sette på toleranser, da dette bygger på mye erfaring. Ved siden av arbeidet rundt modellen har jeg gjort beregninger på sveis. FEM- analysene gav høye kantspenninger som igjen ga unøyaktige resultater og måtte derfor evalueres med håndberegninger.

Det har vært utfordrende, gøy og veldig lærerikt å jobbe med dette prosjektet da det har vært mange nye ting å sette seg inn i. Prosjektets omfang har vært stor og veldig krevende og har skapt mange utfordringer innenfor det maskintekniske. Vi på maskin har vært gode støttespillere for hverandre og jobbet godt sammen innenfor vårt felles fagfelt. Jeg har også fått større innblikk i hva de andre fagfeltene har av kunnskap og hva man kan få til sammen med den kompetansen man sitter på etter 3 år som ingeniørstudent. Hvis jeg ville gjort noe annerledes måtte det vært å startet på konseptutviklingen tidligere og satt en av oss tre fra maskin på utviklingen/research. Dette kunne gitt oss muligheten til å iterer konseptet og worst-case-scenarioet en gang til nå i slutt fasen, og muligens fått et enda mer optimalt system.

Jeg er veldig fornøyd med den gjengen jeg har fått arbeidet sammen med. Dynamikken og initiativet til hver enkelt person har vært upåklagelig. Vi har fra starten vært enige om hva målet vårt har vært og det har alle bevist at de mente. Alt av diskusjoner har foregått saklig, selv med sterke personligheter i gruppen. Jeg vil avslutte med å si at om jeg hadde fått muligheten til å arbeide med denne gruppen igjen hadde svaret vært, ja!

### **Øyvind Jia-Chen Åslie**

Mitt prosjektrelaterte ansvarsområde har vært å fylle oppgaven som testansvarlig i tospann med Per Anders. I tidlig fase innebar dette blant annet å passe på at kravene (som ble utviklet i samarbeid med TE) var testbare. I senere fase har det blant annet innbefattet å utvikle en test- og verifikasjonsplan, samt å utføre/passe på at disse testene/verifikasjonene har blitt gjennomført innen prosjektets sluttdato. Et av hovedmålene med denne testplanen har vært å kunne verifisere at det teoretiske systemet vi har utviklet tilfredsstillende kundens (i vårt tilfelle oppdragsgiver) krav. Det har i denne prosessen vært stort fokus på å få *reelle* testresultater.

Av teknisk arbeid har min hovedoppgave vært å konfigurere elektronikken som forhåpentligvis skal brukes i en senere fase av prosjektet, lage topologiskisse og å lage oppkoblingsskjemaer av de valgte komponentene. Dette har bydd på utfordringer, da jeg ved prosjektstart hadde null praktisk erfaring med liknende oppgaver. Jeg har tilegnet meg kunnskap til å kunne plukke ut en velbegrunnet hardwarekonfigurasjon, ved å forhøre meg med folk med kunnskap innenfor temaet.

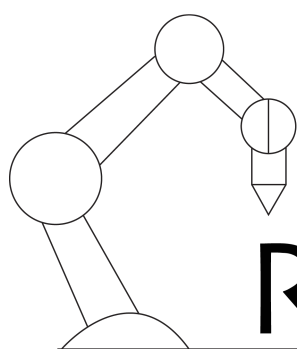
Personlig er jeg veldig fornøyd med de valgte programvarene vi har brukt for både prosjektstyring og intern, prosjektrelatert kommunikasjon. Slack har fungert veldig godt som kommunikasjonsplattform, da vi har mulighet til å kategorisere kommunikasjon innenfor emner. Jira har fungert godt som prosjektstyringsverktøy, med tanke på at man ved sprintstart har en god oversikt over hva som er “forventet” av deg i løpet av kommende sprint. I tillegg til dette får man innsyn i hva de andre prosjektmedlemmene gjør.

Det har vært lærerikt og interessant å jobbe i en tverrfaglig gruppe, og i løpet av prosjektperioden har jeg fått et større innblikk i hva de forskjellige fagretningene kan bidra med i et slikt prosjekt.

Hvis jeg skulle gjort noe annerledes, hadde det vært å ta fatt på den elektrotekniske delen ved et tidligere tidspunkt. Siden jeg ikke hadde erfaring med hverken PLS eller fysisk oppkobling av komplekse systemer var dette både en stor utfordring, men også veldig lærerikt. Sluttresultatet med oppkobling med tilhørende koblingsskjemaer ble nøye utarbeidet, men med mer tid kunne det vært interessant å se mer på PLS-programmering.

Gruppesammensetningen har fra mitt ståsted vært perfekt, da vi er en gruppe bestående av personer med variert kunnskap og med mange gode personlige egenskaper. Dynamikken i gruppen har vært avgjørende for et godt resultat. Hvis jeg får muligheten til å arbeide med denne gruppen igjen hadde jeg uten tvil sagt ja!





# RoboTrim

---

2018

Ve - Vedlegg

---

Vedlegg tilhørende hoveddokumentasjonen.

Versjon: 1.5

<b>Revisjonshistorie: Vedlegg</b>			
<b>Versjon:</b>	<b>Dato:</b>	<b>Endring:</b>	<b>Av:</b>
1.0	20.01.2018	Opprettet dokument. Lagt til: "Oppgavebeskrivelse"	EH
1.1	21.01.2018	Lagt til: "Risiko"	EH
1.2	18.05.2018	Lagt til: "Oppkoblingsdiagram" "Hardwaretopologi ved bruk av Siemens PLS" "Topologiskisser i A3-format" "Reguleringssystemet" "Motordimensjonering" "Sveis"	ØJCÅ
1.3	19.05.2018	Oppdatert: "Risiko"	ØJCÅ
1.4	20.05.2018	Lagt til: "Testkort og testutførelse"	ØJCÅ
1.5	21.05.2018	Lagt til: "2D" "Budsjett" "Fem" Konseptbegrunnelse" "Styrkeberegninger" "Tilbud fra Omron og Wittenstein"	ØJCÅ

## Ve-Gen - Generelle vedlegg

---

Vedlegg: generelle dokumenter, HS-RoboTrim 2018.

---

## Innholdsfortegnelse

### Ve-Gen **Ve-Gen**

Ve-Gen.1	<b>Oppgavebeskrivelse</b>	<b>1</b>
Ve-Gen.2	<b>Revisjonshistorie</b>	<b>3</b>
Ve-Gen.3	<b>Tester</b>	<b>4</b>
Ve-Gen.3.1	VTI-01.KR-01	4
Ve-Gen.3.2	VTI-01.KR-02	6
Ve-Gen.3.3	VTI-01.KR-03	9
Ve-Gen.3.4	VTI-01.KR-04	11
Ve-Gen.3.5	VPT-01.KR-05	13
Ve-Gen.3.6	VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	14
Ve-Gen.3.7	VA-01.KR-12	18
Ve-Gen.3.8	VA-02.KR-12	19
Ve-Gen.3.9	VA-03.KR-12	20
Ve-Gen.3.10	VA-04.KR-12	21
Ve-Gen.3.11	VA-05.KR-12	22
Ve-Gen.3.12	VA-06.KR-12	23
Ve-Gen.3.13	VA-07.KR-12	24

Ve-Gen.3.14	VA-08.KR-12	25
Ve-Gen.3.15	VA-09.KR-12	26
Ve-Gen.3.16	VA-10.KR-12	27
Ve-Gen.3.17	VTT-01.KR-13	28
Ve-Gen.3.18	VTT-01.KR-14.KR-14/02	29
Ve-Gen.3.19	VTT-01.KR-14/01	31
Ve-Gen.3.20	VPT-01.KR-14/03	32
Ve-Gen.3.21	VPI-01.KR-15	33
Ve-Gen.3.22	VPT-01.KR-15/01.KR-15/02	34
Ve-Gen.3.23	VPT-01.KR-15/03	36
Ve-Gen.3.24	VPT-01.KR-15/04	37
Ve-Gen.3.25	VPI-01.KR-16	38
Ve-Gen.3.26	VPT-01.KR-16/01.KR-16/02.KR-16/03	39
Ve-Gen.3.27	VPT-01.KR-17	41
Ve-Gen.3.28	VA-01.KR-18	42
Ve-Gen.3.29	VPI-01.KR-19	43
Ve-Gen.3.30	VPI-01.KR-20	44
Ve-Gen.3.31	VTI-01.KR-21	45

---

Ve-Gen.3.32	VTI-01.KR-22	47
Ve-Gen.3.33	VA-01.KR-23	49
Ve-Gen.3.34	VA-01.KR-24	50
Ve-Gen.3.35	VA-01.KR-25	51
Ve-Gen.3.36	VA-01.KR-26	52
Ve-Gen.3.37	VTI-01.KR-27	53
Ve-Gen.3.38	VTI-01.KR-28	55
Ve-Gen.4	<b>Risikomatriser</b>	<b>57</b>
Ve-Gen.5	<b>Prosjektbudsjett</b>	<b>61</b>
Ve-Gen.5.1	Innkjøpte komponenter	61
Ve-Gen.5.2	Tilvirkede komponenter	62
Ve-Gen.5.3	Sveiseforbindelser	62
Ve-Gen.5.4	Totale kostnader HS RoboTrim	62
Ve-Gen.5.5	Tilbud fra Omron og Wittenstein	67

**Liste over figurer**

Ve-Gen-Fig.1	Revisjonstabeller til kravene.	3
Ve-Gen-Fig.2	Verifikasjonskort for KR-01	4
Ve-Gen-Fig.3	Bevegelsesbanen til aksesystemet langs Y-aksen	5
Ve-Gen-Fig.4	Verifikasjonskort for KR-02	6
Ve-Gen-Fig.5	Øvre posisjon, Z-akse. dY angir her vandring i Z-akse.	7
Ve-Gen-Fig.6	Nedre posisjon, Z-akse. dY angir her vandring i Z-akse.	7
Ve-Gen-Fig.7	Verifikasjonskort for KR-03	9
Ve-Gen-Fig.8	Knivenhetens rotasjon om X-aksen	10
Ve-Gen-Fig.9	Verifikasjonskort for KR-04	11
Ve-Gen-Fig.10	Knivenhetens rotasjon om Y-aksen	12
Ve-Gen-Fig.11	Verifikasjonskort for KR-05	13
Ve-Gen-Fig.12	Verifikasjonskort for KR-06, KR-07, KR-08, KR-09, KR-10 og KR-11	14
Ve-Gen-Fig.13	Første testsekvens for VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	16
Ve-Gen-Fig.14	Andre testsekvens for VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	16

---

Ve-Gen-Fig.15	Tredje testsekvens for VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11	17
Ve-Gen-Fig.16	Verifikasjonskort for KR-12	18
Ve-Gen-Fig.17	Verifikasjonskort for KR-12	19
Ve-Gen-Fig.18	Verifikasjonskort for KR-12	20
Ve-Gen-Fig.19	Verifikasjonskort for KR-12	21
Ve-Gen-Fig.20	Verifikasjonskort for KR-12	22
Ve-Gen-Fig.21	Verifikasjonskort for KR-12	23
Ve-Gen-Fig.22	Verifikasjonskort for KR-12	24
Ve-Gen-Fig.23	Verifikasjonskort for KR-12	25
Ve-Gen-Fig.24	Verifikasjonskort for KR-12	26
Ve-Gen-Fig.25	Verifikasjonskort for KR-12	27
Ve-Gen-Fig.26	Verifikasjonskort for KR-13	28
Ve-Gen-Fig.27	Verifikasjonskort for KR-14 og KR-14/02	29
Ve-Gen-Fig.28	Verifikasjonskort for KR-14/01	31
Ve-Gen-Fig.29	Verifikasjonskort for KR-14/03	32
Ve-Gen-Fig.30	Verifikasjonskort for KR-15	33
Ve-Gen-Fig.31	Verifikasjonskort for KR-15/01 og KR-15/02	34
Ve-Gen-Fig.32	Verifikasjonskort for KR-15/03	36



Ve-Gen-Fig.33	Verifikasjonskort for KR-15/04	37
Ve-Gen-Fig.34	Verifikasjonskort for KR-16	38
Ve-Gen-Fig.35	Verifikasjonskort for KR-16/01, KR-16/02 og KR-16/03	39
Ve-Gen-Fig.36	Verifikasjonskort for KR-17	41
Ve-Gen-Fig.37	Verifikasjonskort for KR-18	42
Ve-Gen-Fig.38	Verifikasjonskort for KR-19	43
Ve-Gen-Fig.39	Verifikasjonskort for KR-20	44
Ve-Gen-Fig.40	Verifikasjonskort for KR-21	45
Ve-Gen-Fig.41	Verifikasjonskort for KR-22	47
Ve-Gen-Fig.42	Verifikasjonskort for KR-23	49
Ve-Gen-Fig.43	Verifikasjonskort for KR-24	50
Ve-Gen-Fig.44	Verifikasjonskort for KR-25	51
Ve-Gen-Fig.45	Verifikasjonskort for KR-26	52
Ve-Gen-Fig.46	Verifikasjonskort for KR-27	53
Ve-Gen-Fig.47	Verifikasjonskort for KR-28	55

---

## Liste over tabeller

Ve-Gen-Tab.1	Oversikt: Risikomatriser	57
Ve-Gen-Tab.2	Oversikt: Prosjektbudsjett	61
Ve-Gen-Tab.3	Valutakonvertering	61
Ve-Gen-Tab.4	Kostnader HS RoboTrim 2018	63

## Ve-Gen.1 Oppgavebeskrivelse



# OPPGAVEBESKRIVELSE HS ROBOTRIM 2018

Dato:19.9.2017

Utarbeidet av Øistein Røste	TE DokID	Revisjon :1:
TE Prosjekt 040-003	Produkt RoboTrim	Art Nr

Bakgrunn for oppgaven ligger i vedlagt dokument «RoboTrimNo1\_Rev07082013.doc»

Tronrud Engineering ønsker å erstatte dagens 6 armende robotarm med et egetutviklet motoraksesystem.

Opplysninger:

Laksefiletter som er ca 700mm lange kommer på transportbåndet i X+ retning. Det kommer en laksefilett ca hvert sekund. Melaninflekker (Brune flekker) på laksen skal trimmes bort med kniv som et utviklet av TE.

Krav til aksesystemet:

- Det må være 5 akser. X- langs båndet. Y- På tvers. Z- for høyde. Rotasjon  $\pm 45^\circ$  om X og Y for kniven.
- Bevegelseshastighet for verktøyet: 4m/s
- Hygienisk design: Se vedlegg «Hygiene\_Manual\_Marine\_Harvest.PDF». Utstyret må kunne vaskes.
- X akse lengde ca 1000mm, y akse ca 300mm, z ca 0-90mm
- Vekt på verktøy ca 2Kg.

Krav til styresystemet:

- Styreprogrammet må kunne beregne og interpolere alle 5 akser.
- Med input av koordinater skal aksesystemet bevege seg i et mønster mellom koordinatene med ønsket hastighet.
- Finne frem til egnet hardware for å styre servomotorer.

### P10.1

**Address**  
Tronrud Engineering AS  
Flyplassveien 21  
N-3514 Hønefoss  
Norway

**Contact**  
Phone: +47 32 16 18 20  
Mail: [mail@tronrud.no](mailto:mail@tronrud.no)  
Web: [www.tronrud.no](http://www.tronrud.no)

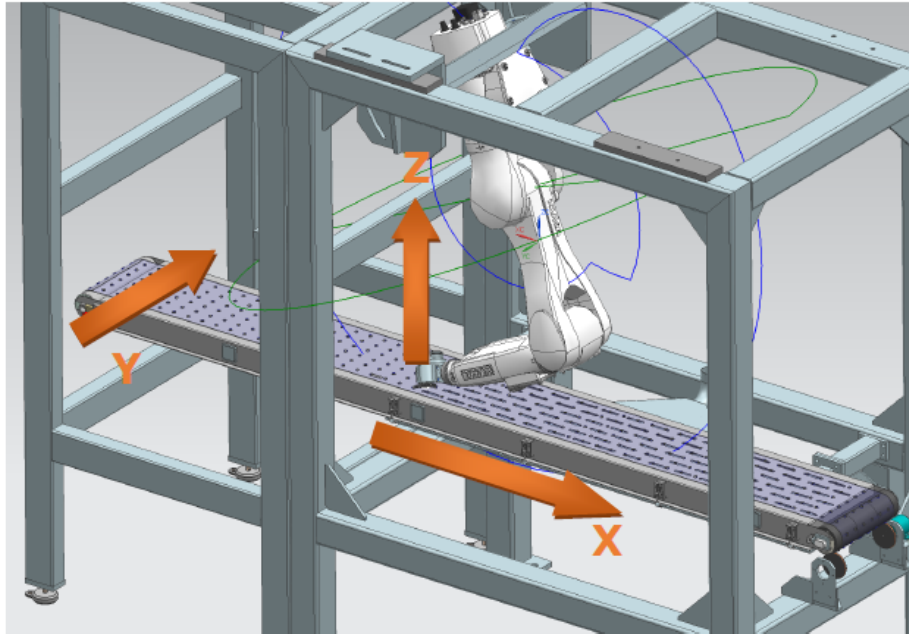
**Bank**  
Danske Bank  
Pb 1170, Sentrum  
N-0107 Oslo  
Norway

**Account No**  
NOK 8150 19 99245  
EUR 8150 20 06193  
USD 8150 20 06185  
**Enterprise/VAT**  
NO 852 671 432 MVA

**IBAN**  
NO9281501999245  
NO9481502006193  
NO1981502006185

### Side 1/2

**SWIFT**  
DABANO22  
DABANO22  
DABANO22

**P10.1**

**Address**  
Tronrud Engineering AS  
Flyplassveien 21  
N-3514 Hønefoss  
Norway

**Contact**  
Phone: +47 32 16 18 20  
Mail: [mail@tronrud.no](mailto:mail@tronrud.no)  
Web: [www.tronrud.no](http://www.tronrud.no)

**Bank**  
Danske Bank  
Pb 1170, Sentrum  
N-0107 Oslo  
Norway

**Account No**  
NOK 8150 19 99245  
EUR 8150 20 06193  
USD 8150 20 06185  
**Enterprise/VAT**  
NO 852 671 432 MVA

**IBAN**  
NO9281501999245  
NO9481502006193  
NO1981502006185

**Side 2/2**

**SWIFT**  
DABANO22  
DABANO22  
DABANO22

## Ve-Gen.2 Revisjonshistorie

I kravtabellen Kd.1 ligger det et revisjonsnummer som viser til om kravet har endret. I revisjonstabellene under Ve-Gen-Fig.1a og Ve-Gen-Fig.1b kan man se hva som er endret og hvilket dato endringene har blitt utført.

KR-ID	Endringer					Revisjon	Endret	Godkjent
	Kravbeskrivelse	Test	Prioritet	Epics	Kommentar			
KR-01						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-02						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-03						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-04						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-05						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-10						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-13						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-14						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-14/01						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-14/02						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-15						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-15/01						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-15/02						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-15/03						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-15/04						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-16						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-16/01						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-17						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-18						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-19						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-20						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-21						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-22						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-23						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018
KR-24						Rev.01	06.03.2018	12.03.2018

(a) Revisjon nr. 1

KR-ID	Endringer					Revisjon	Endret	Godkjent
	Kravbeskrivelse	Test	Prioritet	Epics	Kommentar			
KR-01						Rev.02	20.05.2018	X
KR-02						Rev.02	20.05.2018	X
KR-03						Rev.02	20.05.2018	X
KR-04						Rev.02	20.05.2018	X
KR-05						Rev.02	20.05.2018	X
KR-06						Rev.02	20.05.2018	X
KR-07						Rev.02	20.05.2018	X
KR-08						Rev.02	20.05.2018	X
KR-09						Rev.02	20.05.2018	X
KR-10						Rev.02	20.05.2018	X
KR-11						Rev.02	20.05.2018	X
KR-12						Rev.02	20.05.2018	X
KR-17						Rev.02	20.05.2018	X
KR-18						Rev.02	20.05.2018	X
KR-19						Rev.02	20.05.2018	X
KR-20						Rev.02	20.05.2018	X
KR-21						Rev.02	20.05.2018	X
KR-22						Rev.02	20.05.2018	X
KR-23						Rev.02	20.05.2018	X
KR-24						Rev.02	20.05.2018	X
KR-25						Rev.02	20.05.2018	X
KR-26						Rev.02	20.05.2018	X
KR-27						Rev.02	20.05.2018	X
KR-28						Rev.02	20.05.2018	X

(b) Revisjon nr. 2

Ve-Gen-Fig.1: Revisjonstabeller til kravene.

## Ve-Gen.3 Tester

### Ve-Gen.3.1 VTI-01.KR-01

VTI-01.KR-01		
Dato utført:	19.05.2018	Ansvarlig: SLA
		Godkjent av: PAS
Krav	Bevegelsesbanen til systemet langs Y-aksen skal være minimum 300 mm.	
Verifikasjonsmetode	Inspeksjon	
Utføres på	Teoretisk prototype	
Hva skal verifiseres	Aksesystemets evne til bevegelse langs Y-aksen	
Status	Utført	

Ve-Gen-Fig.2: Verifikasjonskort for KR-01

#### Ve-Gen.3.1.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon

Knivenheten skal kunne beveges minimum 300mm langs Y-aksen.

#### Ve-Gen.3.1.2 Utstyr

- Datamaskin med SolidWorks installert.

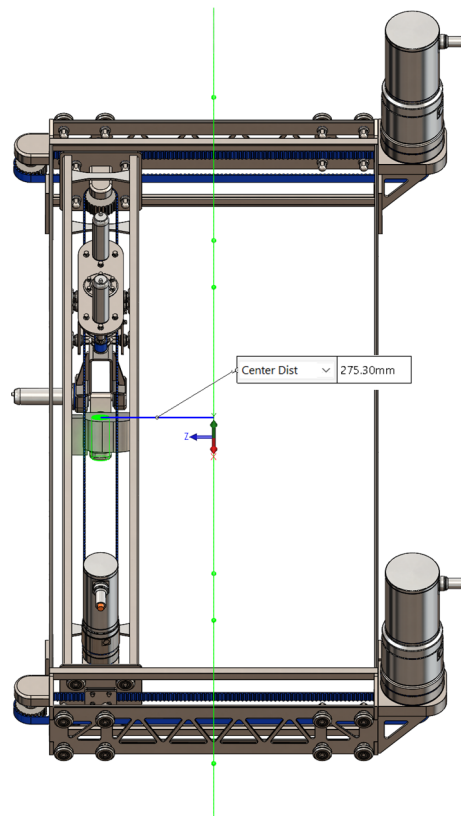
#### Ve-Gen.3.1.3 Prosedyre

- Initialiser SolidWorks.
- Åpne modellen.
- Plasser aksene slik at systemet er posisjonert i maksutstrekk langs Y-aksen.
- Velg *evaluate*, og deretter bruk verktøyet *measure*.
- Trykk på overflaten til kniven og et punkt langs senterlinjen til roboten.
- Les av verdien for y-aksen. Dette er halve bevegelsesområdet.

#### Ve-Gen.3.1.4 Resultat

Bevegelsesbanen til systemet, som vist i Ve-Gen-Fig.3, langs Y-aksen er:

$$2 \cdot 275,30\text{mm} = 550,60\text{mm} \quad (\text{Ve-Gen-Mat.1})$$



**Ve-Gen-Fig.3:** Bevegelsesbanen til aksesystemet langs Y-aksen

#### Ve-Gen.3.1.5 Avvik

Ingen.

#### Ve-Gen.3.1.6 Konklusjon

Godkjent. Årsaken til at Y-akse-bevegelsen er på mer enn 300mm, er fordi bevegelsesområdet til knivens endepunkt skal være på  $> 300\text{mm}$  med vilkårlig pitch- og yaw-vinkel. (Dette basert på at vinkling av pitch- og yaw-aksen påvirker vandring i Y-aksen.)

**Ve-Gen.3.2 VTI-01.KR-02**

VTI-01.KR-02		
<b>Dato utført:</b>	<b>19.05.2018</b>	<b>Ansvarlig:</b> <i>SLA</i>
		<b>Godkjent av:</b> <i>PAS</i>
<b>Krav</b>	Bevegelsesbanen til systemet langs Z-aksen skal være minimum 90 mm.	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Teoretisk prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	Aksesystemets evne til bevegelse langs Z-aksen	
<b>Status</b>	Utført	

Ve-Gen-Fig.4: Verifikasjonskort for KR-02

**Ve-Gen.3.2.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Knivenheten skal kunne bevegges minimum 90mm langs Z-aksen.

**Ve-Gen.3.2.2 Utstyr**

- Datamaskin med SolidWorks installert.

**Ve-Gen.3.2.3 Prosedyre**

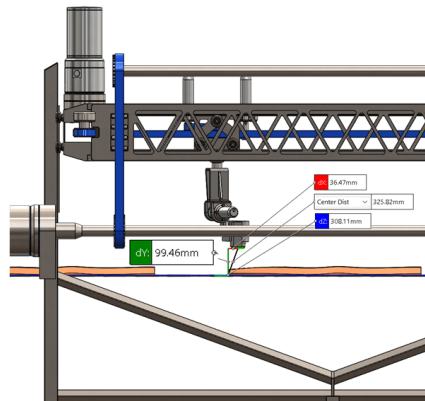
- Initialiser SolidWorks.
- Åpne SolidWorks-modellen.
- Plasser kniven 90mm over båndet.
- Beveg kniven nedover i retning av Z-aksen.
- Trykk på funksjonen *measure* og mål bevegelsen langs Z-aksen.



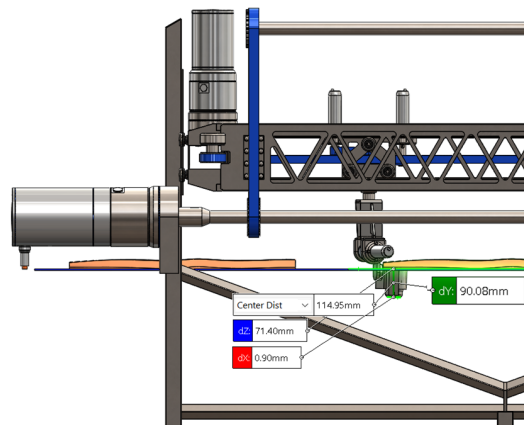
### Ve-Gen.3.2.4 Resultat

Bevegelseslengden til systemet, som vist i Ve-Gen-Fig.5 og Ve-Gen-Fig.6, langs Z-aksen er:

$$99,46\text{mm} + 90,06\text{mm} = 189,52\text{mm} \quad (\text{Ve-Gen-Mat.2})$$



**Ve-Gen-Fig.5:** Øvre posisjon, Z-akse. dY angir her vandring i Z-akse.



**Ve-Gen-Fig.6:** Nedre posisjon, Z-akse. dY angir her vandring i Z-akse.

### Ve-Gen.3.2.5 Avvik

Ingen.

**Ve-Gen.3.2.6 Konklusjon**

Godkjent. Årsaken til at Z-akse-bevegelsen er på mer enn 90mm, er fordi bevegelsesområdet til knivens endepunkt skal være på  $> 90\text{mm}$  med vilkårlig pitch-vinkel. (Dette basert på at vinkling av pitch-aksen påvirker vandring i Z-aksen.)

**Ve-Gen.3.3 VTI-01.KR-03**

VTI-01.KR-03		
<b>Dato utført:</b>	<b>19.05.2018</b>	<b>Ansvarlig:</b> <i>SLA</i>
		<b>Godkjent av:</b> <i>PAS</i>
<b>Krav</b>	Knivenheten til systemet skal ha bevegelsesområde $\pm 45^\circ$ om X-aksen	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Teoretisk prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	Aksesystemets evne til bevegelse om X-aksen	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.7:** Verifikasjonskort for KR-03**Ve-Gen.3.3.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Knivenheten skal kunne bevegges minimum  $\pm 45^\circ$  om X-aksen.

**Ve-Gen.3.3.2 Utstyr**

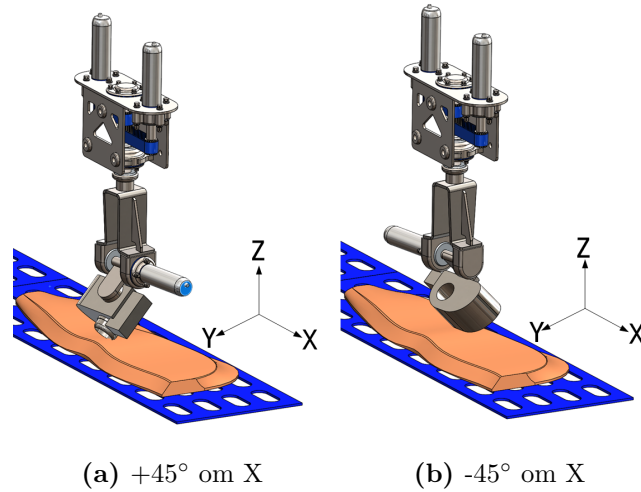
- Datamaskin med SolidWorks installert.

subsubsectionProsedyre

- Initialiser SolidWorks.
- Åpne SolidWorks-modellen.
- Roter kniven  $+45^\circ$  om X-aksen.
- Roter kniven  $-45^\circ$  om X-aksen.

**Ve-Gen.3.3.3 Resultat**

Knivenheten kan roteres  $\pm 45^\circ$  om X-aksen, som vist i Ve-Gen-Fig.8.



**Ve-Gen-Fig.8:** Knivenhetens rotasjon om X-aksen

**Ve-Gen.3.3.4 Avvik**

Ingen.

**Ve-Gen.3.3.5 Konklusjon**

Godkjent.

**Ve-Gen.3.4 VTI-01.KR-04**

VTI-01.KR-04		
<b>Dato utført:</b>	<b>19.05.2018</b>	<b>Ansvarlig:</b> <i>SLA</i>
		<b>Godkjent av:</b> <i>PAS</i>
<b>Krav</b>	Knivenheten til systemet skal ha bevegelsesområde $\pm 45^\circ$ om Y-aksen	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Teoretisk prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	Aksesystemets evne til bevegelse om Y-aksen	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.9:** Verifikasjonskort for KR-04**Ve-Gen.3.4.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Knivenheten skal kunne beveges  $\pm 45^\circ$  om Y-aksen.

**Ve-Gen.3.4.2 Utstyr**

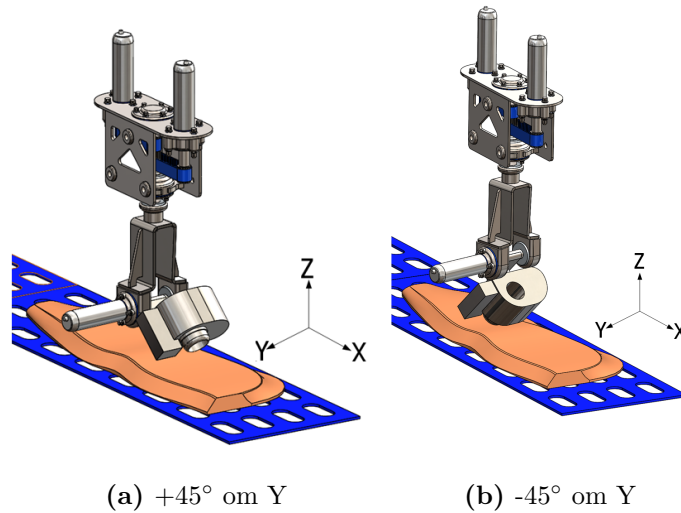
- Datamasin med SolidWorks installert.

**Ve-Gen.3.4.3 Prosedyre**

- Initialiser SolidWorks.
- Åpne SolidWorks-modellen.
- Roter kniven  $+45^\circ$  om Y-aksen.
- Roter kniven  $-45^\circ$  om Y-aksen.

#### Ve-Gen.3.4.4 Resultat

Knivenheten kan roteres  $\pm 45^\circ$  om Y-aksen, som vist i Ve-Gen-Fig.10.



Ve-Gen-Fig.10: Knivenhetens rotasjon om Y-aksen

#### Ve-Gen.3.4.5 Avvik

Ingen.

#### Ve-Gen.3.4.6 Konklusjon

Godkjent.

**Ve-Gen.3.5 VPT-01.KR-05**

VPT-01.KR-05					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne fjerne melaninflekker på laksefileter der flekkene har et totalareal opptil 12000mm <sup>2</sup>				
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Praktisk test				
<b>Testtype</b>	Aksepteringstest				
<b>Hva skal testes</b>	Prototype				
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	Aksesystemets evne til å fjerne melaninflekker				
<b>Status</b>	Ikke utført				

Ve-Gen-Fig.11: Verifikasjonskort for KR-05

**Ve-Gen.3.5.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Knivenheten skal fjerne flekker på laksefileter med et totalareal opptil 12000 mm<sup>2</sup>

**Ve-Gen.3.5.2 Testutstyr**

- Prototype på aksesystem

**Ve-Gen.3.5.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.5.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.5.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.5.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.6 VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11

VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11		
Dato utført:	20.05.2018	Ansvarlig: EH Test godkjent av: ØJCA
Krav	<p>KR-06: Systemet skal kunne fjerne tre melaninflekker per laksefilet.</p> <p>KR-07: Systemet skal kunne fjerne melaninflekker som er vilkårlig plassert på laksefiletene.</p> <p>KR-08: Systemet skal kunne prosessere én laksefilet per sekund.</p> <p>KR-09: Systemet skal kunne prosessere laksefileter som beveger seg med en hastighet på minst 1000mm/s langs X-aksen.</p> <p>KR-10: Styresystemet må kunne generere kinematikk for manipulatorens slik at endestykket følger planlagt bane.</p> <p>KR-11: Med input fra deteksjonssystemet skal knivenheten på systemet bevege seg i en bane mellom inputkoordinatene.</p>	
Verifikasjonsmetode	Teoretisk test	
Testtype	Aksepteringstest	
Hva skal testes	Teoretisk prototype	
Hvilken funksjon skal testes	Rekkevidden på endestykket til systemet og styresystemet	
Status	Utført	

Ve-Gen-Fig.12: Verifikasjonskort for KR-06, KR-07, KR-08, KR-09, KR-10 og KR-11

## Ve-Gen.3.6.1 Akseptkriterier for ”godkjent” test

- Den teoretiske prototypen skal berøre tre gitte koordinater i XYZ-planet innenfor et volum på  $300 \text{ mm} \times 90 \text{ mm} \times$  vilkårlig x-lengde. (Basert på at det ikke foreligger noen krav om bevegelsesområde i X-aksen.)
- Den teoretiske prototypen skal kunne prosessere én laksefilet per sekund, der hastigheten på fisken skal være 1000mm/s langs X-aksen.
- Styresystemet skal generere kinematikk for manipulatorens, slik at endestykket av manipulatorens følger planlagt bane.
- Knivenheten skal bevege seg i en bane gjennom inputkoordinatene.



### Ve-Gen.3.6.2 Beskrivelse av test

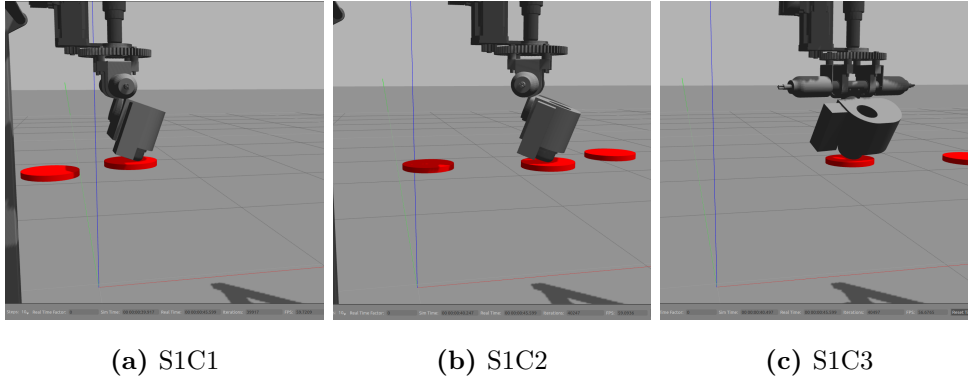
Simuleringsmiljøet brukt i testen består av en modell av RoboTrim samt en flekkgenerator som genererer tre tilfeldige flekker innenfor et område 700mm x 300mm x 50mm, jf. **KR-06** og **KR-07**. Dette er satt som området for den tilfeldige genereringen av flekker i *rt\_world/src/ObjectGenerator.cpp*. Det simuleres ved at det kommer én fisk langs rullebåndet med en frekvens på  $3Hz$ , som tilsvarer en fisk per 0.33s omtrent. Dette gir et scenario som er innenfor rammene satt av **KR-08**. Fiske-markørene vil bevege seg med en konstant hastighet på  $1m/s$  langs rullebåndet, som tilfredstiller **KR-09**. Akseptkriterie for **KR-11** samt de øvrig nevnte kravene er at det visuelt skal verifiseres av simulering at styresystemet styrer kniven til å berøre flekkene på tre fisker.

### Ve-Gen.3.6.3 Testutstyr

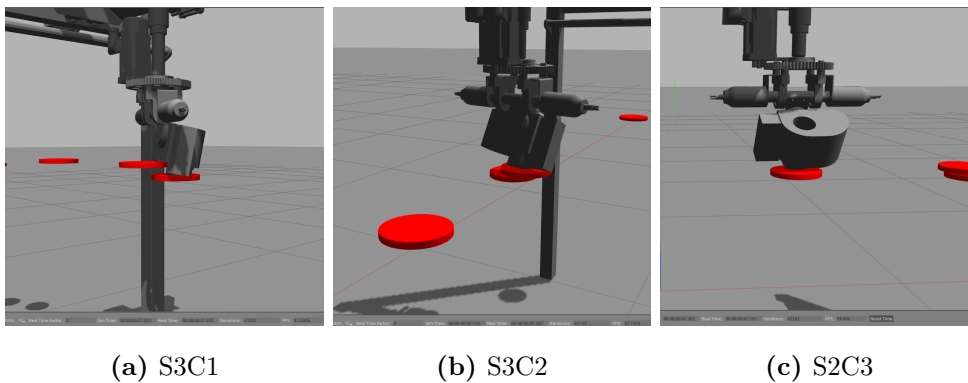
- Datamaskin med programvaren ROS installert.
- Simuleringsmiljø Gazebo
- Styreprogram for RoboTrim
- URDF-modell av RoboTrim

### Ve-Gen.3.6.4 Testprosedyre

1. Åpne Gazebo / Initialiser ROS
2. Initialiser nødvendige noder
  - (a) *rt\_controller*
  - (b) *rt\_planner*
  - (c) *rt\_kinematics*
  - (d) *fish\_generator*
3. Start flekkgenerator
4. Verifiser visuelt at endestykket berører flekkene ihht. akseptkriterier.

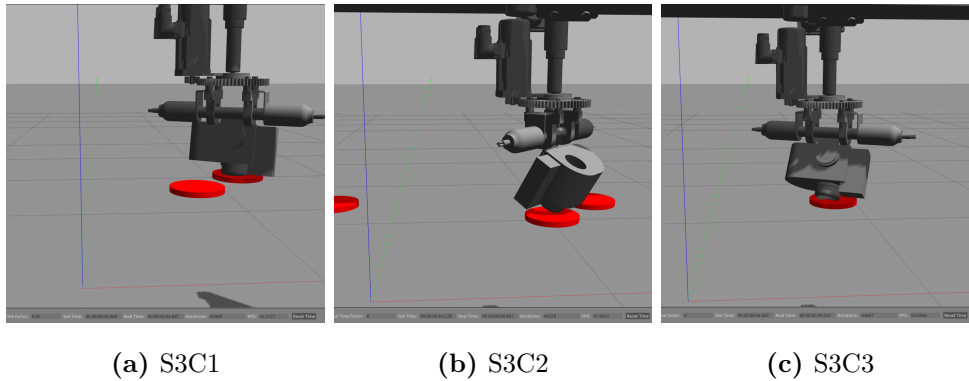
**Ve-Gen.3.6.5 Resultater****Sekvens 1:**

**Ve-Gen-Fig.13:** Første testsekvens for VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11

**Sekvens 2:**

**Ve-Gen-Fig.14:** Andre testsekvens for VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11

**Sekvens 3:**



**Ve-Gen-Fig.15:** Tredje testsekvens for VTT-01.KR-06.KR-07.KR-08.KR-09.KR-10.KR-11

#### **Ve-Gen.3.6.6 Avvik**

Ingen avvik.

#### **Ve-Gen.3.6.7 Konklusjon**

Med utgangspunkt i den visuelle verifikasjonen gjennomført som vist av Ve-Gen-Fig.13, Ve-Gen-Fig.14 og Ve-Gen-Fig.15 er testen godkjent.

**Ve-Gen.3.7 VA-01.KR-12**

VA-01.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	24.04.2018	<b>Ansvarlig:</b> TSV
<b>Godkjent av:</b>	ØJCA	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At motoren som er valgt for pitch har kapasitet til å utføre ønsket bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.16:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.7.1 Akseptkriterie**

Motoren må ha et maksimalt dreiemoment på 3,95 Nm ved en hastighet på 171,43 rpm. Dette er basert på dynamikk beskrevet i seksjon Ve-Tek.6. IP-graden til motoren og eventuell girutveksling må være IP69K- eller IP67-washdown-godkjent. Forholdet mellom tregghetsmomentet til lasten og tregghetsmomentet til motorens rotor (inertia-matching) skal etterstrebtes å være under 50.

**Ve-Gen.3.7.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Valg av motor for pitch-aksen er Wittenstein Cyber d40, med en innebygget girutveksling på 20:1. Denne motoren har et maksimalt dreiemoment på 8 Nm og permanently permitted speed på 250 rpm, noe som tilfredsstillers akseptkriteriet [45]. IP-graden til motoren (med gir) er på IP69K. Forholdet mellom tregghetsmomentet til lasten som motoren skal flytte og motorens rotor er: 19.23 som beregnet i seksjon Ve-Tek.6. Ytterligere dokumentasjon for motorvalg er beskrevet i seksjon Ve-Tek.6.

**Ve-Gen.3.7.3 Konklusjon**

Motoren skal i følge beskrevet dynamikk tilfredsstillers krav til dreiemoment, hastighet, inertia-matching og IP-grad.

**Ve-Gen.3.8 VA-02.KR-12**

VA-02.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	24.04.2018	<b>Ansvarlig:</b> TSV
<b>Godkjent av:</b>	ØJCA	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At motorene som er valgt for yaw har kapasitet til å utføre ønsket bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

Ve-Gen-Fig.17: Verifikasjonskort for KR-12

**Ve-Gen.3.8.1 Akseptkriterie**

Motorene må ha et maksimalt dreiemoment på 13,68 Nm ved en hastighet på 171,43 rpm. Dette er basert på dynamikk beskrevet i seksjon Ve-Tek.6. IP-graden til motorene og eventuelle girutvekslinger må være IP69K- eller IP67-washdown-godkjent. Forholdet mellom treghetsmomentet til lasten og treghetsmomentet til motorens rotor (inertia-matching) skal etterstrebes å være under 50.

**Ve-Gen.3.8.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Valg av motor for yaw-aksen er to stk Wittenstein Cyber d40, med en innebygget girutveksling på 20:1. Motorene har tilsammen et maksimalt dreiemoment på 16 Nm og permanently permitted speed på 250 rpm, noe som tilfredsstillt akseptkriteriet [45]. IP-graden til motorene (med gir) er på IP69K. Forholdet mellom treghetsmomentet til lasten som motoren skal flytte og motorens rotor er: 30 som beregnet i seksjon Ve-Tek.6. Ytterligere dokumentasjon for motorvalg er beskrevet i seksjon Ve-Tek.6.

**Ve-Gen.3.8.3 Konklusjon**

Motorene skal i følge beskrevet dynamikk tilfredsstillt krav til dreiemoment, hastighet, inertia-matching og IP-grad.

**Ve-Gen.3.9 VA-03.KR-12**

VA-03.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	<b>08.05.2018</b>	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Ansvarlig:</b>	TSV	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At motoren som er valgt for X har kapasitet til å utføre ønsket bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.18:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.9.1 Akseptkriterie**

Motoren må ha et maksimalt dreiemoment på 3,04 Nm ved en hastighet på 3957,25 rpm. Dette er basert på dynamikk beskrevet i seksjon Ve-Tek.6. IP-graden til motoren og eventuell girutveksling må være IP69K- eller IP67-washdown-godkjent. Forholdet mellom treghetsmomentet til lasten og treghetsmomentet til motorens rotor (inertia-matching) skal etterstrebes å være under 50.

**Ve-Gen.3.9.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Valg av motor for X-aksen er en motor av typen Kollmorgen AKMH32E-CNWNFGFXK, med en girutveksling på 5:1 av typen AQT-060-005-0-MMR-725. Motoren har et maksimalt dreiemoment på 8,24 Nm og har tilstrekkelig rotasjonshastighet ved nominelt dreiemoment [48]. IP-graden til motorene (med gir) er på IP69K. Forholdet mellom treghetsmomentet til lasten som motoren skal flytte og motorens rotor er: 19,5 som beregnet i seksjon Ve-Tek.6. Ytterligere dokumentasjon for motorvalg er beskrevet i seksjon Ve-Tek.6.

**Ve-Gen.3.9.3 Konklusjon**

Motorene skal i følge beskrevet dynamikk tilfredsstille krav til dreiemoment, hastighet, inertia-matching og IP-grad.

**Ve-Gen.3.10 VA-04.KR-12**

VA-04.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	<b>11.05.2018</b>	<b>Ansvarlig:</b> TSV
<b>Godkjent av:</b>	ØJCA	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At motorene som er valgt for Y har kapasitet til å utføre ønsket bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.19:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.10.1 Akseptkriterie**

Motorene må ha et maksimalt dreiemoment på 22,64 Nm ved en hastighet på 4092,86 rpm. Dette er basert på dynamikk beskrevet i seksjon Ve-Tek.6. IP-graden til motoren og eventuell girutveksling må være IP69K eller IP67-washdown-godkjent. Forholdet mellom tregghetsmomentet til lasten og tregghetsmomentet til motorens rotor (inertia-matching) skal etterstrebtes å være under 50.

**Ve-Gen.3.10.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Valg av motor for Y-aksen er to motorer av typen Kollmorgen AKMH52H-CNWNGFXK, med girutvekslinger på 5:1 av typen AQT-120-005-0-MMR-727. Motorene har et samlet maksimalt dreiemoment på 58,2 Nm og har tilstrekkelig rotasjonshastighet ved nominelt dreiemoment [48]. IP-graden til motorene (med gir) er på IP69K. Forholdet mellom tregghetsmomentet til lasten som motoren skal flytte og motorens rotor er: 3,3 som beregnet i seksjon Ve-Tek.6. Ytterligere dokumentasjon for motorvalg er beskrevet i seksjon Ve-Tek.6.

**Ve-Gen.3.10.3 Konklusjon**

Motorene skal i følge beskrevet dynamikk tilfredsstille krav til dreiemoment, hastighet, inertia-matching og IP-grad.

**Ve-Gen.3.11 VA-05.KR-12**

VA-05.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	15.05.2018	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Ansvarlig:</b>	TSV	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At motoren som er valgt for Z har kapasitet til å utføre ønsket bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.20:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.11.1 Akseptkriterie**

Motorene må ha et maksimalt dreiemoment på 159,13 Nm ved en hastighet på 1637,02 rpm. Dette er basert på dynamikk beskrevet i seksjon Ve-Tek.6. IP-graden til motoren og eventuell girutveksling må være IP69K eller IP67-washdown-godkjent. Forholdet mellom tregghetsmomentet til lasten og tregghetsmomentet til motorens rotor (inertia-matching) skal etterstrebtes å være under 50.

**Ve-Gen.3.11.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Valg av motor for Z-aksen er fire motorer av typen Kollmorgen AKMH64K-CNW2GFXX, med girutvekslinger på 5:1 av typen AQT-160-005-0-MMR-728. Motorene har et samlet maksimalt dreiemoment på 300,4 Nm og har tilstrekkelig rotasjonshastighet ved nominelt dreiemoment [48]. IP-graden til motorene (med gir) er på IP69K. Forholdet mellom tregghetsmomentet til lasten som motoren skal flytte og motorens rotor er: 2,3 som beregnet i Ve-Tek.6. Ytterligere dokumentasjon for motorvalg er beskrevet i seksjon Ve-Tek.6.

**Ve-Gen.3.11.3 Konklusjon**

Motorene skal i følge beskrevet dynamikk tilfredsstillende krav til dreiemoment, hastighet, inertia-matching og IP-grad.



**Ve-Gen.3.12 VA-06.KR-12**

VA-06.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	24.04.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
<b>Godkjent av:</b>	ØJCA	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At materialene valgt for pitch tåler påkjenningen av aksesystemets bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.21:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.12.1 Akseptkriterie**

Materialene for pitch-aksen skal ha like gode eller bedre korrosive egenskaper enn AISI 316 rustfritt stål. Påkjenningene i systemet skal aldri overgå en tredjedel av flytegrensen. Det skal ikke være mer enn 1mm slark for dette delsystemet.

**Ve-Gen.3.12.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Maksimal Von Mises-spenning er 58,96 MPa mellom overføringsarmen og akselen, og 39,07 MPa som er lokalisert i "Hexagon Socket 80 M"-boltene som fester Wittenstein Cyber d40-motoren til aksesystemet. Forflytningen som et resultat av elastisk deformasjon er 0,26 mm. Dette er tilfredstillende i henhold til akseptkriteriet. Ytterligere dokumentasjon for analysen er beskrevet i kapittel Ve-Tek.2.3.

**Ve-Gen.3.12.3 Konklusjon**

Strukturen er i følge styrkeberegning tilfredstillende både innenfor akseptkriteriet hva angår forflytning og spenning.

**Ve-Gen.3.13 VA-07.KR-12**

VA-07.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	<b>09.05.2018</b>	<b>Ansvarlig: PAS</b>
<b>Godkjent av:</b>	<b>ØJCA</b>	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At materialene valgt for yaw tåler påkjenningen av aksesystemets bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.22:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.13.1 Akseptkriterie**

Materialene for yaw-aksen skal ha like gode eller bedre korrosive egenskaper enn AISI 316 rustfritt stål. Påkjenningene i systemet skal aldri overgå en tredjedel av flytegrensen. Materialet som skal brukes skal heller ikke gi mer enn 2mm slark.

**Ve-Gen.3.13.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Maksimal Von Mises-spenning er 60 MPa og 65 MPa og er lokalisert på undersiden av braketten og på den lengste av akslene i løperen. Sveisen mellom braketten til akselen har en maksimal spenning på 40,8 MPa. Forflytningen som et resultat av elastisk deformasjon er 0,38mm. Ytterligere dokumentasjon er beskrevet i kapittel Ve-Tek.2.4 Tek-Ma.5.2.

**Ve-Gen.3.13.3 Konklusjon**

Strukturen er i følge styrkeberegning tilfredstillende både innenfor akseptkriteriet hva angår forflytning og spenning.

**Ve-Gen.3.14 VA-08.KR-12**

VA-08.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	<b>10.05.2018</b>	<b>Ansvarlig:</b> <i>PAS</i> <b>Godkjent av:</b> <i>ØJCA</i>
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At materialene valgt for X tåler påkjenningen av aksesystemets bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.23:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.14.1 Akseptkriterie**

Materialene for skinnene som stiver X-bevegelsen skal ha like gode eller bedre korrosive egenskaper enn AISI 316 rustfritt stål. Påkjenningene i systemet skal aldri overgå en tredjedel av flytegrensen. Materialet som skal brukes skal heller ikke gi mer enn 3mm slark.

**Ve-Gen.3.14.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Maksimal Von Mises-spenning er 46,17 MPa og er lokalisert på de øverste støttene for reimdriften. Forflytningen som et resultat av elastisk deformasjon er 1,38mm. Ytterligere dokumentasjon er beskrevet i kapittel Ve-Tek.2.6.

**Ve-Gen.3.14.3 Konklusjon**

Strukturen er i følge styrkeberegning tilfredstillende både innenfor akseptkriteriet hva angår forflytning og spenning.

**Ve-Gen.3.15 VA-09.KR-12**

VA-09.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	<b>13.05.2018</b>	<b>Ansvarlig: PAS</b>
<b>Godkjent av:</b>	<b>ØJCA</b>	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At materialene valgt for Y tåler påkjenningen av akseystemets bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.24:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.15.1 Akseptkriterie**

Y-akse-materialene for skinnene som stiver Y-bevegelsen skal ha like gode eller bedre korrosive egenskaper enn AISI 316 rustfritt stål. Påkjenningene i systemet skal aldri overgå en tredjedel av flytegrensen. Materialet som skal brukes skal heller ikke gi mer enn 2mm slark.

**Ve-Gen.3.15.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Maksimal Von Mises-spenning er 33 MPa og er lokalisert på avstivningsplatene. Forflytningen som et resultat av elastisk deformasjon er 0,16 mm. Ytterligere dokumentasjon er beskrevet i kapittel Ve-Tek.2.6.

**Ve-Gen.3.15.3 Konklusjon**

Strukturen er i følge styrkeberegning tilfredstillende både innenfor akseptkriteriet hva angår forflytning og spenning.

**Ve-Gen.3.16 VA-10.KR-12**

VA-10.KR-12		
<b>Dato utført:</b>	16.05.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
<b>Godkjent av:</b>	ØJCA	
<b>Krav</b>	Systemet skal kunne operere med en nyttelast på 2 kg	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At materialene valgt for Z tåler påkjenningen av aksesystemets bevegelse	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.25:** Verifikasjonskort for KR-12**Ve-Gen.3.16.1 Akseptkriterie**

Z-akse-materialene for rammeverket som stiver av Z-bevegelsen skal ha like gode eller bedre korrosive egenskaper enn AISI 316 rustfritt stål. Påkjenningene i systemet skal aldri overgå en tredjedel av flytegrensen. Materialet som skal brukes skal heller ikke gi mer enn 5mm slark.

**Ve-Gen.3.16.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Maksimal Von Mises-spenning er 70 MPa og er lokalisert på de øverste støttene for akslene til reimdriften. Forflytningen som et resultat av elastisk deformasjon er 2,47 mm. Ytterligere dokumentasjon er beskrevet i kapittel Ve-Tek.2.6.

**Ve-Gen.3.16.3 Konklusjon**

Strukturen er i følge styrkeberegning tilfredstillende både innenfor akseptkriteriet hva angår forflytning og spenning.

**Ve-Gen.3.17 VTT-01.KR-13**

VTT-01.KR-13					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Systemet skal bare kunne startes ved en valgt aktivering av en betjeningsinnretning				
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Teoretisk test				
<b>Testtype</b>	Enhetstest				
<b>Hva skal testes</b>	Styresystemet				
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	Testen skal vise at systemet kun skal kunne aktiveres ved hjelp av en start-funksjon som aktiveres av en fysisk betjeningsinnretning.				
<b>Status</b>	Ikke utført				

Ve-Gen-Fig.26: Verifikasjonskort for KR-13

**Ve-Gen.3.17.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Den eneste aktiveringen av systemet skal skje ved hjelp av betjeningsinnretningen.

**Ve-Gen.3.17.2 Testutstyr**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.17.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.17.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.17.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.17.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.18 VTT-01.KR-14.KR-14/02**

VTT-01.KR-14/KR-14.02					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	<b>KR-14:</b> Systemet skal ha en betjeningsinnretning som gjør det mulig å stanse systemet. <b>KR-14.02:</b> Når stoppfunksjonen aktiveres skal aksesystemet plasseres i en forhåndsdefinert posisjon				
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Teoretisk test				
<b>Testtype</b>	Aksepteringstest				
<b>Hva skal testes</b>	Betjeningsinnretningen som gjør det mulig å stanse systemet				
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	At styresystemet innehar en stoppfunksjon som skal kunne aktiveres av en fysisk betjeningsinnretning, og at aksesystemet plasseres i en forhåndsdefinert posisjon når stoppfunksjonen er kalt.				
<b>Status</b>	Ikke utført				

**Ve-Gen-Fig.27:** Verifikasjonskort for KR-14 og KR-14/02**Ve-Gen.3.18.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Systemet skal være utstyrt med en stoppinnretning. Når stoppinnretningen aktiveres og stoppfunksjonen kalles skal aksesystemet plasseres i en forhåndsdefinert hjemposisjon.

**Ve-Gen.3.18.2 Testutstyr**

- Datamaskin med ROS, MatLab og Simulink installert.

**Ve-Gen.3.18.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.18.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.18.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.18.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.



**Ve-Gen.3.19 VTT-01.KR-14/01**

VTT-01.KR-14/01					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Systemets stoppfunksjon skal overstyre startfunksjonen				
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Teoretisk test				
<b>Testtype</b>	Enhetstest				
<b>Hva skal testes</b>	Styresystemet				
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	Om stoppfunksjonen overstyres startfunksjonen				
<b>Status</b>	Ikke utført				

**Ve-Gen-Fig.28:** Verifikasjonskort for KR-14/01**Ve-Gen.3.19.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Når stoppfunksjonen er kalt, skal systemet plasseres i den forhåndsdefinerte hjemposisjonen før den kan startes igjen.

**Ve-Gen.3.19.2 Testutstyr**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.19.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.19.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.19.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.19.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.20 VPT-01.KR-14/03**

VPT-01.KR-14/03		
<b>Dato utført:</b>	xx.xx.2018	<b>Ansvarlig:</b> Initialer
		<b>Test godkjent av:</b> Initialer
<b>Krav</b>	Når stoppfunksjonen aktiveres skal energitilførselen til drivinnretningen til knivenheten brytes momentant	
<b>RT-ID</b>	RT-ID på arbeidsoppgave i Jira	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Praktisk test	
<b>Testtype</b>	Enhetstest	
<b>Hva skal testes</b>	Stoppfunksjonen	
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	Om energitilførselen til motoren som driver kniven brytes momentant	
<b>Status</b>	Ikke utført/utført & ikke godkjent/godkjent	

Ve-Gen-Fig.29: Verifikasjonskort for KR-14/03

**Ve-Gen.3.20.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Energitilførselen til motoren som driver knivenheten skal brytes momentant når stoppfunksjonen kalles.

**Ve-Gen.3.20.2 Testutstyr**

- Prototype på aksesystemet

**Ve-Gen.3.20.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.20.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.20.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.20.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.21 VPI-01.KR-15**

VPI-01.KR-15		
<b>Dato utført:</b>	<i>xx.xx.2018</i>	<b>Ansvarlig:</b> <i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Systemet skal utstyres med en nødstopinnretning	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	Om systemet er utstyrt med en nødstopinnretning	
<b>Status</b>	Ikke utført	

**Ve-Gen-Fig.30:** Verifikasjonskort for KR-15**Ve-Gen.3.21.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.21.2 Resultat**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.21.3 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.21.4 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.22 VPT-01.KR-15/01.KR-15/02

VPT-01.KR-15/01.KR-15/02					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
Krav	KR-15/01: Når nødstopinnretningen er aktivert, skal stoppfunksjonen opprettholdes ved at nødstopinnretningen forblir i sperret stilling inntil den blir frigjort. KR-15/02: Nødstopinnretningen skal bare kunne frigjøres ved en tilsiktet handling.				
Verifikasjonsmetode	Praktisk test				
Testtype	Enhetstest				
Hva skal testes	Nødstopinnretningens mekaniske funksjon				
Hvilken funksjon skal testes	Om nødstopinnretningen forblir i sperret stilling inntil den blir frigjort				
Status	Ikke utført				

Ve-Gen-Fig.31: Verifikasjonskort for KR-15/01 og KR-15/02

## Ve-Gen.3.22.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test

Nødstopinnretningen skal kun endre stilling ved tilsiktet handling.

## Ve-Gen.3.22.2 Testutstyr

- Den fysiske nødstopinnretningen som er tiltenkt å brukes på systemet.

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.22.3 Testprosedyre

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.22.4 Resultater

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.22.5 Avvik

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.22.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.23 VPT-01.KR-15/03**

VPT-01.KR-15.03					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Frigjøring av nødstoppsfunksjonen skal ikke føre til at systemet begynner å gå igjen				
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Praktsk test				
<b>Testtype</b>	Enhetstest				
<b>Hva skal testes</b>	Styresystemet				
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	Om frigjøring av nødstoppsfunksjonen fører til at systemet begynner å gå igjen				
<b>Status</b>	Ikke utført				

**Ve-Gen-Fig.32:** Verifikasjonskort for KR-15/03**Ve-Gen.3.23.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Når nødstopppinnretningen frigjøres, og dermed også nødstoppsfunksjonen, skal aksestystemet forbli i sperret stilling.

**Ve-Gen.3.23.2 Testutstyr**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.23.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.23.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.23.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.23.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.24 VPT-01.KR-15/04

VPT-01.KR-15/04		
Dato utført: xx.xx.2018	Ansvarlig: Initialer	Test godkjent av: Initialer
Krav	Energitilførselen til de aktuelle drivinnretningene skal stoppe momentant i det øyeblikket nødstopppinnretningen blir aktivert	
Verifikasjonsmetode	Praktisk test	
Testtype	Enhetstest	
Hva skal testes	Nødstoppp funksjonen	
Hvilken funksjon skal testes	Om energitilførselen til motorene brytes momentant når nødstopppinnretningen blir aktivert	
Status	Ikke utført	

Ve-Gen-Fig.33: Verifikasjonskort for KR-15/04

## Ve-Gen.3.24.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test

Energitilførselen til motorene skal stoppe momentant i øyeblikket nødstopppinnretningen aktiveres.

## Ve-Gen.3.24.2 Testutstyr

- Prototype på aksesystemet

## Ve-Gen.3.24.3 Testprosedyre

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.24.4 Resultater

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.24.5 Avvik

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.24.6 Konklusjon

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.25 VPI-01.KR-16**

VPI-01.KR-16		
<b>Dato utført:</b>	xx.xx.2018	<b>Ansvarlig:</b> <i>Initialer</i>
<b>Godkjent av:</b>	<i>Initialer</i>	
<b>Krav</b>	Systemet skal være utstyrt med bevegelig vern med forrigling	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At systemet er utstyrt med bevegelig vern med forrigling	
<b>Status</b>	Ikke utført	

Ve-Gen-Fig.34: Verifikasjonskort for KR-16

**Ve-Gen.3.25.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

At systemet er utstyrt med bevegelig vern med forrigling.

**Ve-Gen.3.25.2 Utstyr**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.25.3 Prosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.25.4 Resultat**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.25.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.25.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.



## Ve-Gen.3.26 VPT-01.KR-16/01.KR-16/02.KR-16/03

VPT-01.KR-16/01.KR.16/02.KR-16/03		
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig: Initialer
		Test godkjent av: Initialer
Krav	KR-16/01: Forriglingen skal konstrueres slik at den bare kan bli justert ved en tilsiktet handling KR-16/02: Forriglingen skal være forsynt med en koblingsmekanisme som hindrer at farlige maskinfunksjoner starter før den er lukket KR-16/03: Forriglingen skal være forsynt med en koblingsmekanisme som gir stopppordre når den ikke lenger er lukket	
Verifikasjonsmetode	Praktisk test	
Testtype	Enhetstest	
Hva skal testes	Aksesystemets forrigling	
Hvilken funksjon skal testes	Den mekaniske funksjonen til forriglingen. Forriglingens påvirkning på aksesystemets operasjon	
Status	Ikke utført	

Ve-Gen-Fig.35: Verifikasjonskort for KR-16/01, KR-16/02 og KR-16/03

## Ve-Gen.3.26.1 Akseptkriterie for "godkjent" test

Forriglingen skal låses i posisjonene den blir satt til, og skal kun endre posisjon ved en tilsiktet handling. Når forriglingen ikke er lukket skal aksesystemet ikke kunne operere.

## Ve-Gen.3.26.2 Testutstyr

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.26.3 Testprosedyre

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.26.4 Resultater

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

## Ve-Gen.3.26.5 Avvik

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.26.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.27 VPT-01.KR-17**

VPT-01.KR-17					
Dato utført:	xx.xx.2018	Ansvarlig:	<i>Initialer</i>	Test godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Kapslingsgraden til systemet må være IP69k eller IP67 washdown-godkjent				
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Praktisk test				
<b>Testtype</b>	Aksepteringstest				
<b>Hva skal testes</b>	Kapslingsgraden til systemet				
<b>Hvilken funksjon skal testes</b>	Utstyrets beskyttelse mot intreningen av vann og faste gjenstander				
<b>Status</b>	Ikke utført				

Ve-Gen-Fig.36: Verifikasjonskort for KR-17

**Ve-Gen.3.27.1 Akseptkriterie for ”godkjent” test**

Innkapslingsgraden til systemet må godkjennes til IP69K eller IP67 washdown-godkjent.

**Ve-Gen.3.27.2 Testutstyr**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.27.3 Testprosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.27.4 Resultater**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.27.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.27.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.28 VA-01.KR-18**

VA-01.KR-18	
<b>Dato utført:</b> 20.05.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Krav</b>	Matkontaktmaterialene brukt i systemet skal ikke avgir bly eller kadmium
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse
<b>Hva skal verifiseres</b>	At kontaktmaterialene brukt i systemet ikke avgir bly eller kadmium
<b>Status</b>	Utført

**Ve-Gen-Fig.37:** Verifikasjonskort for KR-18**Ve-Gen.3.28.1 Akseptkriterie**

Det skal dokumenteres at materialene brukt i aksesystemet ikke avgir bly eller kadmium.

**Ve-Gen.3.28.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Matkontaktmaterialer i aksesystemet er hovedsakelig det rustfrie stålet AISI 316 som fra tabell Tek-Ma-Tab.3 verken består av bly eller kadmium. Pakningene som tetter boltene og forhindrer oppsamlingspunkter består av stålet AISI 316, som er belagt med et elastomer som er godkjent for matkontakt av EHEDG [30]. Beltene brukt er laget av polyurethane som er FDA-godkjent [29]. Simmeringene er laget av polytetrafluoroethylene (PTFE) som også er FDA-godkjent.

**Ve-Gen.3.28.3 Konklusjon**

Godkjent. Materialene som er i kontakt med mat, avgir ikke bly eller kadmium.

**Ve-Gen.3.29 VPI-01.KR-19**

VPI-01.KR-19			
Dato utført:	xx.xx.2018	Godkjent av:	<i>Initialer</i>
<b>Krav</b>	Matkontaktmaterialene brukt i systemet skal ha en overflateruhet på maksimum 0,8 $\mu\text{m}$ (Ra)		
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon		
<b>Utføres på</b>	Prototype		
<b>Hva skal verifiseres</b>	Overflateruheten på deler som er i direkte kontakt med mat		
<b>Status</b>	Ikke utført		

**Ve-Gen-Fig.38:** Verifikasjonskort for KR-19**Ve-Gen.3.29.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Overflateruheten til materialene i systemet skal være på maksimum 0,8  $\mu\text{m}$  (Ra)

**Ve-Gen.3.29.2 Utstyr**

- Ruhetsmåler

**Ve-Gen.3.29.3 Prosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.29.4 Resultat**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.29.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.29.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.30 VPI-01.KR-20**

VPI-01.KR-20			
Dato utført:	xx.xx.2018	Godkjent av:	<i>Initialer</i>
Ansvarlig:	<i>Initialer</i>		
<b>Krav</b>	Deler brukt i systemet som ikke er i direkte kontakt med mat, skal ha en overflateruhet på maksimum 3,2 µm (Ra)		
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon		
<b>Utføres på</b>	Prototype		
<b>Hva skal verifiseres</b>	Overflateruheten på deler som ikke er i direkte kontakt med mat		
<b>Status</b>	Ikke utført		

**Ve-Gen-Fig.39:** Verifikasjonskort for KR-20**Ve-Gen.3.30.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Overflateruheten til materialene i systemet, som ikke er i direkte kontakt med mat, skal være på maksimum 3,2 µm (Ra)

**Ve-Gen.3.30.2 Utstyr**

- Ruhetsmåler

**Ve-Gen.3.30.3 Prosedyre**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.30.4 Resultat**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.30.5 Avvik**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.30.6 Konklusjon**

Fylles inn ved et senere tidspunkt.

**Ve-Gen.3.31 VTI-01.KR-21**

VTI-01.KR-21		
Dato utført:	20.05.2018	Ansvarlig: PAS
		Godkjent av: ØJCA
Krav	Systemet skal ha kanter med en radius på minimum 3mm	
Verifikasjonsmetode	Inspeksjon	
Utføres på	Teoretisk prototype	
Hva skal verifiseres	Om systemets kanter har en radius på minimum 3mm	
Status	Utført	

Ve-Gen-Fig.40: Verifikasjonskort for KR-21

**Ve-Gen.3.31.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Systemets kanter skal ha en radius på minimum 3mm.

**Ve-Gen.3.31.2 Utstyr**

- Datamaskin med SolidWorks installert.

**Ve-Gen.3.31.3 Prosedyre**

- Initialiser SolidWorks.
- Åpne modell.
- Velg ”evaluate” og velg deretter ”measure”.
- Velger kantene som skal inspiseres.

**Ve-Gen.3.31.4 Resultat**

Modellen er designet slik at *innvendige* kanter har en radius lik 3 mm eller mer. Intrikate former tillater ikke avrundinger i henhold til *KR-21*. EHEDG-manualen spesifiserer at skarpe innvendige kanter *skal* unngås, dette er fulgt.

**Ve-Gen.3.31.5 Avvik**

Utvendige kanter er ikke avrundet der dette ikke er hensiktsmessig.

**Ve-Gen.3.31.6 Konklusjon**

Ikke godkjent. Kravet burde vært formulert annerledes og spesifisert at innvendige kanter burde avrundes.



**Ve-Gen.3.32 VTI-01.KR-22**

VTI-01.KR-22		
<b>Dato utført:</b>	<b>20.05.2018</b>	<b>Ansvarlig:</b> <i>PAS</i>
		<b>Godkjent av:</b> <i>ØJCA</i>
<b>Krav</b>	Aksessystemets stillestående overflater skal ha en vinkel slik at væsker og organisk materiale dreneres ut av systemet	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Teoretisk prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At vinklene på systemets stillestående overflater er slik at organisk materiale dreneres ut av systemet	
<b>Status</b>	Utført	

Ve-Gen-Fig.41: Verifikasjonskort for KR-22

**Ve-Gen.3.32.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Overflatene til systemet må være vinklet slik at væsker og organiske materialer dreneres vekk fra systemet.

**Ve-Gen.3.32.2 Utstyr**

- Datamaskin med SolidWorks installert.

**Ve-Gen.3.32.3 Prosedyre**

- Initialiser SolidWorks.
- Åpne modell.
- Velg ”evaluate” og deretter ”measure”.
- Velg overflaten som skal evalueres og velg referanseoverflaten som den skal måles mot.
- Les av verdiene.

**Ve-Gen.3.32.4 Resultat**

Rammeverket montert til bakken har overflater som alle er vinklet vekk fra systemet, i henhold til EHEDG-manualen.

**Ve-Gen.3.32.5 Avvik**

Ingen avvik.

**Ve-Gen.3.32.6 Konklusjon**

Godkjent.

**Ve-Gen.3.33 VA-01.KR-23**

VA-01.KR-23	
<b>Dato utført:</b> 20.05.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Krav</b>	Kontaktoverflaten til bolter brukt i systemet skal tettes med et ikke-vannløselig stoff
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse
<b>Hva skal verifiseres</b>	Om stoffene i systemet, som er brukt for å tette kontaktoverflaten til bolter, er ikke-vannløselig
<b>Status</b>	Utført

Ve-Gen-Fig.42: Verifikasjonskort for KR-23

**Ve-Gen.3.33.1 Akseptkriterie**

Dersom bolter er brukt, skal kontaktoverflaten tettes med et ikke-vannløselig stoff.

**Ve-Gen.3.33.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Tettingen av bolter i systemet er gjort med EHEDG-godkjente pakninger [30] og sekskantede bolter, slik at dannelser av oppsamlingspunkter holdes til et minimum.

**Ve-Gen.3.33.3 Konklusjon**

Godkjent.

**Ve-Gen.3.34 VA-01.KR-24**

VA-01.KR-24	
<b>Dato utført:</b> 20.05.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Krav</b>	Materialene brukt i systemet skal ikke absorbere stoffer under operasjon
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse
<b>Hva skal verifiseres</b>	At materialene brukt i systemet ikke skal absorbere stoffer
<b>Status</b>	Utført

**Ve-Gen-Fig.43:** Verifikasjonskort for KR-24**Ve-Gen.3.34.1 Akseptkriterie**

Materialene brukt i systemet skal ikke absorbere stoffer.

**Ve-Gen.3.34.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Materialene i systemet er av AISI 316, polytetrafluoroethylene (belter) og elastomer (pakninger) som er godkjent bruk i kontakt med mat. Materialene er inerte for vask og operasjon.

**Ve-Gen.3.34.3 Konklusjon**

Godkjent.

**Ve-Gen.3.35 VA-01.KR-25**

VA-01.KR-25		
<b>Dato utført:</b>	20.05.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
		<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Krav</b>	Deler som skal smøres, skal smøres med smøremiddel i hht. USDA/NSF-H1 i matsonen	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse	
<b>Hva skal verifiseres</b>	Om delene som må smøres kan smøres med smøremiddel i hht. USDA/NSF-H1 i matsonen uten negativ påvirkning	
<b>Status</b>	Utført	

**Ve-Gen-Fig.44:** Verifikasjonskort for KR-25**Ve-Gen.3.35.1 Akseptkriterie**

Dersom deler skal smøres med smøremiddel, skal smøremiddelet være i hht. USDA/NSF-H1 i matsonen.

**Ve-Gen.3.35.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Aksesystemet er bygd slik at det ikke vil trenge smøring. Områder som kan være utsatt for behov for smøring er tettet med FDA-godkjente simmeringer.

**Ve-Gen.3.35.3 Konklusjon**

Godkjent.

**Ve-Gen.3.36 VA-01.KR-26**

VA-01.KR-26	
<b>Dato utført:</b> 20.05.2018	<b>Ansvarlig:</b> PAS
	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Krav</b>	Polymeriske materialer skal være i hht. EU-regulering 10/2011
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Analyse
<b>Hva skal verifiseres</b>	Om de polymeriske materialene brukt i aksesystemet er i hht. EU-regulering 10/2011
<b>Status</b>	Utført

Ve-Gen-Fig.45: Verifikasjonskort for KR-26

**Ve-Gen.3.36.1 Akseptkriterie**

Dersom polymeriske materialer brukes, skal disse være i hht. EU-regulering 10/2011.

**Ve-Gen.3.36.2 Matematisk modell/dokumentert begrunnelse**

Beltene og pakningene er laget av polymer, som begge er godkjente i henhold til EU-regulering 10/2011.

**Ve-Gen.3.36.3 Konklusjon**

Godkjent.

**Ve-Gen.3.37 VTI-01.KR-27**

VTI-01.KR-27		
<b>Dato utført:</b>	<b>20.05.2018</b>	<b>Godkjent av:</b> ØJCA
<b>Ansvarlig:</b>	PAS	
<b>Krav</b>	Overflater skal ha minimum 3 grader fallvinkel.	
<b>Verifikasjonsmetode</b>	Inspeksjon	
<b>Utføres på</b>	Teoretisk prototype	
<b>Hva skal verifiseres</b>	At overflater har en fallvinkel på minimum 3 grader	
<b>Status</b>	Utført	

Ve-Gen-Fig.46: Verifikasjonskort for KR-27

**Ve-Gen.3.37.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Overflatene skal ha minimum 3 grader fallvinkel.

**Ve-Gen.3.37.2 Utstyr**

- Datamaskin med SolidWorks installert.

**Ve-Gen.3.37.3 Prosedyre**

- Initialiser Solidworks
- Åpne modellen
- Visuelt analysere stillestående overflater og se om de er tiltet.
- Velg ”tools → evaluate” og deretter velg *measure*.
- Velg et plan vinkelen skal velges mot trykk på begge overflatene.
- Les av verdiene som kommer opp på skjermen.

**Ve-Gen.3.37.4 Resultat**

Rammeverket som er montert fast til bakken har overflater med fallvinkel vekk fra matsonen, som er større enn 3 grader. Delsystemet i bevegelse har områder som ikke har denne tiltingen. Disse områdene er likevel tiltet slik at organisk materiale trolig vil renne vekk fra matsonen og forhindre krysskontaminering.

**Ve-Gen.3.37.5 Avvik**

Noen av overflatene som er i bevegelse har ikke denne tiltingen.

**Ve-Gen.3.37.6 Konklusjon**

Ikke godkjent. De stillestående overflatene har en fallvinkel på 3 grader, noe som er i henhold til manual fra EHEDG. Kravet burde vært formulert annerledes til å kun gjelde stillestående overflater.



**Ve-Gen.3.38 VTI-01.KR-28**

VTI-01.KR-28	
Dato utført: 20.05.2018	Ansvarlig: PAS Godkjent av: ØJCA
Krav	Ved bruk av bolter skal disse være sekskantede
Verifikasjonsmetode	Inspeksjon
Utføres på	Teoretisk prototype
Hva skal verifiseres	At bolter som er brukt er sekskantede
Status	Utført

Ve-Gen-Fig.47: Verifikasjonskort for KR-28

**Ve-Gen.3.38.1 Akseptkriterie for ”godkjent” verifikasjon**

Bolter som er brukt i aksesystemet skal være sekskantede.

**Ve-Gen.3.38.2 Utstyr**

- Datamaskin med SolidWorks installert.

**Ve-Gen.3.38.3 Prosedyre**

- Initialiser Solidworks
- Åpne modell
- Inspiser bolter og undersøk om de er i henhold til KR-28

**Ve-Gen.3.38.4 Resultat**

Alle bolter i fare for eksponering av kontaminerende miljø er EHEDG-godkjente sekskantede bolter fra Kipp. Det er Bumax-bolter som ikke er sekskantede i modellen. Disse er tett og står ikke eksponert i det kontaminerende miljøet.

**Ve-Gen.3.38.5 Avvik**

Det er bolter i modellen som ikke er sekskantede.

**Ve-Gen.3.38.6 Konklusjon**

Ikke godkjent. Det er brukt bolter som ikke er sekskantede, disse boltene er ikke eksponert i det kontaminerende miljøet og vil ikke fungere som oppsamlingspunkter. Kravet burde vært formulert annerledes til å kun gjelde bolter som er eksponert.

**Ve-Gen.4 Risikomatriser**

<b>Sidetall</b>	<b>Tittel</b>
2	Prosjektrisiko del 1
3	Prosjektrisiko del 2
4	Teknisk risiko

**Ve-Gen-Tab.1:** Oversikt: Risikomatriser

ID	Risiko	Begrunnelse/forklaring	Konsekvens	Alvorlighetsgrad	Sannsynlighetsgrad	Total risikokarakter	Forebyggende tiltak	Konsekvensreducerende tiltak
PR1	For dårlig prosjektstyring	Dersom vi ikke klarer å følge valgt prosjektmodell fører dette til et rotete prosjekt og samarbeid.	Arbeid tar lenger tid enn planlagt, og gruppemedlemmene får dårligere oversikt over prosjektet.	4	2	11	Vi må utarbeide en god nok prosjektplan og forståelse for valgt prosjektmodell tidlig (som innebærer arbeidsmetodikk og hvordan prosjektet skal styres).	
PR2	Mangelfull prosjektplan	For dårlig prosjektplanlegging gjør at gruppen ikke har oversikt over arbeid og viktige datoer.	Arbeid tar lenger tid enn planlagt, eller tidsfrister ikke blir overholdt.	3	3	9	Vi må bruke god tid på å utarbeide en prosjektplan i startfasen av prosjektet.	Dersom vi underveis finner feil eller mangler i prosjektplanen må vi dedikere tid (overtidsarbeid) til å forbedre denne slik at vi ikke får det samme problemet igjen.
PR3	Markedsendringer	Markedsendringer kan føre til at prisen på laks endrer seg. Norge kan også miste viktige handelspartnere innen fiskeeksport. Reguleringer fra statlig organ om oppbevaringsplass for fisk kan også føre til dyrere laks.	Produktet/prosjektet ikke lenger er nødvendig.	4	1	10	Kan ikke forebygges av prosjektgruppen	Vi må forholde oss til det oppdraget vi har fått.
PR4	Konkurransen	Andre firmaer som utvikler et liknende produkt kan bli konkurrenter for vårt prosjekt.	Produktet/prosjektet ikke lenger er nødvendig.	4	3	12	Kan ikke forebygges av prosjektgruppen	Vi må forholde oss til det oppdraget vi har fått.
PR5	Ikke innsyn i data/dokumentasjon fra Tronrud	Det kan hende tidligere arbeid med robotrim ikke kan offentliggjøres eller vi kan få innsyn kan dette.	Det kan bli vanskeligere å sette i gang det tekniske arbeidet og vi kan måtte utarbeide mer fra bunnen av.	3	2	8	Vi må ha god dialog med oppdragsgiver slik at vi tidlig finner ut av hva vi kan få innsyn i og ikke.	Vi må forholde oss til den informasjonen vi kan få, og jobbe ut i fra dette.
PR6	Ikke kunne publisere vårt arbeid til slutt	Det kan hende Tronrud ønsker å ikke publisere vårt arbeid med prosjektet.	Vi ikke har noe arbeid å vise til ved eventuell jobbsøking.	1	2	2	Vi må ha god dialog med oppdragsgiver slik at vi tidlig finner ut av hva vi kan publisere og ikke.	Vi må lage sluttdokumentasjon som er slik at vi kan publisere den. Vi kan utelate eventuelle tekniske hemmeligheter og likevel kunne lage meningsfulle dokumenter som kan publiseres uten at det går ut over oppdragsgiver.
PR7	Sykdom/fravær i gruppen under arbeidstiden	Gruppemedlemmer som ikke er tilstede får dårligere oversikt og samarbeid.	Arbeid ikke blir gjort i tide.	1	2	2	Vi må ha gode beskrivelser av «tasks» i «backloggen» slik at den som er syk kan gjøre arbeidet hjemmefra.	Dersom et gruppemedlem er for syk til å arbeide hjemme, eller ikke dukker opp uten beskjed må resten av gruppen vurdere viktighetsgraden til «tasks» tildelt dette gruppemedlemmet. Dersom oppgaven har høy viktighetsgrad må den overføres til et annet gruppemedlem som kan nedprioritere sitt arbeid, eller fordeles som overtidsarbeid på de resterende gruppemedlemmene.
PR8	Fravær i gruppen under møter/presentasjoner	Gruppemedlemmet som ikke er tilstede under møte får dårligere oversikt over hva som ble diskutert. Gruppemedlemmer som er borte under presentasjoner får ikke presentert sitt arbeid.	Dårlig oversikt, og mangelfulle presentasjoner.	3	2	8	Vi må planlegge møter godt nok på forhånd, slik at ikke én person alene sitter med all informasjonen som skal tas opp på et møte. Vi må planlegge presentasjoner i god tid, slik at alle i gruppen har oversikt over innholdet i en presentasjon.	De resterende gruppemedlemmene må overta arbeidet til det fraværende gruppemedlemmet og presentere dette på en best mulig måte.
PR9	Sykdom/fravær av veileder(e) under møter/presentasjoner	En veileder kan måtte avlyse eller utsette møte.	Vi kan måtte utsette møte, eller ha møte over skype (som ikke vil gi like god kommunikasjon som om alle var tilstede).	3	2	8	Vi må sørge for god kommunikasjon med veiledere slik at vi får rask beskjed om det blir endringer i oppsatt møtetid.	Vi må sørge for å få beskjed i god tid om en veileder vil være fraværende under en presentasjon slik at vi har tid til å sette opp et skypemøte med vedkommende.
PR10	Langtidsfravær/sykdom	Det kan hende et gruppemedlem ikke lenger kan fullføre prosjektet	Resten av gruppa får en større arbeidsmengde, og kan måtte sette seg inn i arbeid som de ikke har god nok kjennskap til.	3	1	6	Kan ikke forebygges av prosjektgruppen	Resten av gruppen må overta arbeidet til den fraværende. Gruppen må da bli enige om vi må utvide arbeidstiden, eller om vi må forandre prosjektets omfang.
PR11	Tap av dokumenter	Dokumenter kan bli slettet ved en feiltagelse.	Arbeid går tapt og kan måtte utføres på nytt.	4	1	10	Vi må sørge for å alltid ha backup av dokumenter. Alle dokumenter må lagres på minst to forskjellige steder. Alle gruppemedlemmer må ha backup av nåværende arbeid i tilfelle datamaskinhavari.	
PR12	Tilbakemeldinger fra Tronrud eller HSN viser til ikke tilfredsstillende utført arbeid	Misforståelser i hva som skal gjøres, eller tilbakemeldinger på presentasjoner/veiledermøter kan vise til at arbeidet ikke er godt nok.	Føre til at vi må gjøre endringer underveis som vil kreve overtidsarbeid, eller føre til et sluttprodukt som ikke er tilstrekkelig for oppdragsgiver og HSN.	4	2	11	Vi må sørge for god kommunikasjon med eksterne og interne veiledere for å unngå misforståelser.	Dersom endringer likevel må gjøres må vi dedikere ekstra tid til dette arbeidet.
PR13	Ting tar lenger tid enn planlagt	Gruppen er uerfaren med tidsestimering av arbeid, som kan føre til at arbeid tar lenger tid enn estimert.	Vi rekker ikke å ferdigstille arbeid.	2	3	7	Gruppen må lære av egne feil og forbedre tidsestimater underveis i prosjektet basert på erfaring.	Vi må dedikere ekstra tid (helger, overtid) for å få gjort det arbeidet som kreves. Dersom vi ser at noe vil ta mye lenger tid enn det er sannsynlig at vi kan fullføre må vi endre prosjektets omfang.
PR14	Arbeid ikke blir fullført innen sprints slutt	Gruppen kan ha for dårlig tids- eller arbeidsmengdeestimering, eller sette urealistiske mål for en sprint.	Oppgaver fra sprintbackloggen må overføres til neste sprint, som fører til utsettelse.	2	3	7	Gruppen må lære av egne feil og forbedre estimat av arbeidsmengden i sprinter underveis i prosjektet basert på erfaring.	Gruppemedlemmet som ikke har fullført sitt arbeid innen sprints slutt må dedikere helgen til å fullføre arbeidet. Dersom arbeidet i en sprint ikke tilfredsstiller sprintmålet må vi evaluere sprintens mål og lære av dette til neste sprint.

ID	Risiko	Begrunnelse/forklaring	Konsekvens	Alvorlighetsgrad	Sannsynlighetsgrad	Total risikokarakter	Forebyggende tiltak	Konsekvensreducerende tiltak
PR15	Utsettelse (møter, presentasjoner)	Misforståelser eller uforutsette hendelser kan medføre at et møte eller en presentasjon må utsettes.	Irritasjon, utsettelse på samtidig arbeid eller i verste fall at noen må være fraværende.	2	2	5	Vi må forsikre oss om at møtetider og presentasjonsdatoer passer for alle før vi avtaler endelige tider.	Vi må ha god kommunikasjon slik at vi får og gir tidlig beskjed om eventuelle utsettelser dersom disse ikke kan unngås.
PR16	Mangelfull kommunikasjon med oppdragsgiver (uenighet, misforståelser)	Kan føre til at det ikke er samsvar mellom oppdragsgivers og gruppens visjon, målsetting, målsetting og kravspesifikasjon for prosjektet.	Mangelfullt sluttresultat.	3	2	8	Vi må sørge for kontinuerlig dialog under hele prosjektet med både interne og eksterne veiledere.	Dersom uenighet eller misforståelser oppstår må vi raskt få klarhet i hva som ble misforstått og arbeide ut i fra ny informasjon. Dersom det er nødvendig må vi legge inn overtidarbeid.
PR17	Mangelfull kommunikasjon innad i gruppa (uenighet, misforståelser)	Mangelfull kommunikasjon kan føre til misforståelser eller at unødige uenigheter oppstår.	Konflikter, dårligere samarbeid, utsettelse, uforutsette endringer.	3	2	8	Vi må sørge for gode kanaler for samarbeid (Slack og JIRA) og kontinuerlig dialog innad i gruppa (stand-up møter, sprint review, sprint retrospective).	Dersom misforståelser eller uenighet oppstår må vi dedikere tid til å raskt få klarhet i hva som ble misforstått, eller utarbeide mer kunnskap slik at vi kan få best mulig enighet der vi er uenige. Dersom enighet er en umulighet må gruppens flertall ta en avgjørelse (etter at det er forståelse for hvorfor det er uenighet og hva den omhandler).
PR18	Konflikt med oppdragsgiver	Hvis det ikke er samsvar mellom oppdragsgivers og gruppens visjon, målsetting og omfang for prosjektet.	Sluttresultat som ikke tilfredstiller oppdragsgiver.	4	1	10	Vi må sørge for god kommunikasjon med oppdragsgiver under hele prosessen, slik at vi unngår misforståelser og konflikter.	
PR19	Mangelfull endringshåndtering	Gruppemedlemmer ikke er innforstått med utførte endringer.	Utsettelse eller tilbakeslag.	3	2	8	Vi må ha god dokumentasjon på endringer som gjøres, slik at alle i gruppen har innsyn i disse.	Dersom en nødvendig endring fører til mer arbeid må gruppen være innstilt på å jobbe overtid i en periode.
PR20	Innskrenket budsjett	Det ikke er sikkert at vi får kjøpt alle komponentene som kreves.	Mangelfullt sluttresultat.	3	1	6	Kan ikke forebygges av prosjektgruppen	Vi må ha god kostnadsestimering på produktet slik at vi raskt kan finne ut av hvilke deler vi må endre for å følge det nye budsjettet.
PR21	Vi ser at vi må gå over budsjettet	Det ikke er sikkert at vi får kjøpt alle komponentene som kreves.	Mangelfullt sluttresultat.	3	2	8	Vi må utføre grundig kostnadsestimering slik at vi minimerer risikoen for at vi går over budsjettet.	Vi må først bruke tid på å se om det er steder vi kan bespare kostnader, uten at det går ut over produktets kvalitet. Dersom produktets kvalitet forringes av at budsjettet er for lavt må vi ha dialog med oppdragsgiver slik at vi i god tid finner ut om det er mulig å få utvidet budsjettet. Dersom utvidelse av budsjettet er en umulighet må vi endre prosjektets omfang.
PR22	Prosjektets omfang er for stort	Vi ikke rekker å bli ferdige.	Mangelfullt sluttresultat.	2	2	5	Vi må gjennomføre grundig prosjektplanlegging slik at vi minsker risikoen for at vi feilestimerer prosjektets omfang.	Vi må vurdere å redusere omfanget
PR23	Prosjektets omfang er for lite	Oppgaven/prosjektet ikke er stort nok til å fylle et semesters arbeid.	Gruppen ikke får en god karakter.	4	1	10	Vi må gjennomføre grundig prosjektplanlegging slik at vi minsker risikoen for at vi feilestimerer prosjektets omfang.	Vi må ha dialog med HSN om hva som kreves for å oppnå en god karakter og eventuelt øke prosjektets omfang.
PR24	Arbeid utført av et gruppelem viser seg å ikke følge gruppens kvalitetsstandard	Det kan være forskjellig nivå på gruppelemmenes rettskrivnings eller gramatiske ferdigheter (f.eks. hvis et gruppelem har dysleksi).	Varierende kvalitet på dokumentasjon.	2	1	4	Dersom noen i gruppa ikke er gode nok i rettskrivning (f.eks. dysleksi) må dette avdekkes, slik at andre gruppelemmer kan renskrive arbeidet før det godkjennes.	
PR25	Plagiat	Gruppen har nulltoleranse for plagiat.	Uærlig vitenskap og strykkarakter dersom arbeidet inneholder plagiat.	4	1	10	Vi må ha god forståelse i gruppa for arbeidsetikk og hvordan man refererer, slik at ingen lager noe som er plagiat.	Dersom noen i gruppen avdekker plagiat må dette formidles til gruppa, slik at arbeidet kan forkastes eller skrives riktig med referanser. Personen som utførte arbeidet må få beskjed slik at dette ikke gjentas.
PR26	Arbeid ikke er ferdig innen en tidsfrist (f.eks. noe som skal være med på en presentasjon ikke er ferdigstilt)	Mangelfull dokumentasjon/arbeid/presentasjon gir dårlige tilbakemeldinger fra interne og/eller eksterne veiledere.	Mangelfullt sluttresultat.	3	3	9	Vi må vite om tidsfrister i god tid, slik at vi kan legge inn overtidarbeid for å få arbeid gjort innen tidsfristen.	Dersom noe likevel ikke er ferdigstilt må hvert gruppelem være innforstått med at dersom arbeidet var essensielt for en presentasjon kan veileder/sensor informeres om hvem som ikke er ferdig.
PR27	Timeplanendringer	Endringer i arbeidstid for ett eller flere gruppelemmer kan være forårsaket av at timeplanen i et emne forandrer seg, et gruppelem får uforutsett jobb eller skal på reise.	Mindre tid til arbeid og/eller samarbeid	2	2	5	Hvert gruppelem må gjøre sitt beste for at endringer ikke kommer til å gå negativt ut over prosjektarbeidet.	Dersom endringer ikke kan unngås, må vi få klarhet i hvilke endringer som må gjøres, slik at vi eventuelt kan sette opp ny kjernetid, eller fordele slik at personen som får endringer på timeplanen må jobbe med prosjektet utenom arbeidstiden, (men likevel med tilstrekkelig kommunikasjon).
PR28	Mangelfull risikoanalyse	Uforutsette problemer kan oppstå uten at vi har planlagt noen løsning for disse.	Det fører til endringer og/eller mer arbeid.	4	3	12	Vi må bruke god tid på å utarbeide en risikoanalyse slik at vi minsker muligheten for uforutsette problemer.	Dersom uforutsette problemer oppstår må vi dedikere tid (overtid) til å finne ut av hvordan vi skal håndtere dette når det oppstår.

ID	Risiko	Begrunnelse/forklaring	Konsekvens	Alvorlighetsgrad	Sannsynlighetsgrad	Total risikokarakter	Forebyggende tiltak	Konsekvensreducerende tiltak
TR1	For sen bestilling av komponenter og deler	Bestillingen kommer for sent. Dersom komponenter ankommer for sent er det ikke gitt at vi får utført arbeid som må gjøres innen en tidsfrist.	Utsettelse eller mangelfullt arbeid.	3	2	8	Vi må passe på å ha god oversikt over det som skal bestilles, slik at dette gjøres i god tid.	Dersom noe likevel kommer for sent må vi ha en plan B (denne vil være forskjellig fra én bestilling til en annen).
TR2	For sen levering av komponenter og deler	Gruppen kan ikke styre leveringstider, men dette følger som en risiko fra for sen bestilling.	Dersom komponenter ankommer for sent er det ikke gitt at vi får utført arbeid som må gjøres innen en tidsfrist.	3	2	8	Vi må passe på å ha god oversikt over det som skal bestilles, slik at dette gjøres i god tid.	Dersom noe likevel kommer for sent må vi ha en plan B (denne vil være forskjellig fra én bestilling til en annen).
TR3	Ikke tilstrekkelig kvalitet på komponenter og deler	For dårlig kvalitet kan være at komponenten blir lett ødelagt, hygienisk design: tåler ikke vann, for treg responstid, materiale tåler ikke nok belastning.	Konsekvensen blir at vi må finne og bestille nye komponenter eller utstyr, som resulterer i utsettelse og forsinkelser i arbeid, eventuelt mangler i sluttprodukt.	4	2	11	Vi må ha best mulig kvalitetssjekk før vi bestiller en komponent.	Dersom en komponent likevel viser seg å ikke holde mål, må vi ha bestilt i god nok tid, slik at vi rekker å bestille en erstatning før tidsfristen er ute.
TR4	Ødelagt utstyr/komponent	Ødelagt utstyr gjør at vi må bytte ut/bestille nytt.	Utsettelse og forsinkelser i arbeid, eventuelt mangler i sluttprodukt.	4	1	10	Av billig utstyr burde vi bestille flere enn vi trenger, slik at vi kan erstatte ødelagte deler. Dyrere utstyr burde testes i god tid (slik at vi rekker å bestille nytt dersom vi må). Utstyr må håndteres på en slik måte at vi minsker risikoen for at det blir ødelagt.	
TR5	Tekniske endringer	Kan være forandring av en komponent, størrelse på en del, materiale eller utforming. Selv små endringer kan få ringvirkninger som påvirker resten av produktet.	Utsettelse og forsinkelser på arbeid.	3	3	9	Vi må ha gode nok tester og simuleringer slik at vi vet om en komponent er god nok før vi designer for mye «rundt» den.	Legge inn overtidsarbeid slik at vi kommer dit vi ønsker å være på et gitt tidspunkt med de nye endringene.
TR6	Forandring av spesifisering og krav	Endringer i krav underveis i prosjektet er lite sannsynlig, men risikoen ligger i om vi har avdekket oppdragsgivers behov godt nok før vi skriver vår kravspesifisering.	For dårlig formulert kravspesifisering kan føre til at utført arbeid ikke samsvarer med hva oppdragsgiveren ønsker, som igjen fører til et mangelfullt sluttresultat.	3	1	6	Vi må passe på å avdekke flest mulige krav fra oppdragsgiver før vi tar avgjørende designbeslutninger.	Dersom et krav likevel må endres underveis (f.eks. ved misforståelser) må vi ha en måte å håndtere dette på, en mulighet er å legge inn ekstra arbeidstimer for å gjøre nødvendige endringer.
TR7	Kravspesifisering for dårlig definert (f.eks. for dårlig validering eller for få krav)	For frie tøyler når det gjelder produktet gjør at det blir vanskeligere for gruppen å ta designbeslutninger. For dårlig validering av krav medfører at vår kravspesifisering ikke tilfredsstiller oppdragsgivers behov.	Forsinkelser underveis ved at gruppen tar designbeslutninger som ikke er gode nok, eller i verste fall et sluttprodukt som ikke tilfredsstiller oppdragsgivers behov.	4	2	11	Vi må gjennomføre tilstrekkelig validering av krav både før, under og etter utviklingen av produktet slik at vi har et best mulig innblikk i om produktet vil følge kundens/oppdragsgivers standard.	
TR8	Tester/simuleringer ikke er tilstrekkelig	Valgte tester for er ikke tilstrekkelige for å verifisere om produktet følger kravspesifiseringen.	Vi kan ende opp med et produkt som ikke fungerer slik det skal.	2	2	5	Vi må utarbeide tilstrekkelige tester for hvert krav, slik at vi får en best mulig verifisering av produktet opp mot kravene.	
TR9	Noe tar for lang tid å lære	Et verktøy, dataprogram eller komponent kan ta for lang tid å lære seg å bruke, lage eller styre innen det er for sent	Utsettelse i arbeid for å lære	2	2	5	Vi må finne ut i god tid om noe kan ta for lang tid, slik at vi har tid til å finne en eventuell erstatning.	
TR10	Valgt designbeslutning viser seg å ikke være gjennomførbar	Ved mer research kan vi finne ut at en løsning ikke lar seg gjennomføre, eller ikke vil tilfredsstille kravene.	En løsning kan måtte forkastes eller endres som vil kreve tid.	4	2	11	Vi må gjøre god nok research slik at vi har en best mulig forståelse av om en løsning er gjennomførbar før vi dedikerer for mye arbeid inn i den.	
TR11	Ikke-skalerbar prototype	Komponenter i en prototype kan vise seg å ikke være skalerbare. Det er ikke sikkert prototypen gir riktig informasjon om produktet i fullskala.	Prototypen må endres eller forkastes.	3	2	8	Vi må bruke god tid på å utarbeide eventuelle prototyper slik at vi finner ut av om komponentene er skalerbare før det er for sent.	Dersom vi likevel finner ut at en prototype ikke er skalerbar, må vi vurdere om vi har tid nok til å utarbeide en ny forbedret prototype. Dersom vi ikke har nok tid, må vi finne ut om noen deler av prototypen kan gi nyttig informasjon. Dersom den ikke kan det, må vi forkaste prototypen.
TR12	Feil eller mangelfullt simulasjonsresultat	Et simulasjonsresultat kan vise seg å ikke stemme eller feil i simulasjon som ikke blir oppdaget.	Simulasjonen/testen må endres eller forkastes.	2	2	5	Flere gruppelemmer må være med på å utarbeide og verifisere simulasjonsresultater.	Dersom feil likevel oppdages må vi finne ut om det er en liten feil som enkelt kan rettes opp. Dersom simulasjonen er helt gal, må den forkastes og en ny test/simulasjon må lages.
TR13	Montering av deler (enten digital eller fysisk)	Montering kan vise seg å ikke gå som planlagt, f.eks. ved at deler ikke passer eller ikke får bevegelse seg riktig. Dette er en risiko både når det gjelder montering av eventuell fysisk prototype, eller «digital montering» (f.eks. hvis det finnes ferdige 3D-modeller av motorer som kan kombineres med en eventuell solidworks skisse).	Eventuelle designendringer vil kreve mye tid.	4	2	11	Vi må gjøre grundig arbeid ved designbeslutninger og valg av komponenter slik at vi minimerer risikoen for at noe ikke passer når vi kommer til eventuell montering.	
TR14	Programmeringsfeil	Skrivefeil eller «bugs» i koden kan ta lang tid å løse opp.	Forsinkelser på arbeid med dataprogrammer.	2	3	7	Sette interne tidsfrister (tidsfrister innad i gruppa) i god tid før noe skal leveres til HSN eller Tronrud, slik at vi tar høyde for at feil/uttsettelse kan oppstå.	
TR15	er/hjelp til eventuell proto	Dersom vi kommer langt nok med å bevisse konseptet slik at vi kan begynne å lage en prototype er det ikke gitt at TE har midler/mulighet til å assistere prosjektgruppen med dette.	ikke får laget ønsket prototype	2	2	5	Ha dialog med TE om sekundærmål (prototype) slik at vi tidlig finner ut om TE har mulighet til å assistere oss med dette.	
TR16	Hygienisk design	Systemet må designes etter standarder for hygienisk design siden systemet skal brukes i produksjon av mat.	Systemet blir ubrukelig dersom det ikke er designet hygienisk. Et produkt som f.eks. ikke kan vaskes vil ikke kunne brukes i matproduksjon.	4	3	12	Gjøre grundig research på hygienisk design før vi tar kritiske designbeslutninger, slik at vi har innhentet kunnskap om hvordan vi skal designe produktet hygienisk.	
TR17	Kinematikk	Vi begynner å designe, men finner etter hvert ut at robotens kinematikk ikke tillater bevegelse i ønsket område, eller at den kinematiske beregningen er for vanskelig eller gjør styresystemet for tregt.	Vi må forkaste eller gjøre store endringer på konseptet.	4	1	10	Vi må bruke tid på å sette oss inn i kinematikk slik at vi kan avdekke om valgt konsept er løsbart.	
TR18	Motordimensjonering	Motorene ikke er kraftige eller raske nok til å drive systemet.	Sluttproduktet fungerer ikke som oppdragsgiver ønsket. I verste fall blir produktet ubrukelig.	4	2	11	Vi må bruke god tid på å de fysiske beregningene og å sette oss inn i motordimensjoneringsverktøy slik at vi unngår at motorene blir for svake. Motorene må overdimensjoneres.	
TR19	Nødvendige komponenter ikke eksisterer	Siden vi opererer i et nitemarked (hygieniske roboter), er det ikke sikkert at nødvendige komponenter eksisterer fra før av.	Det kan bli mangler i sluttproduktet	4	3	12	Vi må tidlig finne ut av hva som eksisterer og ikke, slik at vi vet dette før komponenten må benyttes i systemet (enten fysisk eller som 3D-modell)	Dersom komponenter ikke eksisterer må vi designe disse selv.

## Ve-Gen.5 Prosjektbudsjett

Prosjektbudsjettet til HS RoboTrim er inndelt slik Ve-Gen-Tab.2 viser, de ulike delene av budsjettet er vedlagt og følger nummereringen som vist i Ve-Gen-Tab.2. TE ønsker innkjøpte komponenter i aksesystemet så langt det lar seg gjøre. Bakgrunn i dette er lavere kostnader fordi innkjøpte komponenter ofte er masseprodusert og dermed har leverandørende mulighet til å senke prisen.

<b>Budsjettinndeling</b>		
<b>Sidetall</b>	<b>Budsjett</b>	<b>Hva</b>
3	Innkjøpte komponenter	Innkjøpskostnader
4	Tilvirkede Komponenter	Kostnad av egenproduserte deler
5	Sveiseforbindelser	Kostnad av sveisesammenføyninger

**Ve-Gen-Tab.2:** Oversikt: Prosjektbudsjett

### Ve-Gen.5.1 Innkjøpte komponenter

Innkjøpte komponenter er vanligvis fra utenlandske nettsider og har prisinformasjon i andre valutaer enn NOK. Valutakursene er uthentet fra "Google valuta" (16.05.2018) og er presentert i Ve-Gen-Tab.3. Tilbud mottatt fra eksterne leverandører er vedlagt i Ve-Gen.5.5

<b>Valutakonvertering</b>	
<b>Fremmedvaluta</b>	<b>NOK</b>
1 dollar (USD)	8,0274 NOK
1 euro (EUR)	9,5653 NOK

**Ve-Gen-Tab.3:** Valutakonvertering

### **Ve-Gen.5.2 Tilvirkede komponenter**

Unike komponenter for aksesystemet som ikke er i masseproduksjon må tilvirkes etter ønsket behov, og kan bli kostbart. Denne type komponenter er lurt å unngå hvis mulig. Tilvirkningskostnaden er svært avhengig av toleransene satt i modellen og kompleksiteten til delen som skal lages. Prisen er altså en direkte funksjon av maskineringsmetodene og tiden tilvirkningen vil ta.

I et møtet prosjektgruppen hadde med TE, ble gruppen fortalt at ved prisestimering av tilvirkede komponenter kunne de gå ut ifra at deler som lages på verkstedet til TE ville koste ca. 1000 kr/time. Timesprisen pluss råvarekostnaden utgjør den totale prisen delen skal koste å tilvirke. Prisen per kg for AISI 316 stål er 124,8 kr/kg og ble funnet i "Norsk Stål" sine databaser som oppdateres fortløpende [77]. Alle delene i aksesystemet er skal være overflatebehandlet (elektropolert) for å oppnå en overflateruhet i henhold til EHEDG sin hygieniske standard [23]. Denne etterbehandlingen er *bakt* inn i prisen for "tilvirkede deler" i budsjettet.

### **Ve-Gen.5.3 Sveiseforbindelser**

Marine Harvest sin hygieniske manual spesifiserer at det skal brukes TIG-sveising med bakgass som sveisemetode. Sveisen skal dermed etterbehandles med syre [23]. I henhold til rapporten skrevet om priser i hygieniske sveiser i USA [78] går prosjektgruppen ut ifra en sveisekostnad på 31,07 dollar/meter. Med valutaen i Ve-Gen-Tab.3 representerer dette 249,5 NOK/meter med sveis. Måling av sveiseforbindelsene presentert i Ve-Gen.5.4 vil fungere som en retningslinje for sveisekostnadene der mye er usikkert i dette budsjettet.

### **Ve-Gen.5.4 Totale kostnader HS RoboTrim**

Tallene presentert nedenfor i Ve-Gen-Tab.4 baserer seg på mye antagelser og vil kun fungere som en retningslinje for videre utvikling. Det er dessuten ikke tatt i betraktning ansattkostnad.



<b>Kostnader HS RoboTrim</b>	
<b>Budsjett</b>	<b>Verdi (NOK)</b>
<b>Totalt innkjøpte komponenter</b>	738 866 NOK
<b>Totalt innkjøpte komponenter</b>	132 218 NOK
<b>Totalt sveiseforbindelser</b>	16 609 NOK
<i>Totalt kostnader HS RoboTrim</i>	887 694 NOK

**Ve-Gen-Tab.4:** Kostnader HS RoboTrim 2018

Innkjøpte komponenter						
Opphav	Del	Produsent og artikkelnummer	Antall	Frakt	Enhetspris	Totalpris
Innkjøpte komponenter	<b>Pitch:</b>					
	Simmering	ProTech WD	2	20	100	220,0
	O-ring		1	20	10	30,0
	Lager	NSK, 6004DDU	2	20	56,98	134,0
	Låsering	RTWS No.42	2	20	90	200,0
	Hex Bolt K1327	Kipp, K1327.05X25	4	20	33	152,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M5 K1326.064	4	20	15	80,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M10 K1326.104	1	20	18	38,0
	Hexagon Socket 80 M	Bumax 88-MF6S	4	20	5	40,0
	<b>Elektriske komponenter:</b>					
	Cyber d40	Wittenstein	1	0	16601,46	
	Kabel: S/L- Kabel 5000-BA SO-6/3, 5m	Wittenstein	1	0	1918,68	1918,7
	SIM2010D-CCSA-EC00	Wittenstein	1	0	7837,32	7837,3
	Kabel: Fieldbus cable EtherCAT, 1m	Wittenstein	1	0	528,45	528,5
	<b>Yaw:</b>					
	Hex Bolt K1327	Kipp, K1327.10X30	1	0	79	79,0
	Hex Bolt K1327	Kipp, K1327.06X40	8	0	54	432,0
	Hex Bolt K1327	Kipp, K1327.05X15	10	0	28	280,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M5 K1326.064	20	0	15	300,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M6 K1326.064	16	0	29	464,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M12 K1326.124	6	0	59	354,0
	Mutter	Kipp, M5 K1328_05	20	0	26	520,0
	Mutter	Kipp, M12 K1328_12	6	0	88	528,0
	Mutter	Kipp, M6 K1328_06	16	0	29	464,0
	Simmering	ProTech WD	6	20	100	620,0
	Lager	KULELAGERHUSET, 7004	1	0	995	995,0
	Lager	KULELAGERHUSET, SKF 3205	1	20	233	253,0
	Låsering	Mitsumi, STWS25	5	20	90	470,0
	O-ring		5	20	50	270,0
	Hylse, rullehjul		6	20	29	194,0
	Rullehjul	SWAEWD3SSXNo	6	20	250	1520,0
	Reim	Brecoflex, AT5	2	0	1000	2000,0
	Reimhjul	Brecoflex, AT5 18T 64mm	1	0	1200	1200,0
	Reimhjul	Brecoflex, AT5 18T 32mm	2	0	1000	2000,0
	Hexagon Socket 80 M	Bumax 88-MF6S	8	20	5	60,0
	Lager	NSK, 6004DDU	2	20	56,98	134,0
	<b>Elektriske komponenter:</b>					
	Cyber d40	Wittenstein	2	0	16601,46	33202,9
	Kabel: S/L- Kabel 5000-BA SO-6/3, 5m	Wittenstein	2	0	1980,68	3961,4
	SIM2010D-CCSA-EC00	Wittenstein	2	0	7837,32	15674,6
	Kabel: Fieldbus cable EtherCAT, 1m	Wittenstein	2	0	528,45	1056,9
	<b>X-akse:</b>					
	Hylse, rullehjul		8	20	29	252,0
	Rullehjul	SWAEWD3SSXNo	8	20	250	2020,0
	Reim	Brecoflex, AT10 25mm	1	0	1500	1500,0
	Reimhjul	Brecoflex, AT1025-0 32mm	2	0	2000	4000,0
	Lager	NSK, 6004DDU	1	20	56,98	77,0
	Lager	NSK, 6005	1	20	56,98	77,0
	Simmering	ProTech WD	2	20	100	220,0
	Låsering	RTWS No.42	1	20	90	110,0
	Låsering	RTWS No.47	1	20	99	119,0
	Låsering	Mitsumi, STWS20	1	20	29	49,0
	Låsering	Mitsumi, STWS25	2	20	29	78,0
	Hex Bolt K1327	Kipp, K1327.06X45	4	0	54	216,0
	Hex Bolt K1327	Kipp, K1327.05X15	4	0	28	112,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M5 K1326.064	4	0	15	60,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M6 K1326.064	4	0	29	116,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M12 K1326.124	8	0	59	472,0
	Mutter	Kipp, M12 K1328_12	8	0	88	704,0
	Mutter	Kipp, M5 K1328_05	4	0	88	352,0
	Gir	Danaher-AQT060-005-S	1	0		
	Hexagon Socket 80 M	Bumax 88-M5 FS 35mm	4	20	39	176,0
	Countersunk Bolter	M5x12mm	4	20	12	68,0
	O-ring		3	20	50	170,0
	Countersunk Bolter	M5x80mm	4	20	12	68,0
	Gir AquaTrue 5:1	AQT-060-005-0-MMR-725	1	0	11118	11118,0
	<b>Elektriske komponenter:</b>					
	AKMH32	Kollmorgen, AKMH32	1	0	13367	13367,0
	Servodrive	Kollmorgen, AKD-P00607	1	0	12880	12880,0
	<b>Y-akse:</b>					
	Rullehjul	SWAEWD3SSXNo	16	20	250	4020,0
	Hylse, rullehjul		16	20	29	484,0
	Mutter	Kipp, M12 K1328_12	16	0	88	1408,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M12 K1326.124	16	0	59	944,0
	Reim	Brecoflex, AT15 25mm	2	0	1500	3000,0
	Reimhjul	Brecoflex, AT1025-0 32mm	4	0	1000	4000,0
	Simmering	ProTech WD	4	20	100	420,0
	Lager	NSK, 6007DDU	2	20	147	314,0
	Lager	NSK, 6008DDU	2	20	147	314,0
	Låsering	RTWS No.62	1	20	123	143,0
	Låsering	Mitsumi, STWS35	2	20	29	78,0
	Låsering	Mitsumi, STWS40	2	20	39	98,0
	Countersunk Bolter	M10x60mm	4	20	15	80,0
	Countersunk Bolter	M8x50mm	4	20	13	72,0
	Countersunk Bolter	M8x149mm	4	20	39	176,0
	O-ring		3	20	50	170,0
	Gir AquaTrue 5:1	AQT-120-005-0-MMR-727	2	0	24539,5	49079,0
	<b>Elektriske komponenter:</b>					
	AKMH52H	Kollmorgen, AKMH52H	2	0	20208	40416,0
	Servodrive	Kollmorgen AKD-P01207	2	0	15920	31840,0
	<b>Z-akse:</b>					
	Tverror støtte parallellaksel					0,0
	Ror støtte motorholder Z	Dy=40, Di=34, L=2053,5	4	20	1000	4020,0
	Lager	NSK, 6008	4	20	200	820,0
	Lager	NSK, 6912	4	20	200	820,0
	Skive Fluoroprene XP 45	Kipp, M12 K1326.124	16	0	59	944,0
Simmering	ProTech WD	12	20	100	1220,0	
Reim	Brecoflex, AT15 25mm	4	0	1500	6000,0	
Reimhjul	Brecoflex, ATS15 26	8	0	1000	8000,0	
Gir AquaTrue 5:1	AQT-160-005-0-MMR-728	4	1000	41340,75	166363,0	
<b>Elektriske komponenter:</b>						
AKMH64K	AKMH64K-CNW2GFXX	4	1000	34698,25	139793,0	
Kollmorgen AKD-P02407	AKD-P02407-NBEC-0000	4	1000	20520	83080,0	
<b>Diverse:</b>						
Strømforsyning 5V	Omron, NJ-PD3001	1	500	3030	3530,0	
PLS	Omron, NJ501-1320	1	500	48275	48775,0	
Strømforsyning 24V	Omron, S8VK-S24024	1	500	2037	2537,0	
Strømforsyning 48V	Mean Well, RPS 3000-48	1	500	5570	6070,0	
HUB	Omron, GX-JC06	2	20	1613	3246,0	
<b>Totalt innkjøpt</b>						
<b>738866,2</b>						

Tilvirkede komponenter								
Opphav	Del	Råmaterial (g)	Pris/g	Antall	Frakt	Tilvirkning	Totalpris	
Tilvirkede komponenter	<b>Pitch:</b>							
	Aksel pitch	0,25	124,8	1	20	1000	1051,2	
	Overføring pitch aksel kniv	0,35	124,8	1	20	1000	1063,7	
	Feste mellom motor og brakett pitch	0,242	124,8	1	20	5000	5050,2	
	Brakett pitch lav blind side	0,87	124,8	1	20	5000	5128,6	
	Brakett pitch aksel lav	0,6	124,8	1	20	5000	5094,9	
	<b>Yaw:</b>							
	Feste pitch u-form plate	1,1	124,8	1	20	2000	2157,3	
	Avstivere brakett feste pitch	0,087	124,8	2	20	1000	2030,9	
	Feste aksel yaw-pitch	0,25	124,8	1	20	1000	1051,2	
	Senteraksel yaw assy	0,58	124,8	1	20	4000	4092,4	
	Holder Z	0,093	124,8	2	20	500	1031,6	
	Lagerholder yaw senteraksel	0,565	124,8	1	20	4000	4090,5	
	Lagerlaaser yaw	0,187	124,8	1	20	4000	4043,3	
	Festeplate rullehjul	0,875	124,8	1	20	1000	1129,2	
	Festeplate rullehjul (festeside)	0,951	124,8	1	20	1000	1138,7	
	Belteklemme	0,151	124,8	1	20	500	538,8	
	Belteklemme med spor	0,151	124,8	1	20	1500	1538,8	
	Skive underfeste topp aksel	0,37	124,8	1	20	2500	2566,2	
	Akseltopp yaw	0,232	124,8	1	20	3500	3549,0	
	Mellomstykke aksel motor pitch (Lang)	0,081	124,8	1	20	500	530,1	
	Mellomstykke aksel motor pitch (kort)	0,061	124,8	1	20	500	527,6	
	Lagerholder aksel motor yaw	0,5	124,8	2	20	7000	14082,4	
	Plate feste motor yaw	1,22	124,8	1	20	1500	1672,3	
	<b>X-akse:</b>							
	Plate ende skinne	1,57	124,8	2	20	500	1215,9	
	Belteklemmer	0,151	124,8	2	20	500	1038,8	
	Avstivere plate X-skinne	0,173	124,8	4	20	250	1041,6	
	Avstiver skinne	3,2	124,8	2	20	500	1419,4	
	Ekstrudert T-profil	2,89	124,8	4	20	500	2380,7	
	Ekstrudert Skinne	1,68	124,8	4	20	1000	4229,7	
	Lagerholder aksel til reim x	0,65	124,8	1	20	1500	1601,1	
	Brakett motor gir x	2,1	124,8	1	20	1500	1782,1	
	Aksel reimdrift X	0,094	124,8	1	20	100	131,7	
	Aksel gir x	0,143	124,8	1	20	100	137,8	
	<b>Y-akse:</b>							
	Avstiverplate ved motor	2,67	124,8	2	20	500	1353,2	
	Avstiver y-ramme ende	1,31	124,8	4	20	100	583,5	
	Stotteplate	0,481	124,8	4	20	100	480,0	
	Skinne feste	2,201	124,8	4	20	100	694,7	
	Stotte under motor	0,231	124,8	4	20	100	448,8	
	Lagerholder aksel til reim y	0,963	124,8	2	20	4000	8140,2	
	Aksel reimdrift Y	0,43	124,8	2	20	100	273,7	
	Ekstrudert Skinne	0,811	124,8	4	20	800	3321,2	
	Belteklemme 32mm	0,7	124,8	4	20	250	1107,4	
	Avstiverplate mellom skinner	5,27	124,8	2	20	500	1677,7	
	Forsterkning ved reim	0,59	124,8	4	20	100	493,6	
	Avstiver mellom skinner	1,27	124,8	4	20	50	378,5	
	Festbrakett motor y	5,67	124,8	1	20	500	1227,6	
	Feste gir y til Konverteringsplate	2,71	124,8	2	20	3000	6358,2	
	Konverteringsplate motor gir	2,1	124,8	1	20	500	782,1	
	<b>Z-akse:</b>							
	Ror ramme til parallellaksel	8,05	124,8	4	20	200	1824,6	
	Plate topp 50mm ror	0,064	124,8	8	20	50	428,0	
	Tverror støtte parallellaksel	6,34	124,8	4	20	200	1611,2	
	Ror mot brakett parallellaksel	0,35	124,8	4	20	100	463,7	
	Nedre stotteror parallellaksel	0,5	124,8	4	20	100	482,4	
	Lagerholder parallellaksel	1,3	124,8	4	20	500	2182,2	
	Skraa ror skinneror	1,56	124,8	4	20	200	1014,7	
	Ror 50X50X4	7,15	124,8	4	20	200	1712,3	
	Ekstrudert Skinne	1,68	124,8	4	20	500	2229,7	
	Feste gir konverterplate brakett	16,26	124,8	4	20	1000	6049,2	
	Ror under motor	0,89	124,8	4	20	200	931,1	
	Skraa ror skinneror	1,39	124,8	4	20	200	993,5	
	Langsgående skraa avsiver guideror	3,48	124,8	4	20	200	1254,3	
	Ror mellom guideror	6,34	124,8	2	20	200	1211,2	
	Plate til avstiver guideror	0,27	124,8	2	20	100	253,7	
	Aksel Z	12,4	124,8	2	20	1000	3567,5	
	Stotte ror mellom guideror	1,05	124,8	2	20	200	551,0	
	<b>Totalt tilvirket</b>							<b>132218,5</b>

Sveiseforbindelser						
Opphav	Del 1	Del 2	Lengde på sveis (mm)	Antall	Totalpris	
Sveisede komponenter	<b>Pitch:</b>					
	Kniv	Overføring pitch aksel	157	1	39,2	
	Overføring pitch aksel kniv	Aksel pitch	150	1	37,4	
	<b>Yaw:</b>					
	Avstiver brakett feste pitch	Feste pitch u-form plate	250	2	124,7	
	Feste pitch u-form plate	Feste aksel yaw-pitch	116	1	28,9	
	Holder Z	Lagerholder yaw senteraksel	271	2	135,2	
	Reimhjul AT5	Mellomstykke aksel motor pitch	79	4	78,8	
	Festeplate rullehjul	Plate feste motor yaw	350	2	174,6	
	<b>X-akse:</b>					
	Avstiver skinner	Skinne feste	3600	2	1795,8	
	Avstiver plate x-skinne	Skinne feste	90	4	89,8	
	Skinne feste	T3SS-4	1660	4	1656,1	
	Skinne feste	Plate ende x-akse	65	4	64,8	
	Brakett motor gir	Plate ende x-akse	250	2	124,7	
	Aksel gir x	Brecoflex_VA 32 AT10	79	2	39,4	
	<b>Y-akse:</b>					
	Stotte under motor	Avstiverplate ved motor	500	4	498,8	
	Aksel gir y	Brecoflex_VA 32 AT10	126	1	31,4	
	Festebrakett motor y	Avstiver mot motor y	370	2	184,6	
	Avstiverplate ved motor y	Avstiver y-ramme ende	1640	4	1636,1	
	Avstiver mot motor y	Div rammedeler	265	8	528,8	
	Indre avstiverplate ve motor	Rammedeler	3300	2	1646,1	
	T3SS-4	Skinne feste y	1600	4	1596,2	
	Avstiverplate mellom skinner y	Avstiver mellom skinner y	3880	2	1935,4	
	<b>Z-akse:</b>					
	Skraa ror skinneror	ror ramme ril paralellaksel	180	8	359,2	
	Feste gir koverterplate	ror under motor Z	520	4	518,8	
	Ror under motor Z	ror ramme ril paralellaksel	140	8	279,3	
	Skraa ror skinneror	Ror 50X50	200	8	399,1	
	T3SS-4	Ror 50X50	430	8	858,0	
	Ror stotte motorholder Z	Feste gir koverterplate	126	8	251,4	
	Ror mellom guideror	Div fester	140	8	279,3	
	Plate til avstiver guideror	Ror mellom guideror	160	2	79,8	
	Langsgående skraa avsiver guideror	Plate til avstiver guideror	140	8	279,3	
	Tverror stotte paralellaksel	Ror ramme ril paralellaksel	140	8	279,3	
	Ror mot brakett paralellaksel	Tverror stotte paralellaksel	160	8	319,2	
	Nedre stotteror paralellaksel	Lagerholder paralellaksel	120	4	119,7	
	Ror mot brakett paralellaksel	Lagerholder paralellaksel	140	4	139,7	
	<b>Totalt sveisekostnader</b>					<b>16609,0</b>

**Ve-Gen.5.5 Tilbud fra Omron og Wittenstein**

Vedlagt følger tilbud mottatt fra Omron og Wittenstein på noen av de elektriske komponentene som tenkt at skal drive aksesystemet.

HØGSKOLEN I SØRØST-NORGE  
Attn:  
Kjølnes Ring 56  
3918 Porsgrunn  
Norway

**Deres ref:**

**Vår ref:**  
LOSMET180128-2

**Dato**  
16.05.2018

### Tilbud på Omron produkter

Til

Vi viser til samtale(r) og oversender som avtalt tilbud på OMRON (heretter kalt OEE-N) produkter. De oppgitte prisene gjelder kun ved kjøp av de produkter og antall som er spesifisert i dette tilbudet. Eventuelle avvik må avtales.

Vi håper tilbudet er satt opp etter ønske, og kan danne grunnlag for videre samtaler om ønsket leveranse.

Tilbudet er gyldig i 30 dager.

Med vennlig hilsen

Omron Electronics Norway AS  
Mette Løsness  
Desk Sales Engineer  
Tel: +47 957 05 924  
E-post: mette.losness@eu.omron.com

Vår ref:

LOSMET180128-2

Antall	Produktnr.	Produktbeskrivelse	Listepris	Rabatt %	Nettopris	Nettsum eks. mva.
1	355312	NJ-PA3001 Sysmac NJ power supply unit, 100-240 VAC, 30 W, "RUN" output relay	2 424,00	50,00	1 212,00	1 212,00
1	672485	S8VK-S24024 Book type power supply, 240 W, 24 VDC, 10 A, DIN rail mounting, Push-in terminal, Coated, undervoltage alarm	1 630,00	50,00	815,00	815,00
1	355831	GX-JC06 6-port EtherCAT Junction module, 24 VDC power supply	2 581,00	50,00	1 290,50	1 290,50
1	355309	NJ501-1300 Sysmac NJ5 CPU, 20 mB memory, built-in EtherCAT (16 servo axes, in total 192 EtherCAT nodes) and EtherNet/IP	32 210,00	50,00	16 105,00	16 105,00
Totalsum						19 422,50

<b>Samlet totalsum ekskl. m.v.a. og frakt</b>	<b>19 422,50</b>
---	------------------

**Priser:**

Prisene ovenfor er basert på OEE-Ns til enhver tid gjeldende prislister samt stipulerte antall. Alle priser er eksklusive merverdiavgift og fraktkostnader.  
Vi forbeholder oss retten til å belaste bestillinger netto under NOK 1000,- eks mva med et håndteringstillegg på NOK 200,- eks mva.

**Betalingsbetingelser:**

Netto, kontant pr. 14 dager eller i henhold til avtale. Ved for sen betaling belastes etterskuddsrente med 12% p.a.. Varen forblir OEE-Ns eiendom inntil full betaling har funnet sted.

**Leveringsbetingelser:**

FCA OEE-Ns europeiske lager i Nederland . (Incoterms 2000). Forøvrig henviser vi til Alminnelige leveringsbetingelser NL 92.

**Leveringstid:**

Leveringstid for produktene vil bli bekreftet ved mottak av ordre. Varer vi ikke har på lager vil bli restnotert. Ordrebekreftelse med ny leveringstid for restnoteringen vil bli sendt ut.

**Garanti og reparasjon:**

OEE-N forplikter seg til å levere en feilfri, funksjonsdyktig vare i samsvar med gjeldende tekniske spesifikasjoner. OEE-Ns ansvar er begrenset til å reparere/evt. sende nytt produkt ved transportskade oppstått før levering samt ved mangler som skyldes fabrikkasjons- eller materialfeil. Garantiperioden er normalt 12 måneder fra fakturadato dersom ikke annet er oppgitt i produktets datablad. Ved feil som kunden selv har forårsaket, kan OEE-N tilby kunde reparasjon mot betaling.

**Retur (gjelder kun for lagerførte produkter):**

Ved feilbestillinger innenfor tre måneder, er det mulig å returnere produkter som har en høyere kjøpspris enn NOK 1000 eks mva, og som er lagerførte produkter på vårt sentrallager i Nederland. Forutsetningen er at produktene er ubrukte, og i original, uskadet emballasje med alt innhold inntakt. Returen belastes da med opptil 20 % returbeholdning av kjøpsprisen. Returer skal på forhånd avtales med Omron da vi ordner opphenting av UPS på de steder hvor UPS har en slik service evt via vårt hovedkontor i Oslo for de steder som befinner seg utenfor UPS sitt dekningsområde.

**Tvister:**

Partene skal så vidt mulig søke å løse tvistemål i forbindelse med denne avtalen i minnelighet. Dersom dette ikke kan oppnås, er partene enige om at norsk lov skal regulere avtaleforholdet og at kapittel 32 i "Lov av 13. August 1915 om rettergangsmåten ved tvistemål" skal legges til grunn for endelig avklaring av tvisten.

Postadresse:	Besøksadresse:	Telefon: 22 65 75 00	Bankgiro: 7262.05.05758
Postboks 109, Bryn	Ole Deviks vei 6	Faks: 22 65 83 01	Foretaksregisteret:
0611 Oslo	0666 Oslo	E-post: omron.norway@eu.omron.com	NO 852 345 632 MVA



## Quotation

Page: 1 / 2

Date	Quotation no		
2018-05-18	180518-1504-JT Version 1		
City	Our reference	Your reference	Your request
Lomma	Jari Turja	Öyvind Jia-Chen Åslie	e-mail
Delivery address	Invoice address		
Høgskolan i Sørøst-Norge	Høgskolan i Sørøst-Norge		
Post box 235	Post box 235		
3603 Kongsberg	3603 Kongsberg		
NORWAY			
Currency	Payment conditions	Delivery conditions	Delivery time from factory in mainland europe
EUR	30 days net	DDP (incl normal freight)	Pos 10: 14-16 week
	after customary credit rating		Pos 20-50: 8 weeks

Article	Quantity	Price each net	Total
---------	----------	----------------	-------

Thank you for your inquiry. We are glad to offer you following:

POS 10

Ordering code: Dynamic Line 40 IP69K ratio:16, 0.5 m cable

<b>Type:</b>	<b>Dynamic Line 40 IP69K ratio:16, 0.5 m cable</b>	3	2 042	6 126
Series:	Dynamic Line 40			
Gear ratio:	16			
Material:	Stainless steel			
Protection class:	IP69K			
Cable:	0,5 m mounted on motor, connector itec 915			



POS 20

Ordering code: S/L-Kabel xxxHI-5000-BAS0-6/3

<b>Cable:</b>	<b>S/L-Kabel xxxHI-5000-BAS0-6/3</b>	3	236	708
Length:	5 m			
Type:	Flex			
Servo side:	Connector D-Sub & Phoenix contact			
Motor side:	Connector itec 915			



POS 30

Ordering code: SIM2010D-CCSA-EC00-0000-0000

<b>Drive unit type:</b>	<b>SIM2010D-CCSA-EC00-0000-0000</b>	3	964	2 892
Supply Voltage:	24VDC - 48 VDC			
Nominal Power:	500 W			
Protection class:	IP20			
Interface:	EtherCAT			



POS 40

Ordering code: Fieldbus cable EtherCAT 1m

<b>Cable:</b>	<b>Fieldbus cable EtherCAT 1m</b>	3	65	195
Length:	1 m			
Type:	Fieldbus EtherCAT			
Connector 1:	RJ45			
Connector 2:	RJ45			



Prices only valid if quotation number is mentioned when ordering

Carry forward: 9 921

NOTE: Delivery time is an estimate and can be confirmed only when order has been placed.

Offer is valid for 60 days

Delivery time with reservations made to current stock situation

For the delivery NL01 is valid. Products belongs to Wittenstein AB until fully paid.  
Interest rate will be charged after invoice due date with reference interest +8 %

[www.wittenstein.se](http://www.wittenstein.se)

**WITTENSTEIN AB**  
Strandvägen 82  
23431 Lomma

Reg Nr. 556532-6013  
VAT SE556532-601301  
Registered for F-tax

Bank SEB  
Bank Giro 5029-2408  
EUR kto 5901-82 195 33

Tel +46 (0)40-26 50 10

[info@wittenstein.se](mailto:info@wittenstein.se)





## Quotation

Page: 2 / 2

Date  
2018-05-18

Quotation no  
180518-1504-JT Version 1

City  
Lomma

Our reference  
Jari Turja

Your reference  
Öyvind Jia-Chen Åsle

Your request  
e-mail

Article	Quantity	Price each net	Total
POS 50 Ordering code: Start-Up Cable Simco Cable: Start-Up Cable Simco Length: 3 m Type: Servo side: RJ12 PC Side: D-Sub, RS232	1	47	47



Prices only valid if quotation number is mentioned when ordering

TOTAL: 9 968

NOTE: Delivery time is an estimate and can be confirmed only when order has been placed.

Offer is valid for 60 days

Delivery time with reservations made to current stock situation

For the delivery NL01 is valid. Products belongs to Wittenstein AB until fully paid.  
Interest rate will be charged after invoice due date with reference interest +8 %

With best regards

**WITTENSTEIN AB**

Jari Turja

[www.wittenstein.se](http://www.wittenstein.se)

**WITTENSTEIN AB**  
Strandvägen 82  
23431 Lomma

Reg Nr. 556532-6013  
VAT SE556532-601301  
Registered for F-tax

Bank SEB  
Bank Giro 5029-2408  
EUR kto 5901-82 195 33

Tel +46 (0)40-26 50 10

[info@wittenstein.se](mailto:info@wittenstein.se)

## Ve-Tek - Vedlegg, teknisk

---

Vedlegg: teknisk arbeid, HS-RoboTrim 2018.

---

## Innholdsfortegnelse

### Ve-Tek **Ve-Tek**

Ve-Tek.1	<b>Vedlegg til design</b>	<b>1</b>
Ve-Tek.1.1	Grunntanker bak designet	1
Ve-Tek.1.2	Begrunnelser til løsninger til Pitch	2
Ve-Tek.1.3	Begrunnelser til løsninger til Yaw	3
Ve-Tek.1.4	Begrunnelser til løsninger til X-aksen	5
Ve-Tek.1.5	Begrunnelser til løsninger til Y-aksen	6
Ve-Tek.1.6	Begrunnelser til løsninger til Z-aksen	8
Ve-Tek.1.7	Begrunnelser av løsninger til Rammeverk	8
Ve-Tek.1.8	Konklusjon og videre arbeid på produktets utforming	9
Ve-Tek.2	<b>Styrkeberegninger</b>	<b>10</b>
Ve-Tek.2.1	Problemstilling	12
Ve-Tek.2.2	Elementer	13
Ve-Tek.2.3	Styrkeberegninger for pitch-aksen	13
Ve-Tek.2.4	Styrkeberegninger for yaw-aksen	18
Ve-Tek.2.5	Styrkeberegninger for X-aksen	27
Ve-Tek.2.6	Styrkeberegninger for Y-aksen	31

Ve-Tek.2.7	Styrkeberegninger for Z-aksen	34
Ve-Tek.2.8	Deformasjon	38
Ve-Tek.3	<b>Passkile beregninger</b>	<b>40</b>
Ve-Tek.4	<b>Sveiseberegninger</b>	<b>42</b>
Ve-Tek.4.1	Sveis: Pitch	44
Ve-Tek.4.2	Sveis: rotasjon om yaw	53
Ve-Tek.4.3	Aksel med påsveisede drev tilhørende Z-aksen	58
Ve-Tek.5	<b>2D-tegninger og BOM</b>	<b>61</b>
Ve-Tek.6	<b>Fysiske krav og motordimensjonering</b>	<b>95</b>
Ve-Tek.6.1	Matlab-simulering	96
Ve-Tek.6.2	Tider for bevegelse ved valgt scenario	106
Ve-Tek.6.3	Bevegelser for aksene ved valgt scenario	107
Ve-Tek.6.4	Parametre for motordimensjonering	110
Ve-Tek.6.5	Preliminær vektestimering	112
Ve-Tek.6.6	Siemens Sizer	114
Ve-Tek.6.7	Dimensjonering av akse 1: Pitch	121
Ve-Tek.6.8	Dimensjonering av akse 2: Yaw	127
Ve-Tek.6.9	Dimensjonering av akse 3: X	131

---

Ve-Tek.6.10	Dimensjonering av akse 4: Y	135
Ve-Tek.6.11	Dimensjonering av akse 5: Z	138
Ve-Tek.6.12	Motorvalg med tanke på hygienisk design	142
Ve-Tek.6.13	Oversikt over valgte motorer	143
Ve-Tek.7	<b>Oppkoblingsdiagram</b>	<b>145</b>
Ve-Tek.8	<b>Hardwarekonfigurasjon: PLS fra Siemens</b>	<b>157</b>
Ve-Tek.8.1	Kommunikasjon	158
Ve-Tek.8.2	PLS	160
Ve-Tek.8.3	Servodrivere og servomotorer	162
Ve-Tek.9	<b>Topologiskisser</b>	<b>165</b>
Ve-Tek.9.1	Hardwarekonfigurasjon: Omron PLS	167
Ve-Tek.9.2	Hardwarekonfigurasjon: Siemens PLS	169
Ve-Tek.10	<b>Reguleringssystemet</b>	<b>170</b>
Ve-Tek.10.1	Beregning av referansevinkler basert på inputkoordinater	171
Ve-Tek.10.2	Skalering basert på girforhold	173
Ve-Tek.10.3	Transferfunksjon for motorene	173
Ve-Tek.10.4	Motorparametre	176
Ve-Tek.10.5	PID-tuning	179

Ve-Tek.10.6 Alternativt reguleringsystem ved bruk av estimator og til-  
standstilbakekobling

180

---

## Liste over figurer

Ve-Tek-Fig.1	Feste mellom yaw og pitch	4
Ve-Tek-Fig.2	Motormontering	6
Ve-Tek-Fig.4	Fester og krefter på pitch-aksen	15
Ve-Tek-Fig.5	Von Mises spenningsplot av overføringsarmen mellom kniven og akselen	16
Ve-Tek-Fig.6	Sikkerhetsfaktor, $n \leq 8$ markert i rødt	16
Ve-Tek-Fig.7	Fester og påsatte krefter i 5mm bolter	17
Ve-Tek-Fig.8	Fester og påsatte krefter i 4mm bolter	17
Ve-Tek-Fig.9	4mm's festebolt for Wittenstein Cyber d40	18
Ve-Tek-Fig.10	Yaw med pitch	19
Ve-Tek-Fig.11	Yaw før og etter forenkling	20
Ve-Tek-Fig.12	Påsatte påkjenninger og sveiseforenkling for yaw-aksen	21
Ve-Tek-Fig.13	Løper	21
Ve-Tek-Fig.14	Forenklet modell av løper til FEM-analyse	22
Ve-Tek-Fig.15	Brakett støttet med dobbel rib og støtteplate	23
Ve-Tek-Fig.16	Von Mises spenningsplot av yaw-aksen	25
Ve-Tek-Fig.17	Nodeavlesning for undersiden av braketten i yaw	26

---

Ve-Tek-Fig.18	Nodeavlesning for den lengste akselen i løperen	27
Ve-Tek-Fig.19	X-akse før styrkeberegninger	27
Ve-Tek-Fig.20	X-akse-delsystem	28
Ve-Tek-Fig.21	Avstivninger for skinnene til X-aksen	28
Ve-Tek-Fig.22	X-aksen med påsatte krefter og fikseringer	29
Ve-Tek-Fig.23	Von Mises-spenningsplot for X-aksen	30
Ve-Tek-Fig.24	Nodeavlesning av støtteplaten nærmest servomotoren	30
Ve-Tek-Fig.25	Y-akse med X-akse	31
Ve-Tek-Fig.26	Y-akse-delsystem	32
Ve-Tek-Fig.27	Y-akse von Mises-plot med fester og krefter	33
Ve-Tek-Fig.28	Avstivningsplate med grønt markerte områder som representerer spenninger $\geq 25\text{MPa}$	33
Ve-Tek-Fig.29	Nodeavlesning av avstiverplaten til Y-aksen	34
Ve-Tek-Fig.30	Rammeverk for aksesystemet med reimer for Z-bevegelse	35
Ve-Tek-Fig.31	Krefter og fikseringer for FEM-analyse	36
Ve-Tek-Fig.32	Von Mises-spenningsplot av Z-rammen	37
Ve-Tek-Fig.33	Nodeavlesning rundt den røde spenningskonsentrasjonen i øverste firkantprofil i Ve-Tek-Fig.30 Z-rammen	38
Ve-Tek-Fig.34	Spenningsfordeling på en passkile	40



---

Ve-Tek-Fig.35	Figur a viser retningen på kreftene og figur b viser hvordan sveisen vil se ut.	44
Ve-Tek-Fig.36	Kraften $F_T$ og de dekomponerte kreftene $F_{Ty}$ og $F_{Tz}$ .	46
Ve-Tek-Fig.37	Viser forenklingen og hvor A- og B-snittet er plassert.	48
Ve-Tek-Fig.38	Diagram for beregning av polart treghetsmoment ( $i_p$ )	51
Ve-Tek-Fig.39	Beregninger på sveisen som binder låsekoppen og festebrakettene sammen.	53
Ve-Tek-Fig.40	Figuren viser kreftene som fører til spenninger i sveisen.	54
Ve-Tek-Fig.41	Figuren viser kreftene i X- og Y-retning og momentet til kraften i Z-retning.	56
Ve-Tek-Fig.42	Drev med sveis	58
Ve-Tek-Fig.43	Drev fra siden med sveis	59
Ve-Tek-Fig.44	Scenario for fysiske analyser med flekkposisjon. Det svarte rektangelet er arbeidsområdet til systemet. Generert i Matlab.	106
Ve-Tek-Fig.45	Definering av det mekaniske systemet	115
Ve-Tek-Fig.46	Måten systemets bevegelse defineres i Sizer.	117
Ve-Tek-Fig.47	Resulterende graf for systemet. X-aksen er tid. Den stiplede linjen er hastighetsgrafene og den heltrukne linjen er akselerasjonen.	118
Ve-Tek-Fig.48	Resulterende dreiemomentsgraf med gir. Den stiplede linjen er hastigheten og den heltrukne linjen er dreiemomentet.	120
Ve-Tek-Fig.49	Resulterende motorparametre	121

Ve-Tek-Fig.50	Rotasjonsakse for treghetsmoment, akse 1, pitch	122
Ve-Tek-Fig.51	Tilnærming som en punktmasse med samme treghetsmoment	123
Ve-Tek-Fig.52	Definert bevegelse for pitch i Sizer	125
Ve-Tek-Fig.53	Wittenstein Cyber d40	126
Ve-Tek-Fig.54	Rotasjonsakse for treghetsmoment, akse 2, yaw	127
Ve-Tek-Fig.55	Definert bevegelse for yaw i Sizer	129
Ve-Tek-Fig.56	Operasjonsgraf for Cyber d40 [43]	130
Ve-Tek-Fig.57	Definert bevegelse for X-aksen i Sizer	132
Ve-Tek-Fig.58	Kollmorgen AKMH32	133
Ve-Tek-Fig.59	Definert bevegelse for Y-aksen i Sizer	136
Ve-Tek-Fig.60	Kollmorgen AKMH52	137
Ve-Tek-Fig.61	Definert bevegelse for Z-aksen i Sizer	139
Ve-Tek-Fig.62	Kollmorgen AKMH64	140
Ve-Tek-Fig.63	Topologiskisse. Siemens.	157
Ve-Tek-Fig.64	Profinet	158
Ve-Tek-Fig.65	Siemens SMC20	159
Ve-Tek-Fig.66	Simatic S7-1500	160
Ve-Tek-Fig.67	Simotion C240P	161

---

Ve-Tek-Fig.68	Wittenstein Small servo drive system	162
Ve-Tek-Fig.69	Siemens SINAMICS S120 Booksize	163
Ve-Tek-Fig.70	Eksempel på skaleringsfaktorer for referansesignalene.	172
Ve-Tek-Fig.71	Eksempel på skaleringsfaktorer for utgangssignalene.	172
Ve-Tek-Fig.72	Motorens transferfunksjons posisjon i reguleringsystemet, her med Z-aksen som eksempel.	174
Ve-Tek-Fig.73	Eksempel på hvordan "control-law" og observer kan implementeres for et system på tilstandsromformen [79]	184
Ve-Tek-Fig.74	Eksempel på hvordan "control-law" og observer kan implementeres i Simulink for et system på tilstandsromformen.	185
Ve-Tek-Fig.75	Eksempel på hvordan systemet er implementert med referansesignal i Simulink.	186
Ve-Tek-Fig.76	Skaleringsfaktorer for referansesignalet.	187
Ve-Tek-Fig.77	Responser til systemets posisjon med firkantsignal som referanse.	188
Ve-Tek-Fig.78	Responser til systemets rotasjonshastighet med firkantsignal som referanse.	189
Ve-Tek-Fig.79	Responser til systemets dreiemoment med firkantsignal som referanse.	190

## Liste over tabeller

Ve-Tek-Tab.1	Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger	10
Ve-Tek-Tab.2	Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger	11
Ve-Tek-Tab.3	Optimalisering av brakett	24
Ve-Tek-Tab.4	Optimalisering av spenningsoverføring fra kopp til brakett	24
Ve-Tek-Tab.5	Beskrivelse av variabler	43
Ve-Tek-Tab.6	Oversikt: 2D-tegninger og BOM	62
Ve-Tek-Tab.7	Variabler og symboler brukt i vedlegg om fysiske krav og motordimensjonering	95
Ve-Tek-Tab.8	Vektestimering	113
Ve-Tek-Tab.9	Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.	143
Ve-Tek-Tab.10	Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.	144
Ve-Tek-Tab.11	Oversikt: Oppkoblingsdiagram	145
Ve-Tek-Tab.12	Elektriske komponenter brukt i topologiskisse med Siemens PLS	157
Ve-Tek-Tab.13	Oversikt: Topologiskisser	165
Ve-Tek-Tab.14	Harwarekonfigurasjon, topologiskisse med Omron-PLS	167
Ve-Tek-Tab.15	Harwarekonfigurasjon, topologiskisse med Siemens-PLS	169



## **Ve-Tek.1 Vedlegg til design**

Den følgende teksten er inneholder begrunnelser og løsninger for designet som er beskrevet i hoveddokumentasjonen i Tek-Ma.3.1. For mer detaljer sammensetning av komponentene henvises det til BOM-tegningene i Ve-Tek.5

### **Ve-Tek.1.1 Grunntanker bak designet**

Bak designet av dette systemet ligger det flere grunntanker og designmål som har blitt prøvd å designe mot. Noen av disse vil nå bli diskutert. Utgangspunktet er tatt i kravene og designparameterne som er laget til prosjektet i Kd.1 og Kd.1. Belastningene som er gjort på akselerasjonene har også hatt stor innvirkning på designprosessen da dette aspektet setter kravene til styrken til komponentene til systemet.

Med bakgrunn hygienisk design har det gjennom designet av systemet vært designet mot å få flest mulige åpne løsninger. Dette er for å lett tillate vask av systemet noe som er essensielt ved et system som skal kunne brukes i matvareproduksjon da bakterier kan lett samles på slike plasser. Disse områder vil derfor kunne utgjøre en høy risiko for matvaresikkerheten. Denne parameteren kommer fra designdokumentet som er laget for de hygieniske aspektene til prosjektet; se Kd.1.1

Selv om designet er designet mot flest mulig åpne løsninger kan ikke dette tillates på alle steder. Disse stedene er det designet mot å tette helt og dermed hindre at bakterier og vann kan trenge inn. Denne løsningen er i all hovedsak blitt valgt inn til braketter og fester med interne lagre da lagrene ikke kan tillates å vaskes. Årsaken er deres interne smøring samt at de har delvis lukkede overflater som gjør en komplett dekontaminasjon med vask umulig.

Det har også vært fokus på å velge strukturelt sterke, men lette løsninger i systemet. Et eksempel på dette er benyttelsen av trekantkonstruksjoner som er en av de sterkeste konstruksjonsmessig formene som kan brukes [80]. Trekantkonstruksjoner er benyttet flere steder i designet deriblant støtteplater på siden av løperaksene i x og y samt rammeverket som er den ytterste delen av det mekaniske systemet.

Det er prøvd gjennom designet å bruke ferdige deler fra produsenter, men få hygienisk komponenter med riktig materialer er blitt funnet og flesteparten av delene som har blitt brukt er designet selv. Bakgrunnen til dette er de strenge kravene til både overflateruhet og materialer som har satt begrensninger på delene som har kunnet bli implementert i designet.

Et annet fokusområde under designet er å ha et modulært system. Løsningene som har blitt designet og utviklet vil kunne lette opp- eller neddimensjoneres avhenging av akselerasjoner og bevegelsesområder til aksene. Alle aksene er nær frittstående noe som medfører at løsningene i en akse er uavhengig av hverandre. Løsningene for de individuelle aksene vil kunne brukes på andre systemer uten å være avhengig av å akkurat aksene som er utviklet i dette systemet rundt seg for å fungere.

### **Ve-Tek.1.2 Begrunnelser til løsninger til Pitch**

Som forklart i Tek-Ma.3.2.1 ligger pitch aksene i xy-planet og danner sammen med yaw, rota-sjonen om z bevegelsesfrihetene systemet trenger for å oppfylle kravene til vinklingen ned mot arbeidsområdet. Pitch aksene ble valgt å ligge i senter under z-aksene for å skape minimalt med avvik i kutteplanet basert på vinklingen om z-aksene. Dette ble gjort for å redusere belastningene og bevegelsen av motorene som i det neste leddet styrer yaw.

Systemets end-effector, kniven, ble plassert på en plate som er sveiset til akselene som som roterer for pitch aksene. Her ble det valgt sveis på grunn av det fantes andre hygieniske løsninger som ikke ville skapt dødsoner i designet. Dødsoner må unngås da det er en kilde til kontaminasjon og bakterievekst. Akselen er opphengslet i to lagerhus eller braketter. Internt i hver av disse lagerhusene ble det valgt å bruke kulelager som akselen hektes i. Lagrene er låst fast i brakettene med låseringer for å hindre en aksiell forflytning under bevegelsen.

På den ene siden av denne akselen sitter en Wittenstein Cyber D40 motor med intern girboks. Denne motoren er godkjent for IP69k som er essensielt da motoren vil måtte kunne bli vasket med høytrykksvask. For å montere denne motoren til akselen den driver med tette løsninger inn i braketten den er festet mot ble det valgt å lage en plate som tettes i på begge sider med o-ringer mot både motor og pakning

mot brakett. For å gjøre demontering mulig blir motoren skrudd fast i platen og platen festet i braketten. Boltene som er brukt for å montere overgangen i braketten er av typen som forklart i Tek-Ma.3.4 som er godkjent for bruk i matvareproduksjon.

For å tette overgangen mellom akslingen brakettene ble det valgt å bruke simmeringer som beskrevet i Tek-Ma.3.2.1. Årsaken til dette er at en slik løsning vil både tette og muliggjøre demontering for inspeksjon og vedlikehold.

Brakettene som brukes er av forskjellige størrelser som nevnt i Tek-Ma.3.2.1. Braketten med motoren trenger å være større enn den andre braketten på grunn av skruforbindelsen som holder motoren og platen for overgangen på plass. Selv om det er ønskelig å holde massesenteret til denne akslen så nær senter på rotasjonsaksen for z-aksen den roterer om for å unngå avsentrert last som kan skape kast i akselen til z-aksen ble løsningen med å redusere størrelsen på braketten på den ene side valgt. Grunnen til dette er at den reduserte vekten i pitch vil gi et lavere treghetsmoment som igjen vil redusere belastningene som driver rotasjonen om z. Hvis ikke denne løsningen hadde blitt valgt ville man måtte økt motorstørrelsen til motorene om denne akslen. Dette hadde vært svært ugunstig for denne situasjonen ville skapt ringvirkninger oppover i systemet og de neste aksene ville også måtte blitt oppdimensjonert.

### **Ve-Tek.1.3 Begrunnelser til løsninger til Yaw**

Bindeleddet mellom yaw og pitch er en U-formet brakett sveiset til brakettene som holder akselen i pitch og er skrudd fast i senterakselen til yaw, se Tek-Ma-Fig.23. Bakgrunnen til denne formen er for å tilrettelegge for bevegelsen av røret som skal monteres på kniven for å suge opp restene av kuttingen når pitch-aksen roteres. I versjonen som nå beskrives er denne delen sveiset fast til braketten. Dette må byttes ut med bolting hvis systemet skal lages for å ha mulighet til å demontere og bytte lagrene som ligger i disse brakettene.

På toppen av u-braketten er det sveist en kopp som har et kilespor som kilen til senterakselen i yaw kan overføre rotasjonen ned til pitch-konstruksjonen. Selv om dette ikke er en roterende aksel i et ledd er det valgt å bruke simmering for å tett her da andre løsninger ikke viste seg å være gode eller tette nok. For å overføre rotasjonen

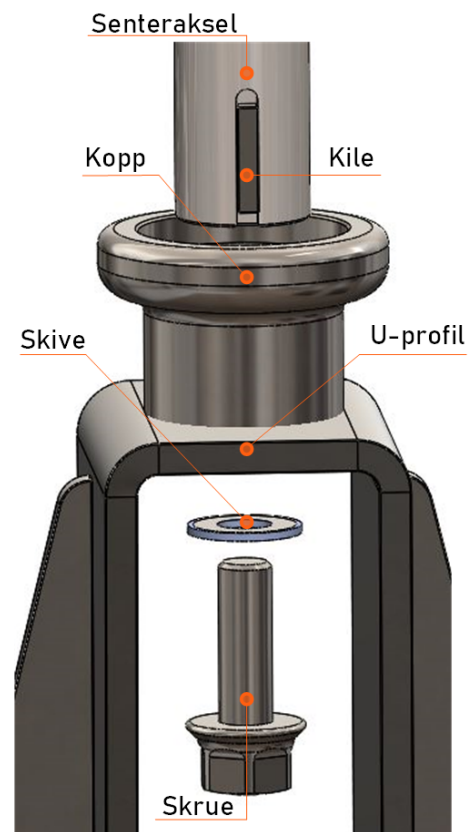


låses akselen og koppen som er sveiset på toppen av u-profilen en kile. Denne overgangen vises på Ve-Tek-Fig.1. Øverst på figuren vises akselen senterakselen med kilen plassert på midten. I senter er koppen som er sveiset på u-profilen og på bunnen bolten som sitter under koppen.

Sentereakselen er som nevnt i Tek-Ma.3.2.2 festet i en akselholder som er sveiset til løperens ramme. Oppgaven til denne akselholderen er å ta opp de aksielle og radielle belastningene som kommer hovedsakelig av bevegelsen fra de kartesiske aksene. Ved å ta opp belastningene i bunnen av løperen og ikke i toppen reduserer momentet som må tas opp da lengden på akselen før de radielle kreftene tas opp kortes ned. Senterakselen er og så opplagret i toppen av løperen på grunn av reim-plasseringen som er over akselholderen som nettopp er diskutert.

Motorplasseringen er langs med løperens bevegelsesretning for å kunne redusere lengden bredden på rammeverktet til x-aksen. Det er valgt å montere motorene til yaw på oversiden av løperen. Den ene grunnen er at det øker avstanden til matsonen som er viktig for det hygieniske aspektet. En annen grunn er å få massesenteret til løperen til å ligge i senter i z retning. Ved å ha sentrert dette massesenteret vil belastningen på hjulene til løperen må ta opp reduseres da momentet som utvikles i løperen reduseres.

Som nevnt i Tek-Ma.3.2.2 er det montert akselholder på undersiden av platen der motorene er festet. Årsaken til dette er å fjerne den radielle kraften motoren utsettes for samtidig som å holde akselen i aksial retning. Det ble funnet ut ifra datablad [45] til motorene som brukes at dette var nødvendig da den radielle lasten motorene tåler er lavere enn den som blir utviklet i reimene Ve-Tek.2.4.



**Ve-Tek-Fig.1:** Feste mellom yaw og pitch

Formen på akselholderen er vanskelig å produsere, men produksjonskostnaden ble veid opp mot at vekten kan reduseres nok ved å bruke denne formen til at de økte kostnadene vil kunne forsvares. Holderen blir festet til løperne med bolter for å kunne ha mulighet til å skifte de interne lagrene i holderen.

Remdriften som blir benyttet er ny fra forrige design. Opprinnelig var det brukt en tannhjulsveksling for denne bevegelsen, men den viste seg å ikke være hygienisk. Reimene er satt opp på en slik måte i løperen at de lette kan flyttes av drevene de løper over slik at både tennene og reimen lett kan bli vasket uten vanskelig demontering.

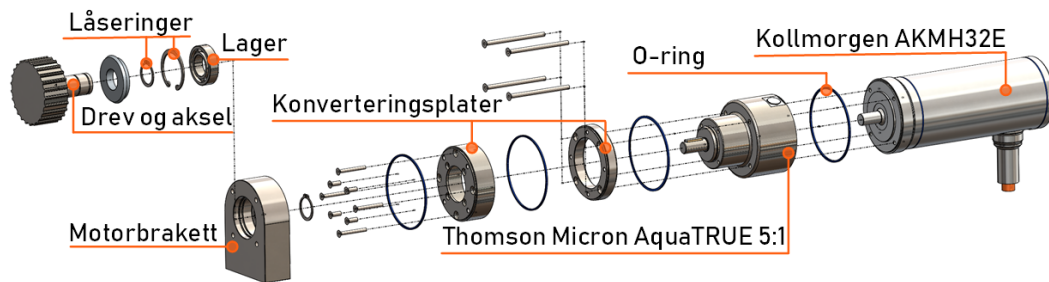
#### **Ve-Tek.1.4 Begrunnelser til løsninger til X-aksen**

Som beskrevet i Tek-Ma.3.2.3 bruker x-aksen et rammeverk med skinner og en løper for å bevege seg. For bevegelsen er brukt det også her reimdrift. Rammeverket er som nevnt i Tek-Ma.3.2.3 forsterket med plater på siden da det viste seg etter FEM-analyser av den opprinnelige strukturen ikke tålte belastningene den ble utsatt for. Platene som sitter på siden anbefales å vannskjæres da dette ikke vil endre materialets egenskaper som ved bruk av plasmakutting. Stålet som det er designet med er det samme som for de andre aksene, AISI 316. Det er valgt her å bruke trekantkonstruksjon i platens utforming av grunner som er forklart i Ve-Tek.1.1.

Rammeverket til aksene er en sveiset konstruksjon som har høye krav til presisjon og vil derfor krev jigg for å kunne sveises opp. Hvis ikke vinklene på denne konstruksjonen er riktige vil dette kunne medføre avsporing av løperen og hvis ikke hele endene er vinklet riktig vil hjulene til hele x-aksen kunne spore av.

Innfestingen av motoren fungerer på samme måte som for yaw-motorene med feste i enden mot braketten med opplagring for å redusere lasten på den drivende akselen. Forskjellen her er at motoren må monteres på et planetærgir for å kunne klare å drive bevegelsen. På grunn av plasseringen av festehullene på giret som står på en  $45^\circ$  både for montering fra motor til gir og gir til innfestingspunkt må de lages en konverteringsplate som flytter hullene de ytterste hullene  $45^\circ$  av den opprinnelige plasseringen. Hvis ikke dette gjøres vil ikke giret og motoren kunne festes på en hygienisk måte uten overlapp av skiver og bolter som vil føre til ufullstendig tetning.

Et eksempel montering av Kollmorgen motorene vises på Ve-Tek-Fig.2.



**Ve-Tek-Fig.2:** Motormontering

Reimen som overfører kraften og dermed også bevegelsen til løperen er klemt fast imellom to plater i løperen. Den ene platen har samme profil som tannreimen noe som hjelper til å holde reimen på plass. Ved vasking må denne reimen løsnes, men kan lett synkroniseres igjen ved å merke reimens tannposisjon.

### Ve-Tek.1.5 Begrunnelser til løsninger til Y-aksen

Flere av løsningen som er brukt i y-aksen bygger på løsningene som er bruk til x-aksen. Som forklart i Tek-Ma.3.2.4 løper hele rammen for x-aksen langs skinnene motert til rammen for y-aksen bevegelse. Skinnene og hjulene er de samme for begge aksene, men det er flere hjul i denne konstruksjonen på grunn av den økte vekten som må holdes oppe.

Rammen er en sveiset konstruksjon i AISI 316 stål. Valget falt også i denne konstruksjonen på å bruke sveis i stedet for bolting av elementene. Bakgrunnen for dette er av samme grunn som for x-aksens ramme med problemer som oppstår med boltede platet til platekontaktpunkter. Hvis løsningen med bolting hadde vært valgt for denne rammen ville måtte demontert og montert sammen rammen for å kunne få vasket tilstrekkelig noe man unngår ved sveis. Dermed kan det forsvares å bruke den noe vanskeligere produksjonsmetoden med sveis. Et annet aspekt er også at man kun trenger å rette av og justere og rette skinene kun én gang noe som måtte vært gjort hver gang man hadde boltet sammen konstruksjonen.

Vekten til rammen er relativt høy, nær 68 kg. Dette er et resultat av belastningene som den utsettes for da akselerasjonene rundt rammen er høye, se Ve-Tek.6.3, samt at materialene er av stål som har høy spesifikk vekt som resulterer i at rammen må tåle høye belastinger. Hvis rammens vekt skal reduseres må bevegelsesområdet gå ned eller prosesseringstiden per fiskefilét gå opp.

Rammen er forsterket med støtteplater på samme måte som for x-aksens ramme som viste seg å være nødvendig etter FEM-analyser for y-aksen, se Ve-Tek.2.6. Motorene som er valgt kommer utifra analyser som er gjort på bevegelsen med massen av x-aksen som skal forflyttes Ve-Tek.6. Det er valgt å lage denne rammen på samme ståltype, AISI 316, blant annet grunnet eliminering av mulighet for galvanisk korrosjon som kan opptre mellom materialer med to forskjellige galvaniske potensialer i et elektrolytisk miljø [81]. Samme prinsipp gjelder for hele systemet og derfor er det valgt å bruke i all hovedsak samme stål på alle delen i systemet.

Rammen har noen problemområder med hygieniske design. Dette gjelder spesielt ved endeplatene som er plassert der for å få strukturell styrke. Det bør i den videre utviklingen av systemet sees på endringer og andre løsninger som er mer hygieniske med samme styrke som platen.

Innfestningen av motor og gir er gjort på samme måte som for x-aksen da samme problematikk med festhullene eksisterer også her da girene er fra samme serie som brukt i aksens under.

Utformingen overgangen mellom konverteringsplatene mot giret til motorbraketten har ikke rene sirkulære overflater. Bakgrunnen for dette er at det må settes inn nedsenkede bolter i konstruksjonen for å klare å holde overføringen tett. Selv om utformingen på denne delen krever flere produksjonsteg ble denne løsningen valgt for å kunne tilfredsstillte tetningen som kreves ved hygienisk design.

Som nevnt i Tek-Ma.3.2.4 er det festet monteringsplater til siden av rammen til denne aksens som skal brukes til montering av reimene som skal flytte hele rammen opp og ned i z-retning.

Det ble under designet valgt å sette på støtteplater på baksiden av disse festepunktene for å øke styrken til dette opphengspunktet. Denne platen ligger mot skinnegangen og forstærkningsplattene. Platen er sveiset fast for å unngå problemer med kontaminasjon samt at gir et stor overflateareal å overføre kreftene på.

### **Ve-Tek.1.6 Begrunnelser til løsninger til Z-aksen**

Bevegelsen for z-aksen består av de bevegelige delene samt rammeverket som er plassert på gulvet. Rammeverket vil bli forklart for seg selv i Ve-Tek.1.7.

Som nevnt i Tek-Ma.3.2.5 vil z-aksen bruke fire reimer for å løfte de indre aksene. Dette er valg for å kunne få et jevnt løft i alle hjørner av rammeverket til y-aksen. På denne måten vil det ikke skape unødvendige radielle belastninger på hjulene montert til rammen på y-aksen, og skinnene som er montert til rammeverket som ville oppstått hvis løftet hadde vært skjevt.

For å drive reimenene er de valgt å bruke en felles aksel mellom motorene som sitter på hver side av rammeverket. Bakgrunnen for dette er av samme grunn som forklart i forrige avsnitt. Ved å bruke denne felles akselen vil synkroniseringen av løftet få ytterligere økt presisjon.

På samme måte som for motorene brukt i x- og y-retningen eksisterer problematikken med innfesting av motor mot gir også her, men løsningene er noe anderledes. Ved å bruke den ene platen til konverteringen som brakett til innfesting ett steg lengre inne mot motorene vil man få redusert momentet som genereres ved at disse motorene er plassert horisontalt da avstanden til massesenteret vil bli redusert.

### **Ve-Tek.1.7 Begrunnelser av løsninger til Rammeverk**

Rammen som z-aksen er festet til er designet for å bli implementert i et hygienisk design. Alle firkantrør er vinklet  $45^\circ$  slik at hjørnene peker oppover for å hindre vannansamlinger i områdene der rørene er sammenføyd med hverandre. Dette designet vil gi en kontinuerlig drenering av det stillestående delen av systemet.

De vertikale rørene i konstruksjonene er også vinklet med mer enn  $3^\circ$  fallvinkel etter KR-27, se Kd.1. For at disse rørene ikke skal fylles med vann og rester som kan føre til kontaminasjon er disse tette med lokk som er sveiset til rørene.

### **Ve-Tek.1.8 Konklusjon og videre arbeid på produktets utforming**

Konstruksjonen som har blitt utarbeidet bærer preg av de høye akselerasjonene som systemet skal tåle. Skal systemet størrelsesomfang bli redusert må kuttetiden per fisk gå opp eller hastigheten på båndet gå ned. En annen mulighet er å se på om tilfellet av plassering av melaninflekker på fileten er reelt eller ikke. Dersom det sjeldnere kommer tre flekker, eller flekkene er spredt plassert kan systemets akselerasjon gå ned noe som resulterer i at både størrelse og vekt kan reduseres.

Det anbefales fra et mekanisk synspunkt å endre innfestningen på kniven som brukes i systemet. Sidemonteringen som brukes ved det nåværende designet fører til unødvendige bevegelser i de kartesiske aksene, da avstanden til akselen kniven er festet avhenger i veldig stor grad av vinklingen til kniven. Det anbefales derfor å se nøyer på en mer sentrert innfestning på kniven som vil redusere de kartesiske aksenes bevegelse.

## Ve-Tek.2 Styrkeberegninger

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$\sigma_{vM}$	Von Mises Spenning	$N/mm^2$ (MPa)
$\sigma_{xx}$	Normalspenning normalt til X-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\sigma_{yy}$	Normalspenning normalt til Y-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\sigma_{zz}$	Normalspenning normalt til z-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\tau_{xy}$	Skjærspenning i XY-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\tau_{yz}$	Skjærspenning i XY-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$\tau_{zx}$	Skjærspenning i XY-plan	$N/mm^2$ (MPa)
$F$	Vilkårlig kraft	N
$n$	Sikkerhetsfaktor	Benevningsløs
$\sigma_f$	Flytespenning	$N/mm^2$ (MPa)
$T_\infty$	Omgivelsestemperatur	$^\circ C$
$a_x$	Akselerasjon langs X-akse	$m/s^2$
$a_y$	Akselerasjon langs Y-akse	$m/s^2$
$a_z$	Akselerasjon langs Z-akse	$m/s^2$
$\alpha_p$	Vinkelakselerasjonen for pitch	$rad/s^2$
$\alpha_y$	Vinkelakselerasjonen for yaw	$rad/s^2$
$m$	Vilkårlig masse	kg
$d$	Vilkårlig diameter	mm
$M_{v,y}$	Torsjonsmoment for yaw	Nm

**Ve-Tek-Tab.1:** Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$r_d$	Deleradius drev yaw	m
$A$	Vilkåerlig areal	$mm^2$
$\sigma(F, A)$	Vilkåerlig normalspenning med to variabler	$N/mm^2$ (MPa)
$m_l$	Masse løper	kg
$N$	Antall komponenter som skal beregnes	Benevningsløs
$F_z$	Kraft langs Z-akse	N
$F_y$	Kraft langs y-akse	N
$F_x$	Kraft langs x-akse	N
$m_x$	Masse X-akse	kg
$x$	Avstiverplate avlesningslengde	m
$E$	Elastisitetsmodul	$N/mm^2$ (MPa)
$e$	Tøyning	Benevningsløs
$d\ell$	Torsjonsmoment for yaw	Nm
$\ell$	Torsjonsmoment for yaw	Nm
$\delta$	Deformasjonsforflytning	mm
$\delta_t$	Resultantdeformasjons - forflytningen	mm

**Ve-Tek-Tab.2:** Variabler og symboler brukt i vedlegg for styrkeberegninger



Styrkeberegninger i dette dokumentet er utarbeidet ved hjelp av ”elementmetoden” (Finite Element Method). Beregningene skal verifisere aksesystemets fysiske parametere mot kravene gitt av TE. SolidWorks Simulation (heretter SWS) Static Study blir brukt som verifikasjonsverktøy. Resultater og antagelser som er gjort er begrunnet og forklart. Målet med analysene er å optimalisere vekt i forhold til styrke for systemet, og i tillegg til dette danne et bilde av levetiden som kan forventes av systemet.

Elementmetoden brukes aktivt i en rekke problemstillinger som matematisk lar seg beskrive av partielle differensialligninger eller integralligninger [82]. Metoden brukes aktivt i dag for styrkeberegninger i to- og tre-dimensjonale problemer. Knutepunktkrefter defineres og virtuelle forskyvningsprinsipper etablerer en stivhetsrelasjon mellom knutepunktkreftene som resulterer i et spennings- og deformasjonsplot av modellen [82].

### **Ve-Tek.2.1 Problemstilling**

Komplisert geometri krever fin mesh, noe som kan resultere i at SWS-analysene blir ressurskrevende og langsomme. Ressursbruken er direkte proporsjonal med antall elementer og frihetsgrader (degrees of freedom) i modellen. Effektivisering av tilgjengelige ressurser krever at systemet analyseres selektivt inndelt, akse for akse. Forenklinger kan bidra til redusert ressursbruk og skal ha minimal påvirkning på resultatene man får ut av analysen.

Spenningstilstandene er fleraksede og varierer med tid, dette kalles en dynamisk spenningsstilstand [83]. Dynamisk belastning kompliserer styrkeberegningene betraktelig ettersom variabler som tid og posisjon må tas med. Research av programvarene *ANSYS* og Autodesk's *Inventor* har blitt gjennomført for å kartlegge muligheter innenfor dynamisk analyse. Det viste seg derimot at programvarene ikke hadde funksjonene som var ønsket for å gjennomføre dynamiske analyser av god kvalitet. Analysene er derfor basert på posisjonene som resulterer i de høyeste spenningene i statiske analyser.

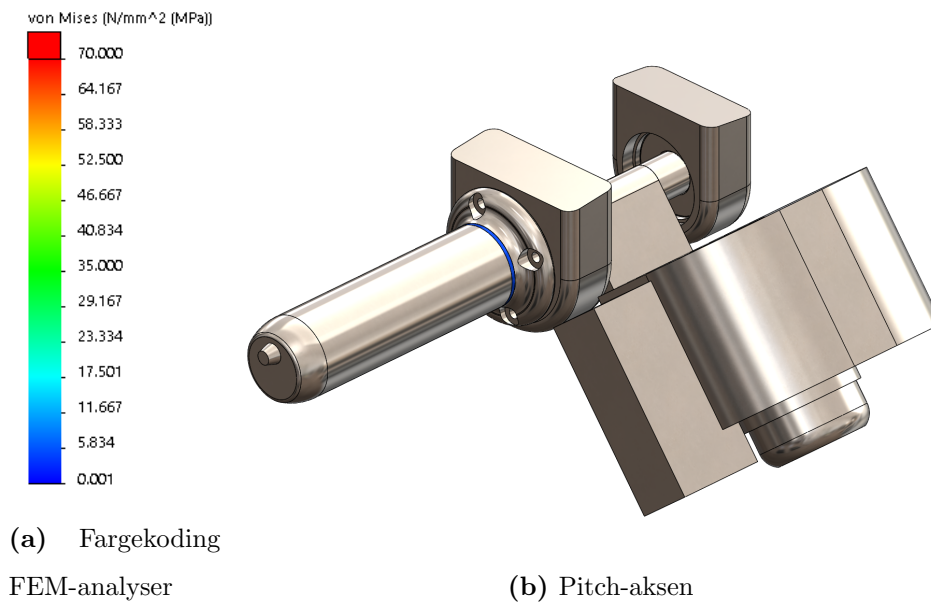
### Ve-Tek.2.2 Elementer

SWS har under *mesh* elementtype-valgene: "Standard mesh", "Curvature mesh" eller en blanding av disse to. "Standard mesh" gir en uniform pyramideformet elementfordeling som normalt gir elementer med et lavt sideforhold (aspect ratio). Sideforholdene til elementene påvirker resultatet og de etterstrebes å være så nærme **én** som mulig. Høy grad av små fillets og små komponenter kan ha geometri som utgjør et sideforhold betraktelig større enn én ved bruk av kun "Standard mesh". "Curvature mesh" kan dermed brukes på mer komplekse deler. Sideforholdet kan brukes som et verktøy for å bekrefte om valget av størrelsen og elementtype er tilfredstillende [84].

Figuren vist i Ve-Tek-Fig.3a viser fargekoder som brukes i spenningsplot fra FEM-analyser. Den høyeste verdien er 70 MPa og er markert med rødt. Røde områder i spenningsplottene for analysene nedenfor er altså spenninger lik, eller over 70 MPa.

### Ve-Tek.2.3 Styrkeberegninger for pitch-aksen

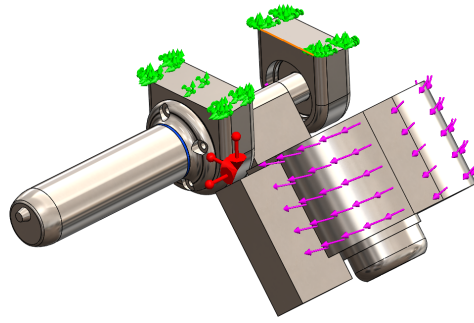
Ve-Tek-Fig.3b viser delsystemet som roterer om pitch-aksen. Delsystemet har et stort antall små kanter og avrundinger. Det ble derfor inndelt i tre analyser, der to av analysene tar for seg boltene til motoren. Punktansamlinger med høy spenningskonsentrasjon er av interesse i analysene. Kulelagrene har en intrikat geometri, disse ble under analysen byttet ut med to skiver med lik ytre geometri for å unngå uhåndterlige former og vanskelig mesh.



”Standard mesh” med en global størrelse på 4mm er brukt for å få en tilfredstillende mesh. Overflater under større påkjenninger er meshet forfinet (mesh-kontroll). På akselen, kulelagrene og overføringsarmen er det utført en mesh-kontroll med en elementstørrelse på 1mm. Det er spesielt verdt å merke seg at 97,6 % av elementene har et sideforhold mindre enn 3. Et ”Mesh Quality Plot” avslører at elementene med større sideforhold ligger utenfor interesseområdet. Meshet er derfor tilfredstillende.

Overordnet kontakt i analysen er ”Bonded”. Kontaktoverflatene i sammenstillingene vil fiksjonelt være ”limt” sammen. ”Contact Set” mellom overflaten til akselen og lagrene blir satt til ”No Penetration” ettersom kulelagrene kun skal ta imot radielle krefeter.

Delsystemet i Ve-Tek-Fig.3b er festet til resten av aksesystemet i brakettene som er representert med en ”Fix”. ”Fix” forhindrer bevegelse i alle retninger. Vandring av akselen i aksiell retning forhindres med en ”Roller” på endeoverflaten av akselen. Kontaktoverflaten mellom kniven og overføringsarmen har også en ”Fix” som hindrer rotasjon. Påkjenningene systemet vil være under i dette tilfellet er akkurat i det øyeblikket systemet starter fra en tiltet 45 graders posisjon. Festene er vist med grønne piler i Ve-Tek-Fig.4.



**Ve-Tek-Fig.4:** Fester og krefter på pitch-aksen

Delsystemet har en flerakset akselerasjon hvorav de høyeste akselerasjonene til systemet er oppgitt nedenfor. Akselerasjonene nedenfor er basert på Ve-Tek.6.

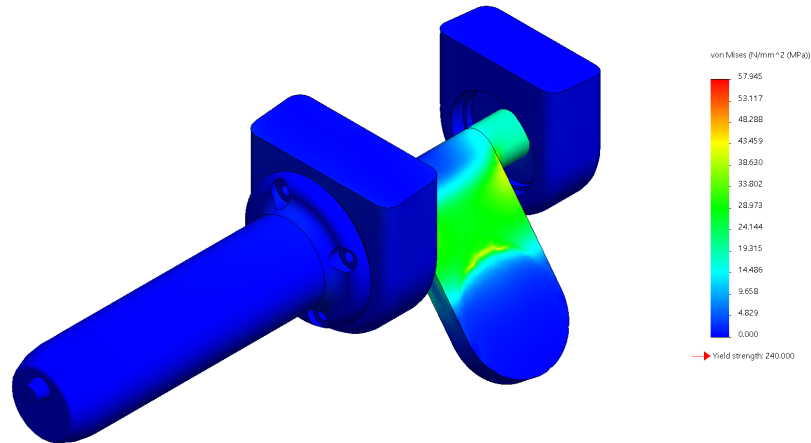
- X-aksen:  $a_x = 18m/s^2$ .
- Y-aksen:  $a_y = 39m/s^2$ .
- Z-aksen:  $a_z = 47m/s^2$ .
- Pitch og Yaw:  $\alpha_p = \alpha_y = 205rad/s^2$

Motorene som beveger yaw tilfører et maksimalt dreiemoment på 16 Nm (lilla piler i Ve-Tek-Fig.4), og motoren til pitch leverer opp til 8 Nm. Kraftene i systemet om de forskjellige aksene er gitt av Newtons 2. lov:  $F = ma$  [32]. Formelen definerer kraftene i systemet som proporsjonale med akselerasjonen og massen. Det er også en sentripetalkraft fra rotasjonshastigheten rettet innover mot rotasjonsaksen.

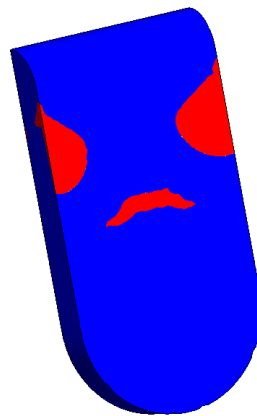
### Ve-Tek.2.3.1 Resultater

Von Mises-spenningsplottet er vist i Ve-Tek-Fig.5 hvorav den maksimale spenningen er 59 MPa og befinner seg i kanten mellom overføringsarmen og akselen. Sikkerhetsfaktoren for akselen i delsystemet er:  $n = \frac{240MPa}{58MPa} = 4,1$  (delene er laget av AISI 316). Dette er en høy sikkerhetsfaktor, men den kan forbli slik på grunn av uforutsigbare kjerv ved sveisingen mellom overføringsarmen og akselen. Ve-Tek-Fig.6 viser et sikkerhetsfaktor-plot av akselen hvorav det røde området representerer  $n < 10$ .

Det er vanlig å dimensjonere sikkerhetsfaktor for aksler under dynamisk belastning med en kjervvirkning på  $n = 5$  som tidligere nevnt i **Tek-Ma.4.3 Sikkerhetsfaktor**.



**Ve-Tek-Fig.5:** Von Mises spenningsplot av overføringsarmen mellom kniven og akselen

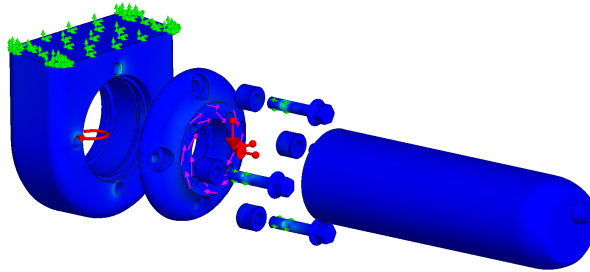


**Ve-Tek-Fig.6:** Sikkerhetsfaktor,  $n \leq 8$  markert i rødt

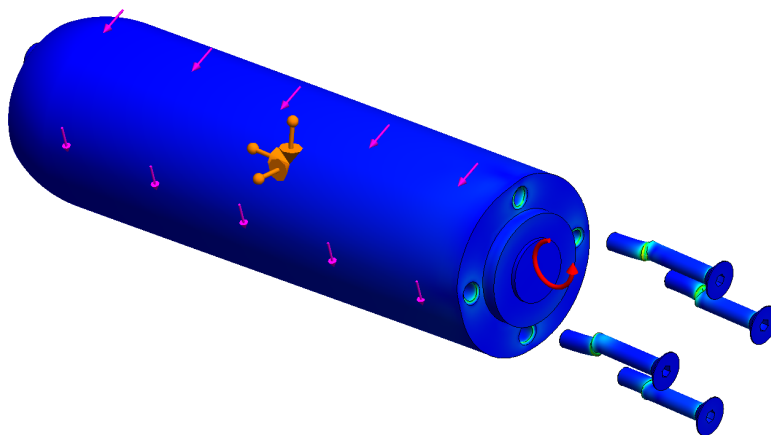
### Ve-Tek.2.3.2 Fester for Wittenstein Cyber d40

Wittenstein Cyber d40 er festet med totalt åtte bolter. De minste boltene ( $d = 4mm$ ) holder kun motoren, mens  $d = 5mm$  boltene holder festeanordningen, pakningene og motoren.

Boltene blir tilført spenninger fra de lineære akselerasjonene samt momentet fra servomotoren. Skjærspenningene fra dette vridningsmomentet er dominerende og er derfor av interesse i denne delen.



**Ve-Tek-Fig.7:** Fester og påsatte krefter i 5mm bolter

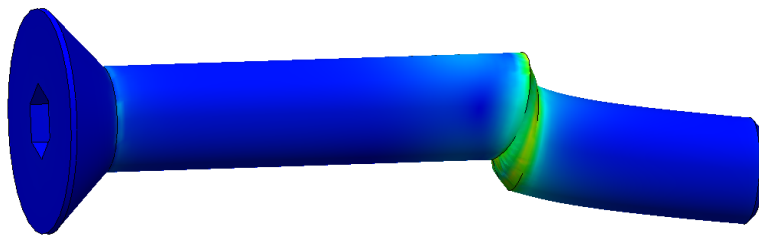


**Ve-Tek-Fig.8:** Fester og påsatte krefter i 4mm bolter

De røde pilene i massesenteret gir retningen og akselerasjonen som servomotoren skal ha i de forskjellige retningene. Dreiemomentet fra motoren Wittenstein Cyber d40 er på maksimalt 8 Nm, og maksimal rotasjonsakselerasjon generert av kreftene under rotasjon er på  $205 \text{ rad/s}^2$ .

### Ve-Tek.2.3.3 Resultater

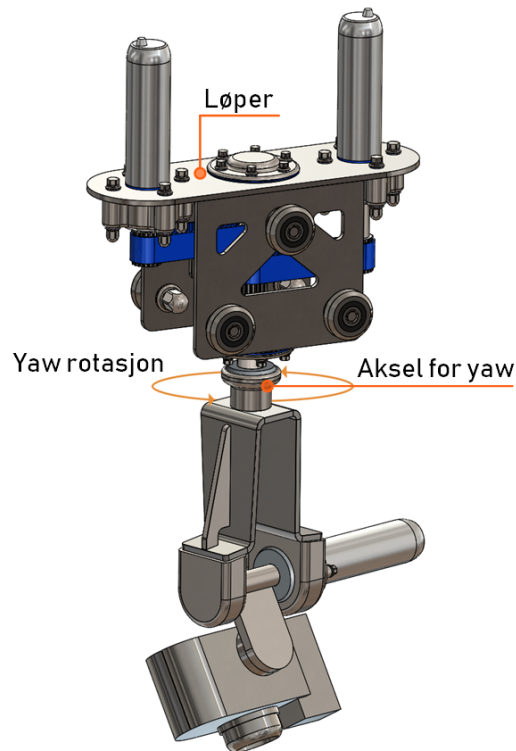
Et von Mises-plot av boltene avslørte maksspenninger på 39,1 MPa på 4mm boltene og 37,0 MPa på 5mm boltene. Boltene er under skjærspenninger som skaper deformasjoner som vist i Ve-Tek-Fig.9. Bildet har en oppskalering på 5000 for å fremheve deformasjonen. Boltene er laget av AISI 316 rustfritt stål og har tilnærmet lik sikkerhetsfaktor som pitch-systemet. Boltene er derfor designet med en god sikkerhetsmargin og vil vare lenge i operasjon.



Ve-Tek-Fig.9: 4mm's festebolt for Wittenstein Cyber d40

### Ve-Tek.2.4 Styrkeberegninger for yaw-aksen

Rotasjonen om yaw-aksen utføres med en dobbel-reimdrift-løsning, som vist til venstre i Ve-Tek-Fig.10. Bildet viser yaw-delsystemet med pitch montert. Denne analysen er delt opp i to FEM-analyser, en optimaliseringsanalyse og en beregning av glidekil.



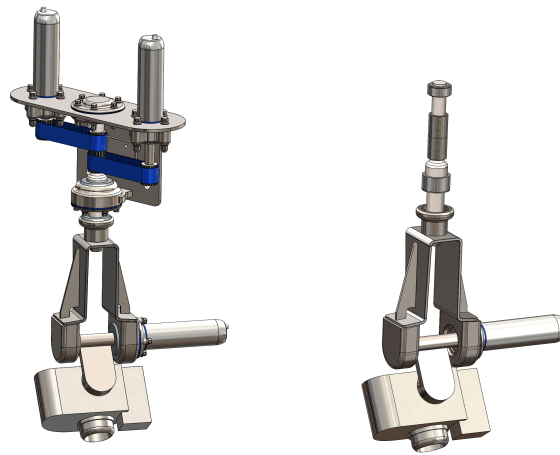
Ve-Tek-Fig.10: Yaw med pitch

#### Ve-Tek.2.4.1 FEM-Analyser

Momentet fra den doble reimdriften skal overføres med akselen slik at kniven kan rotere. Skjærspenninger og bøyespenninger fra den fleraksede spenningsfordelingen skaper spenningsansamlinger rundt koppen som skal sveises til braketten. Denne overføringen er av spesiell interesse i denne analysen.

Den globale mesh-størrelsen er 6,4mm. På samme måte som under analysen av pitch, evaluerer vi mesh-distribueringen og definerer sideforholdet og om det vil påvirke resultatene. Andelen elementer under et sideforhold på tre er 99,2 % og er lokalisert utenfor interesseområdet. Meshet er derfor tilfredstillende.

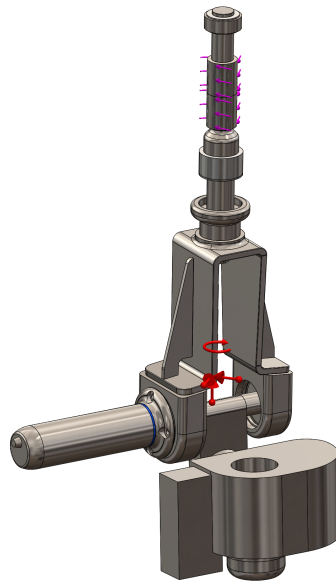




**Ve-Tek-Fig.11:** Yaw før og etter forenkling

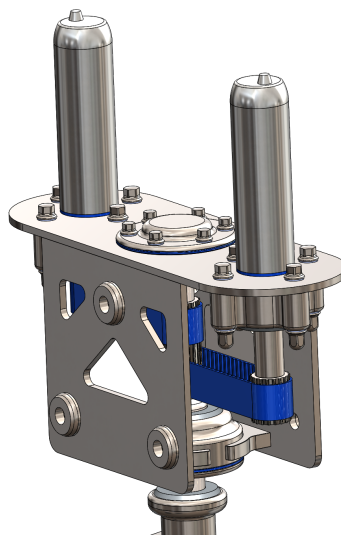
Ved ideelle forhold skal det øverste kulelageret kun ta imot radielle krefter. Ytter-siden av lageret ble satt som "Fix" og den indre overflaten ble satt til "no penetra-tion" i forhold til akselen. Det større lageret nedenfor skal ta imot den største delen av de radielle og aksielle kreftene. På samme måte ble det satt "no penetration" på kontaktoverflatene mellom akselen og lageret. Overflatene på koppen som er mon-tert på braketten fikk en "on flat faces"-Fix som forhindrer translasjon i XY-planet. Bolten som holder akselen aksielt har også en "no penetration" mellom hodet og braketten.

Den maksimale akselerasjonen er lik som for pitch, men med økt masse og da også treghetsmoment. Sentripetalkraften skapes nå rundt yaw og toppen av akselen er i realiteten koblet til to reimer som avgir et totalt moment på:  $M_{v,y} = 2 \cdot 7Nm = 14Nm$ . Dette vises med lilla sirkulære piler i Ve-Tek-Fig.12.



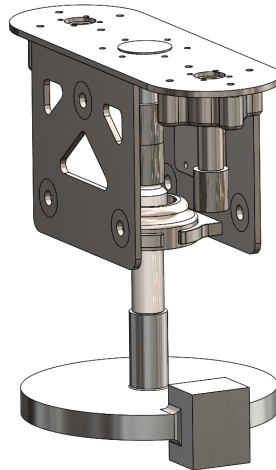
**Ve-Tek-Fig.12:** Påsatte påkjenninger og sveiseforenkling for yaw-aksen

Løperen i Ve-Tek-Fig.13 er sammenstillingen som tar imot kreftene generert fra bevegelsene til det tidligere analyserte yaw-systemet. De radielle kreftene i akslene, som overfører kreftene via reimene, skal evalueres sammen med kreftene som genereres til holderene. Holderne holder lageret som skal ta opp de største delene av kreftene.



**Ve-Tek-Fig.13:** Løper

Bolter og andre unødvendige komponenter er fjernet for å forenkle analysen. Det ble brukt "split line" for å simulere tilstedeværelsen til boltene som holder hjulene og forhindrer lineær bevegelse langs Z-aksen. Delsystemet som roterer under løperen er erstattet med en solid skive med lik masse og treghetsmoment som det tidligere delsystemet for å ikke påvirke kreftene som skapes av akselerasjonene.

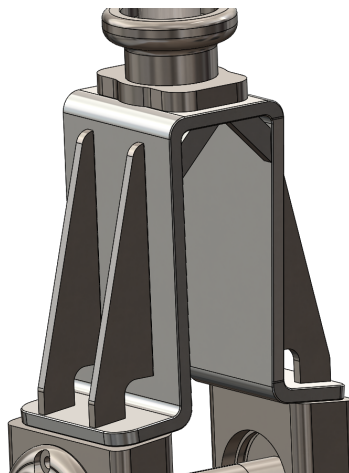


**Ve-Tek-Fig.14:** Forenklet modell av løper til FEM-analyse

Rotasjonen til skiven er erstattet med en sentripetalkraft. Det er også påsatt moment og radielle krefter på akslene som skal holde reimene. Disse kreftene er gitt fra momentet fra motorene. Her representerer  $r_d$  deleradiusen til hjulene som overfører momentet, og  $M_v$  representerer momentet fra én elmotor.

$$\begin{aligned} M_v &= F \cdot r_d \\ \rightarrow F &= \frac{M_v}{r_d} \\ &= \frac{7Nm}{0,019m} \\ &= \underline{370N} \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.1})$$

Denne kraften er sett radielt på akselene. Kontaktene mellom kulelagrene er påsatt på samme måte som i Ve-Tek.2.3. Bevegelsene i X-retning er bestemt av reimfestet og er erstattet med en "Fix" for denne retningen. Hullene i platene har "Fix" for radielle retninger og for aksielle retninger. Dette er erstattet med en "split line" som skal fungere som boltfester.



**Ve-Tek-Fig.15:** Brakett støttet med dobbel rib og støtteplate

Strukturen viste seg opprinnelig å være for svak for den tiltenkte belastningen, og måtte derfor modifiseres. Det var i all hovedsak braketten og akslene for den doble reimdriften som ikke tålte belastningene. Analysene viste gjentatte ganger for høy spenning der maksimal verdi gikk helt opp mot 400 MPa. Det ble gjennomført to optimaliseringsanalyser for å gi braketten ønsket sikkerhetsfaktor, men samtidig var det ønskelig å holde vekten lav. Ve-Tek-Tab.3 har varierende braketttykkelser, brakettbredder og ribtykkelser. Ve-Tek-Tab.4 viser optimaliseringer med en nyinnført støtteplate slik Ve-Tek-Fig.15 viser. Rib- og støtteplatetykkelsen ble variert for bedre spenningsoverføring fra aksel til brakett.

Optimalisering 1.					
N	Tykkelse	Bredde	Ribtykkelse	Spenning (MPa)	Vekt (g)
1	5mm	45mm	6mm	89,17	7938
2	5mm	50mm	6mm	121,24	7952
3	5mm	55mm	5mm	120	7937
4	6mm	55mm	6mm	92,67	8169
5	6mm	50mm	5mm	89,73	8122
6	6mm	55mm	5mm	94,58	8140
7	6mm	45mm	6mm	69,40	8134
8	6mm	45mm	7mm	70,1	8163
9	7mm	45mm	8mm	61,2	8389

Ve-Tek-Tab.3: Optimalisering av brakett

Optimalisering 2.				
N	Ribtykkelse	Støtteplate tykkelse	Spenning (MPa)	Vekt (g)
10	6mm	42mm	115,94	8087
11	7mm	45mm	123,84	8120
12	6mm	50mm	129,02	8099

Ve-Tek-Tab.4: Optimalisering av spenningsoverføring fra kopp til brakett

Fra Ve-Tek-Tab.3 og Ve-Tek-Tab.4 ble det observert at scenario (N) 7 har en spenning som er i henhold til ønsket sikkerhetsfaktor. Støtteplaten endte med å gi høyere spenninger trolig grunnet kompliserte bøyetilstander mellom platen og braketten.

#### Ve-Tek.2.4.2 Resultater

Maksimal spenning i Ve-Tek-Fig.16a er 86 MPa, noe som er for høyt. Dette er trolig unøyaktig da den høye spenningen oppstår på grunn av skarpe kanter, og vokser eksponentielt med mindre mesh-størrelse. Skarpe kanter i SWS har en tendens til å skape unaturlig høye spenninger. Disse spenningene kan ofte unngås ved å avbøye kantene med en fillet eller lignende, men kan i noen tilfeller bare måtte ignoreres.

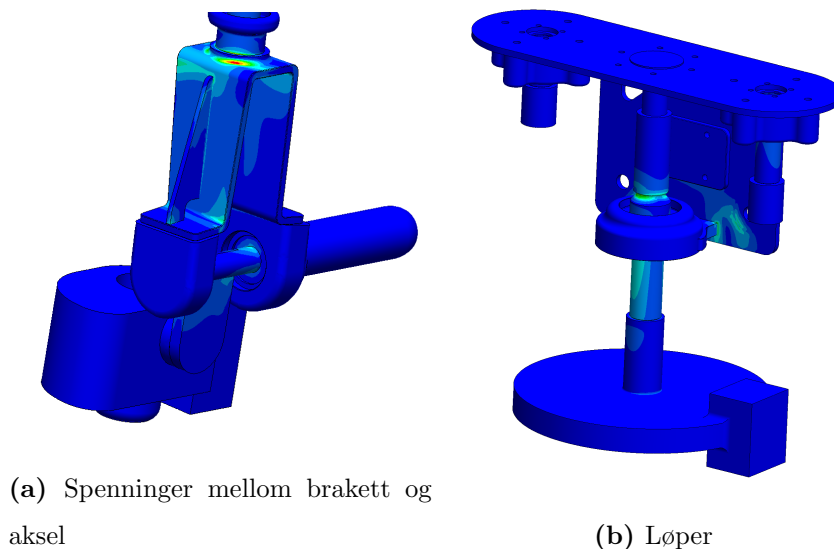
Prinsippet bygger på formelen for normalspenning der en skarp kant har uendelig lite kontaktareal, som vist i Ve-Tek-Mat.2.

$$\sigma(F, A) = \frac{F}{A} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.2})$$

$$\rightarrow \lim_{A \rightarrow 0} \sigma(F, A) = \infty$$

Slike spenninger vil aldri nå så høye verdier som det gjør i analytiske programmer som SWS. I realiteten vil det oppstå mikroskopiske plastiske deformasjoner som jevner ut området under påkjenning. Dette øker arealet spenningene er under og verdiene flater ut til akseptable verdier.

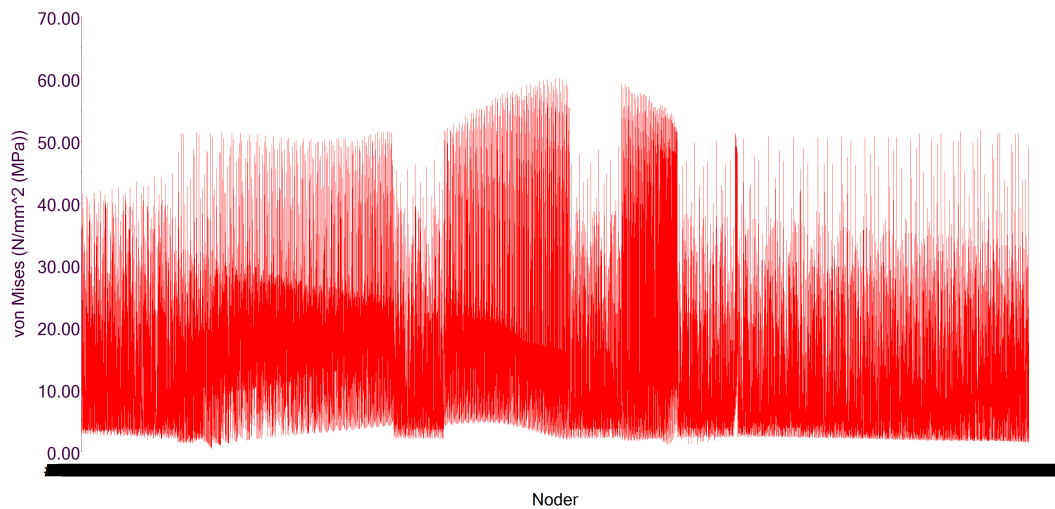
Området som har maksimal spenning skal i realiteten være en sveis. Beregninger for dette er vist i Tek-Ma.5.2. Maksimale spenninger i Ve-Tek-Fig.16a er 60MPa og er funnet med nodeavlesninger slik Ve-Tek-Fig.17 viser.



**Ve-Tek-Fig.16:** Von Mises spenningsplot av yaw-aksen

Nodeavlesning på underovelflaten til braketten i Ve-Tek-Fig.17 viser elementspenningen hvor den horisontale aksene er elementavlesning til en enkelt node/element og den vertikale aksene er spenningsverdien i MPa. På denne måten er det mulig å se om høye spenninger er lokalisert i enkeltelementer eller i flere. Tilfeller med høye spenninger i enkeltnoder vil føre til plastisk deformasjon som fordeler spenningen over flere noder og resulterer i spenningsreduksjon på enkeltelementene.

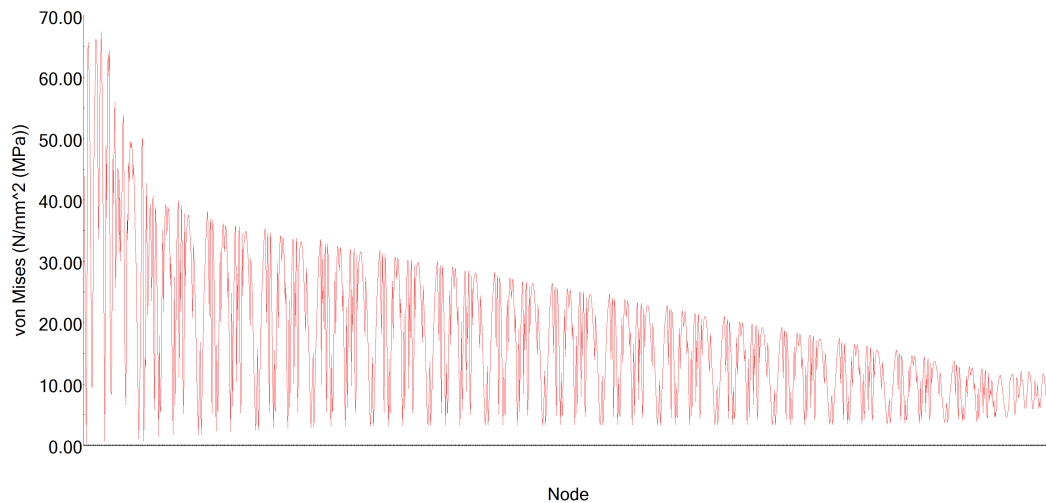
SWS deformerer ikke disse enkeltelementene på denne måten og slike verdier kan derfor ignoreres.



**Ve-Tek-Fig.17:** Nodeavlesning for undersiden av braketten i yaw

Ve-Tek-Fig.17 viser en *jevn* spenningsfordeling med en RMS-verdien (root mean square) på 18,43 MPa. RMS verdier kan brukes som en indikator av hvor store variasjoner det er i strukturen under analyse som igjen kan vise til faren for utmatingsbrudd i delen. Det er høye kantspenninger som ignoreres av grunner beskrevet i Ve-Tek-Mat.2.

I løperen befinner de største spenningene seg i den lengste akselen for reimdriften. Høye kantspenninger i akselen gjør det vanskelig å finne eksakte verdier uten en nodeavlesning. Ve-Tek-Fig.18 viser en maksimal verdi på 65 MPa og skyldes bøyespenningene som skapes av momentoverføringen fra akselen til reimen.

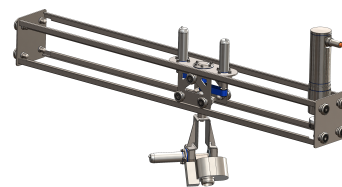


**Ve-Tek-Fig.18:** Nodeavlesning for den lengste akselen i løperen

Passkilen som skal overføre momentet fra servomotorene er beregnet på i Ve-Tek.3. Spenningsene som er i løperen og akselen til braketten er innenfor ønsket sikkerhetsfaktor og er derfor skikket til tiltenkt bruk.

### Ve-Tek.2.5 Styrkeberegninger for X-aksen

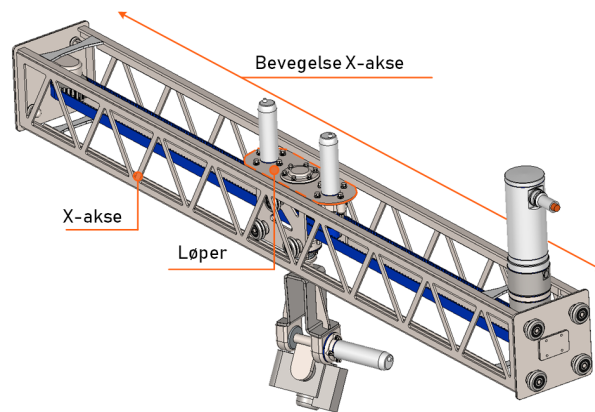
Ve-Tek-Fig.19 viser delsystemet slik det så ut før styrkeberegningene. Dette delsystemet skulle kun bevege seg lineært langs Z- og Y-aksen. Kraftene er størst når akselerasjonsvektorene er rettet i positiv Z-retning. Dette skyldes gravitasjonen som øker akselerasjonen fra  $47m/s^2$  til  $47m/s^2 + 9.81m/s^2 = 56,8m/s^2$ . Løperen skaper et bøyemoment i strukturen ved en midtstilt plassering og er erstattet med krefter påsatt split lines midt på skinnene i modellen slik Ve-Tek-Fig.22 viser.



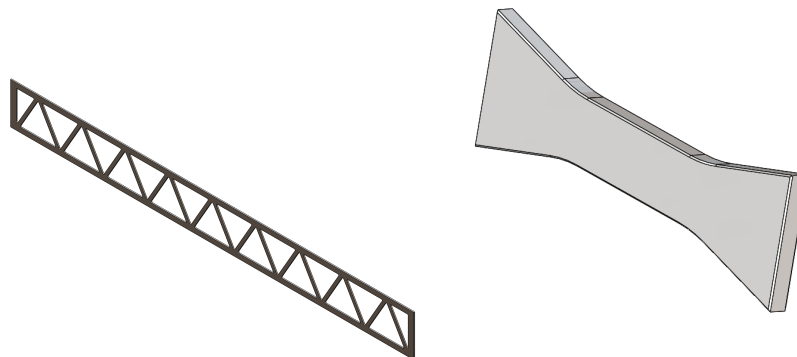
**Ve-Tek-Fig.19:** X-akse før styrkeberegninger



Delsystemet viste seg å være for svakt. Påkjenningene ga store nok deformasjoner i skinnene til at løperen ville falt ut av strukturen og det ble dermed laget en støttestruktur slik Ve-Tek-Fig.20 viser. Denne strukturen bestod av to avstivningsplater og fire støtteplater som er vist i Ve-Tek-Fig.21.



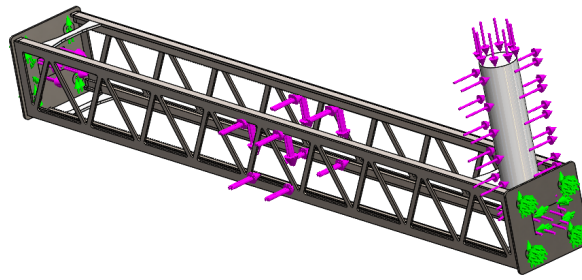
**Ve-Tek-Fig.20:** X-akse-delsystem



(a) Avstivningsplate med (b) Støtteplate for avstivning i Y-  
uthullinger for sparing av vekt retning

**Ve-Tek-Fig.21:** Avstivninger for skinnene til X-aksen

Avstivningsplaten i Ve-Tek-Fig.21a skaper en mer rigid struktur for deformasjon i Z-retning. Støtteplatene i Ve-Tek-Fig.21b forhindrer ytterligere deformasjon i Y-retning. Avstivningsplatene veier 3,7 kg og støtteplatene veier 175 g. Total vektøkning for avstivning ble da med 2-avstivningsplater og 4-støtteplater:  $2 \cdot 3,7 \text{ kg} + 4 \cdot 0,175 = 8,1 \text{ kg}$ .



**Ve-Tek-Fig.22:** X-aksen med påsatte krefter og fikseringer

Hjulene som skal føre systemet langs skinnene i Y-retning erstattes med en fix som forhindrer lineær bevegelse i X- og Z-bevegelse. Løperen blir erstattet med krefter påsatt "split lines". Fester og krefter påsatt X-aksen er vist i Ve-Tek-Fig.22. Påkjenningene er beregnet ut ifra antall hjul og akselerasjoner.  $m_l$  er massen til løperen og N er antall skinner som er under påkjenning.

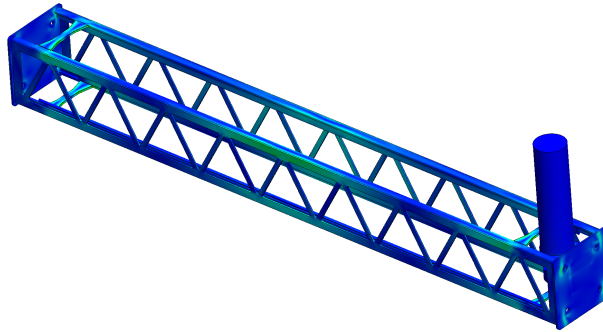
$$\begin{aligned}
 F_z &= \frac{m_l \cdot a_z}{N} \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 18kg \cdot 57m/s^2 \\
 &= \underline{256,5N} \\
 F_y &= \frac{m_l \cdot a_y}{N} \\
 &= \frac{18kg \cdot 39m/s^2}{8} \\
 &= \underline{87,8N}
 \end{aligned}
 \tag{Ve-Tek-Mat.3}$$

Kraften som driver løperen langs skinnene produseres av motoren i enden av Ve-Tek-Fig.22 og drives av beltene. Denne kraften skaper et bøyemoment kombinert med en vridning i akselen som holder tannhjul. Denne kraften er definert av massen og akselerasjonen til løperen.

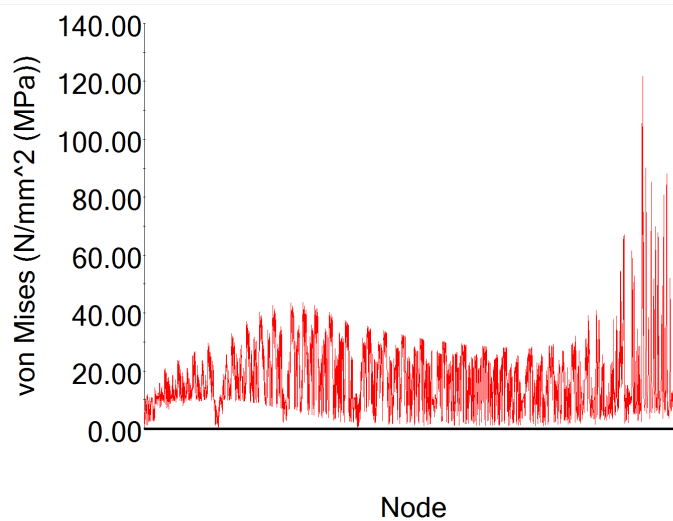
$$\begin{aligned}
 F_x &= m_l \cdot a_x \\
 &= 18kg \cdot 18m/s^2 \\
 &= \underline{324N}
 \end{aligned}
 \tag{Ve-Tek-Mat.4}$$

### Ve-Tek.2.5.1 Resultat

Ve-Tek-Fig.23 viser spenningsfordelingen etter monteringen av avstivningsplatene. Maksimal spenning er **64,17 MPa** og befinner seg i støtteplaten nærmest servomotoren vist i Ve-Tek-Fig.21b. Krefter med avstand til festeplatene genererer bøyemomenter som skaper store spenninger i strukturen og spesielt i kanter.



Ve-Tek-Fig.23: Von Mises-spenningsplot for X-aksen



Ve-Tek-Fig.24: Nodeavlesning av støtteplaten nærmest servomotoren

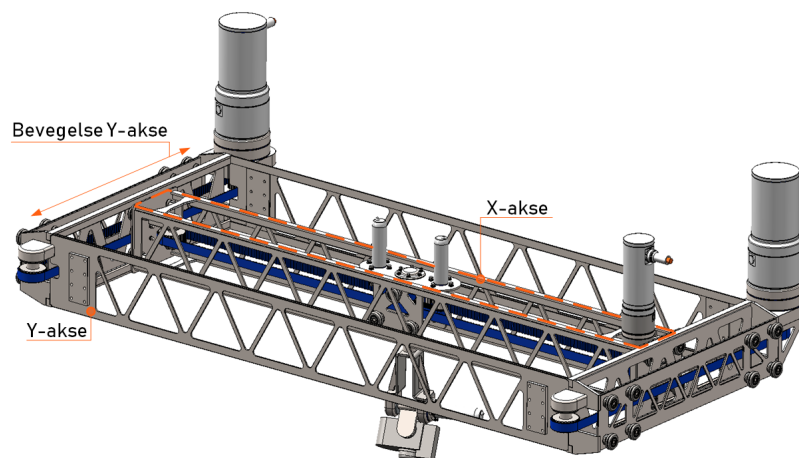
Nodeavlesning av støtteplaten er vist i Ve-Tek-Fig.24 og viser elementverdier opp mot 120 MPa. Disse nodeverdiene befinner seg alle i kanten til avstivningsplaten og skal erstattes med sveis. De er derfor ikke av interesse i denne analysen. Ved ekskludering av kantspenningene er høyeste verdi 46,17 MPa.

Dette er spenninger innenfor ønskede verdier og **X-aksen** er derfor verifisert i henhold til VA-08.KR-12.

### Ve-Tek.2.6 Styrkeberegninger for Y-aksen

Fire **AKMH64K** servomotorer overfører totalt  $199Nm \cdot 4 = 796Nm$  ved hjelp av reimdrift slik at systemet vist i Ve-Tek-Fig.26 kan oppnå en akselerasjon langs Z-aksen på  $47m/s^2$ . Servomotorene som er montert på *plattformene* i Ve-Tek-Fig.25 er av typen **AKMH52H** som gir et moment per motor på 57Nm. Kraftene som overføres via reimene til X-aksen er utregnet i Ve-Tek-Mat.5:

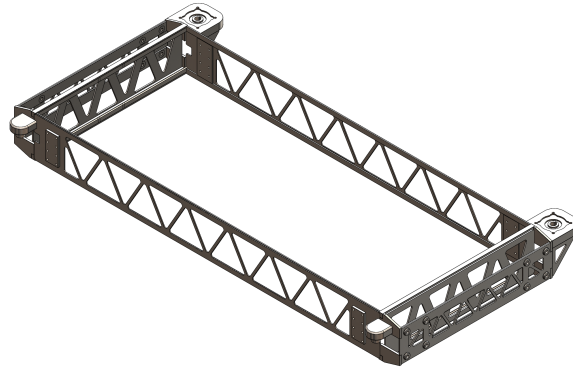
$$\begin{aligned} F &= \frac{m_x \cdot a_y}{N} \\ &= \frac{63kg \cdot 39m/s^2}{2} && \text{(Ve-Tek-Mat.5)} \\ &= \underline{1229N} \end{aligned}$$



Ve-Tek-Fig.25: Y-akse med X-akse

Her er N antall belter som overfører momentene til lineære krefter i retning av Y-aksen slik Ve-Tek-Fig.25 viser. Dette genererer normalspenninger fra tannkraftene under reimdriften som resulterer i et bøyemoment i akselen som driver reimene. Fra Newtons tredje lov blir det et like stort motstatt rettet vridningsmoment i bolte-hullene hvor servomotoren er festet (57Nm). Ve-Tek-Fig.26 viser rammen som er

analysert og testet for deformasjon samt spenningsoppsamlinger.



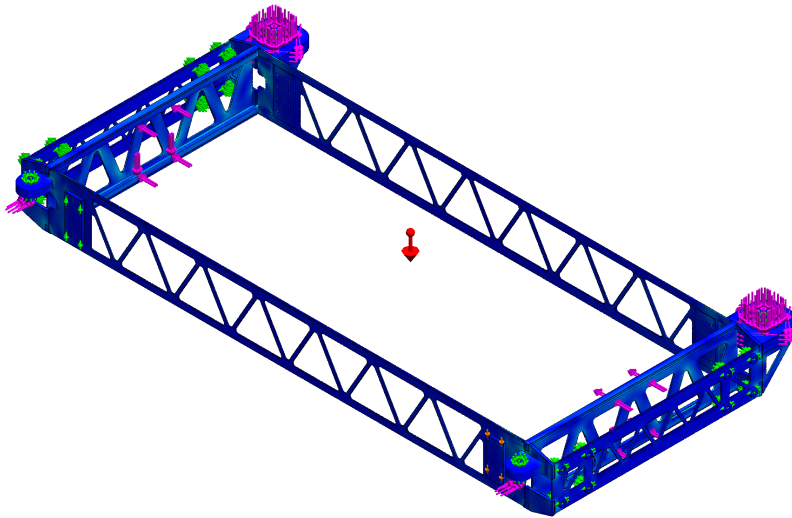
**Ve-Tek-Fig.26:** Y-akse-delsystem

Det ble brukt en global mesh-standard på 3mm og en global kontakt til ”bonded”. Dette er ikke helt representativt ettersom hele strukturen er sveiset og det er derfor gjort videre sikkerhetstiltak mot plastisk deformasjon ved å øke sikkerhetsfaktoren i denne analysen til **4,5**. De andre aksene analysert (pitch, yaw og X-aksen) er alle avhengige av at dette rammeverket har god struktur og rigiditet. Hele rammeverket er laget av AISI 316 og den nye tillatte spenningen er da:  $\frac{240MPa}{4,5} = \underline{53MPa}$ .

Strukturen viste seg originalt å være for svak med maksimale spenningsverdier opp mot 230 MPa. En avstivningsplate tilsvarende den tilført i Ve-Tek-Fig.21a ble montert som resulterte i akseptable spenningsverdier, på bekostning av en vektøkning på 6 kg.

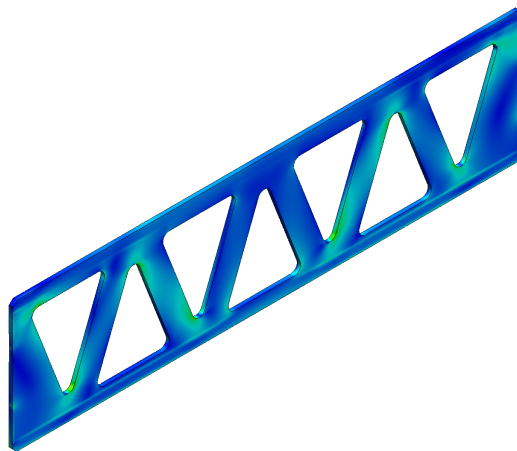
### Ve-Tek.2.6.1 Resultater

Spenningsplottet i Ve-Tek-Fig.27 viser kreftene og fikseringene til modellen. Den maksimale spenningen er **33 MPa** og befinner seg i hjørnet i avstivningsplaten vist i Ve-Tek-Fig.28.



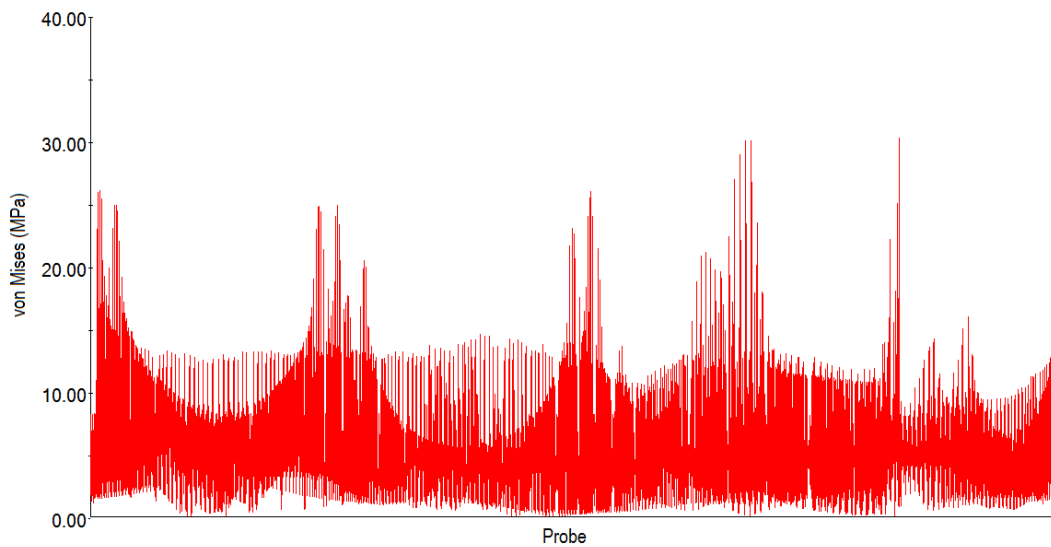
**Ve-Tek-Fig.27:** Y-akse von Mises-plot med fester og krefter

Avstivningsplaten i Ve-Tek-Fig.28 er under høyeste spenning og veier i underkant av 3kg.



**Ve-Tek-Fig.28:** Avstivningsplate med grønt markerte områder som representerer spenninger  $\geq 25\text{MPa}$

Avstivningen ga en syvendedel av den originale spenningen på bekostning av en 6kg vektøkning. Ettersom Y-aksen originalt veide 196kg, utgjør dette en økningen på 2%. En nodeavlesning er utført på avstiverplaten i Ve-Tek-Fig.28 som vises i Ve-Tek-Fig.29. Den horisontale aksene viser elementene med startende verdi ved  $x = 0$  og økende utover til verdien er lik lengden til avstivningsplaten  $x = l$ .

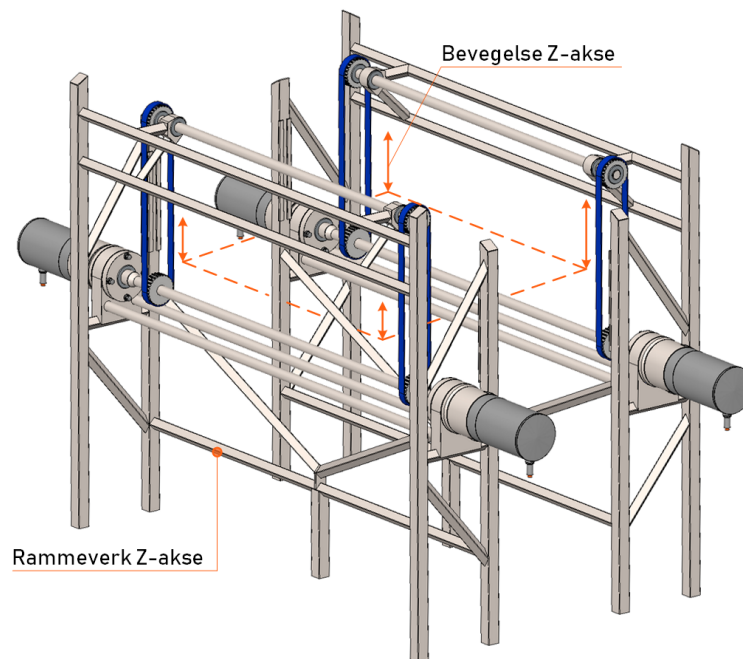


**Ve-Tek-Fig.29:** Nodeavlesning av avstiverplaten til Y-aksen

Ve-Tek-Fig.29 viser tydelig et mønster av økende spenninger i kantene. Bakgrunnen for dette er endring av tverrsnittsareal som er videre beskrevet i Tek-Ma.4.1. Nodeavlesningen viser også at spenningene ligger *stabilt* på 12MPa frem til tverrsnit-sreduksjonen ved hullene kommer og spenningen øker i *små* topper. Det er nettopp her kantene i Ve-Tek-Fig.28 er. Spenningene er lavere enn 53 MPa og er derfor skikket tiltenkt bruk. Det er likevel store spenningsvariasjoner som øker faren for utmatting, spesielt i kantene der spenningsansamlingene er størst. Under operasjon er det hensiktsmessig å inspisere disse områdene etter overflatesprekker som forebyggende tiltak. Systemet er innenfor ønskede designparametere og er skikket bruk.

### Ve-Tek.2.7 Styrkeberegninger for Z-aksen

Ve-Tek-Fig.30 skal monteres fast og ikke være i direkte bevegelse. Vekten til dette delsystemet er derfor ikke i like stort fokus som tidligere. Servomotorene som skal løfte systemet avbildet i Ve-Tek-Fig.25 er montert i enden av rammen slik Ve-Tek-Fig.30 viser og produserer et moment på 199Nm per motor. Dette momentet skaper krefter i det fastmonterte rammeverket.



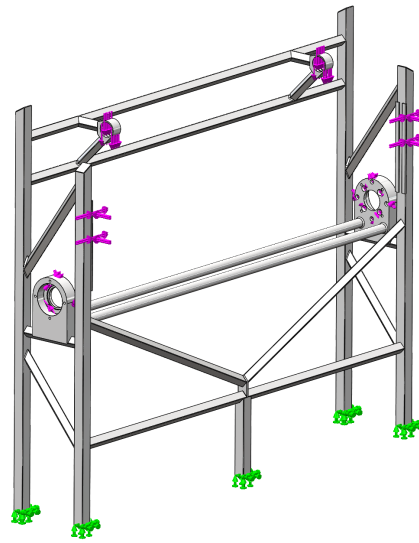
**Ve-Tek-Fig.30:** Rammeverk for aksesystemet med reimer for Z-bevegelse

Ved akselerasjon i Z-retning genereres krefter i drevene som overføres videre til lagerholderne i Ve-Tek-Fig.30. Kraftene kalkuleres på hvert enkelt hjul og N i ligningene nedenfor representerer antall hjul som tar imot spenningen.

$$\begin{aligned}
 F_z &= \frac{m_z \cdot a_z}{N} \\
 &= \frac{200\text{kg} \cdot 57\text{m/s}^2}{4} \\
 &= \underline{2850\text{N}} \\
 F_y &= \frac{m_x \cdot a_y}{N} \\
 &= \frac{63\text{kg} \cdot 39\text{m/s}^2}{8} \\
 &= \underline{614\text{N}}
 \end{aligned}
 \tag{Ve-Tek-Mat.6}$$

$F_z$  er kraften som skal overføres med reimene i Ve-Tek-Fig.30. Ve-Tek-Fig.31 viser kreftene som er satt på for å simulere motkreftene som blir produsert av reimdriften.  $F_y$  er plassert høyest opp på skinnene ved hjelp av split lines for å skape størst moment slik at analysen viser et vanskelig scenario.



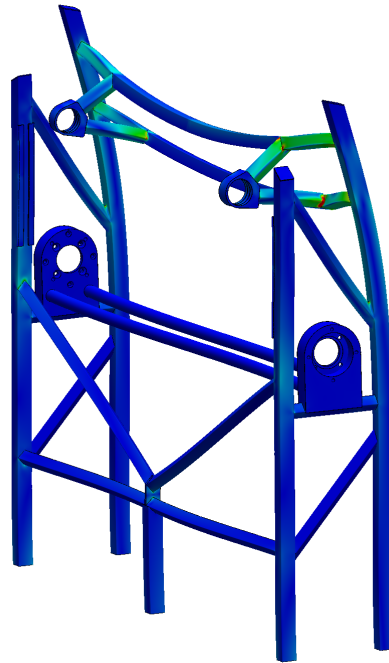


**Ve-Tek-Fig.31:** Krefter og fikseringer for FEM-analyse

Sammenføyningmetoden i dette systemet er med sveis likt som Ve-Tek.2.6. Spenningene i overgangene fra bjelkene er skarpe kanter og overses i denne analysen. Vanskelige vinkler og kompleks geometri krever at rammeverket blir satt sammen til én part ved hjelp av kommandoen "join" i SWS. Meshet er av typen "curvature and standard mesh". Konstruksjonen var originalt for svak og tykkelsen til de to øverste rørene i Ve-Tek-Fig.31 ble økt fra 3mm tykkelse til 6mm og avstivningsprofilene som monteres til bakken fikk samme tykkelsesforandring.

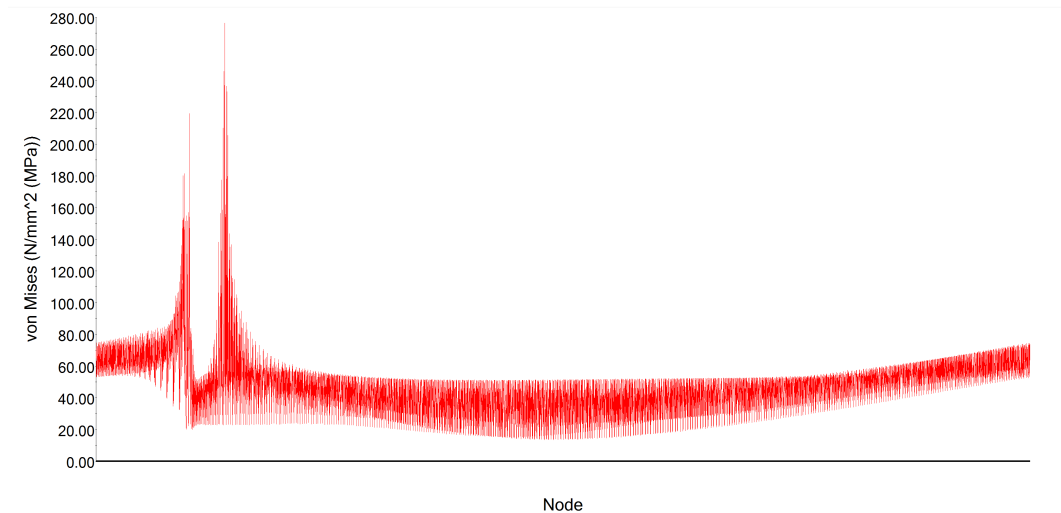
#### **Ve-Tek.2.7.1 Resultater**

Rammekonstruksjonen er under store påkjenninger og vil få en betraktelig deformasjon som bildet Ve-Tek-Fig.33 viser oppskalert 90 ganger. Største spenninger befinner seg i det øverste firkantprofilet. På grunn av intrikat sammenføyingsgeometri, ble det igjen brukt nodeavlesning for å kartlegge spenningene i profilet.



**Ve-Tek-Fig.32:** Von Mises-spenningsplot av Z-rammen

Nodeavlesningen viser svært høye verdier i kantregionen til lagerhuset. Dette er det røde området vist i Ve-Tek-Fig.33. Dette kan ignoreres ettersom det skal sveises og kantene fjernes. Høye lokale spenningsverdier resulterer i plastiske deformasjoner som øker kontaktarealet og reduserer spenningene. RMS verdien til nodeavlesningen er **50,1 MPa** og maksimalverdien uten kantspenningen er **70,4 MPa**.



**Ve-Tek-Fig.33:** Nodeavlesning rundt den røde spenningskonsentrasjonen i øverste firkantprofil i Ve-Tek-Fig.30 Z-rammen

Rammeverket er derfor verifisert og vil tåle operasjonspåkjenningene.

## Ve-Tek.2.8 Deformasjon

I henhold til Hookes lov er spenningen til et materialet under elastisk deformasjon proporsjonal med produsert tøyning [85]. Hooks lov blir brukt for å kunne kartlegge deformasjonen i et materiale. Dette er gitt i formelen:

$$\sigma = Ee \quad (\text{Ve-Tek-Mat.7})$$

Her representerer E elastisitetmodulen til materialet og e tøyningen som er definert med  $e = \frac{d\ell}{\ell}$ . Total deformasjon under operasjon er summen av alle deformasjonene i analysene presentert ovenfor inndelt akse for akse. Deformasjonene er presentert i listen nedenfor:

- Pitch: **0,26 mm** [ $\delta_p$ ]
- Yaw aksel: **0,258 mm** [ $\delta_{ya}$ ]
- Yaw løper: **Y-retning: 0,05 mm** [ $\delta_\ell$ ], **aksel: 0,38 mm** [ $\delta_a$ ]

- Rammeverk for Z-aksen: **Y-retning: 1,7 mm** og **Z-retning: 2,47 mm** [ $\delta_z$ ]
- Skinne langs X-aksen: **Y-retning: 1,38 mm** og **Z-retning: 0,2 mm** [ $\delta_x$ ]
- Rammeverk for Y-aksen: **Z-retning: 0,16 mm** [ $\delta_y$ ]

Den totale deformasjonen er dermed deformasjonen til yaw aksel + yaw løper + X-ramme + Y-ramme + Z-ramme i Z-retning og Y-retning. Aksestyret er under en tredimensjonal spenning som resulterer i en tredimensjonal deformasjon. Deformasjonene må derfor inndeles akse for akse. Deformasjonen i Y- og Z-retningen er presentert nedenfor:

$$\begin{aligned}\delta_{total,y} &= \delta_y + \delta_\ell + \delta_x + \delta_y + \delta_z \\ &= 0,05mm + 1,7mm + 1,38mm \\ &= \underline{\underline{\mathbf{3,13mm}}}\end{aligned}$$

Maksimal deformasjon i Z-retning:

$$\begin{aligned}\delta_{total,z} &= \delta_y + \delta_\ell + \delta_x + \delta_y + \delta_z \\ &= 2,47mm + 0,2mm + 0,16mm \\ &= \underline{\underline{\mathbf{2,83mm}}}\end{aligned}$$

Total deformasjon i ZY-planet er da:

$$\begin{aligned}\delta_t &= \sqrt{\delta_{total,y}^2 + \delta_{total,z}^2} \\ &= \sqrt{[3,13mm]^2 + [2,83mm]^2} \\ &= \underline{\underline{\mathbf{4,2mm}}}\end{aligned}$$

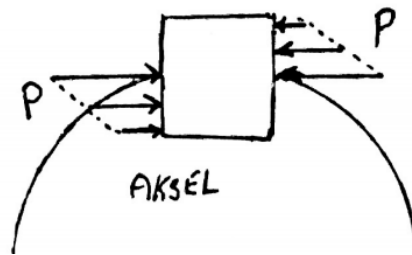
Denne deformasjonen er relativt høy og kan skape store vibrasjoner og slite ekstra på systemet. Ettersom akselerasjonene dette er basert på sjeldent vil oppstå gjentatte ganger over kort tid, er ikke dette et problem. Med tanke på lakseprosessering vil trolig ikke 4.2mm utgjøre vitale avvik i nøyaktigheten til aksestyret.

### Ve-Tek.3 Passkile beregninger

Passkilen som er plassert i koppen på braketten skal overføre momentet fra reimoverføringen og til rotasjonen av kniven. Den blir derfor kun utsatt for skjærkrefter. Momentet som skaper skjærspenning i passkilen er gitt av formelen Ve-Tek-Mat.8, [39]:

$$M_v = \frac{p \cdot h \cdot \ell \cdot d}{4} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.8})$$

Bredden og lengden til passkilen er allerede satt og lengden skal dimensjoneres med Ve-Tek-Mat.8. Platetrykket på en passkile er i realiteten fordelt slik Ve-Tek-Fig.34 viser. Platetrykket må derfor dimensjoneres margin.



Ve-Tek-Fig.34: Spenningsfordeling på en passkile

Det tillatte platetrykket er dimensjonert etter formelen for  $\sigma_{jf}$ . For å dimensjonere tillatt platetrykk må maksimal skjærkraft for stålet AISI 316 kartlegges.

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{flyt}}{n} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \\ \rightarrow \tau &= \frac{\sigma_{flyt}}{\sqrt{3} \cdot n} \\ &= \frac{240 \text{ MPa}}{\sqrt{3} \cdot 3,5} \\ &= \underline{40 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Spenningene i passkilen skal altså ikke overgå 40 MPa. Ytterligere sikkerhet er hensiktsmessig ettersom spenningsfordelingen er ujevn og kan bli høyere ved bestemte punkter, avhengig av hvor skarpe kantene under påkjenning er. Dimensjonerer dermed minimum lengde av passkilen  $\ell$  med Ve-Tek-Mat.8:

$$\begin{aligned}\ell &= \frac{4 \cdot M_v}{p \cdot h \cdot d} \\ &= \frac{4 \cdot 13\,680\text{Nmm}}{40\text{N/mm}^2 \cdot 4\text{mm} \cdot 20\text{mm}} \\ &= \underline{17,1\text{mm}}\end{aligned}$$

For ytterligere sikkerhet mot skjev spenningsfordeling velges langden til passkilden til **20mm**.

Passkilene som overfører momentet fra AKMH 64 motorene skal dimensjoneres på samme måte som Ve-Tek-Mat.8. Her representerer N antall passkiler.

$$\begin{aligned}\ell &= \frac{4 \cdot M_v}{N \cdot p \cdot h \cdot d} \\ &= \frac{4 \cdot 199\,000\text{Nmm}}{4 \cdot 40\text{N/mm}^2 \cdot 6\text{mm} \cdot 40\text{mm}} \\ &= \underline{20,7\text{mm}}\end{aligned}$$

Velger med dette passkiler med en lengde på **25mm**.

## **Ve-Tek.4 Sveiseberegninger**

Dette dokumentet inneholder formel og beregninger av sveiseforbindelser til deler av systemet.

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$x$	Akselerasjon i X-retning	$m/s^2$
$y$	Akselerasjon i Y-retning	$m/s^2$
$z$	Akselerasjon i Z-retning	$m/s^2$
$m$	Masse	$kg$
$a$	a-mål (høyde på sveis)	$mm$
$a_1$	Akselerasjon	$m/s^2$
$L$	Lengde	$mm$
$B$	Bredde fra massesenter til senter	$mm$
$H$	Høyde fra massesenter til senter	$mm$
$H_1$	Avstanden fra massesenter til senter	$mm$
$b$	Bredde på sveiselengden	$mm$
$h$	Lengden på den buede sveisen til akslingen	$mm$
$r$	Radius	$mm$
$y_1$	Avstand fra nøytralaksen til planet A eller B	$mm$
$d$	Diameter	$mm$
$D$	Indre diameter	$mm$
$\theta$	Vinkel	$^\circ$
$F$	Kraft	$N$
$F_T$	Sentripetalkraft resultert av pitch	$N$
$F_{y,yaw}$	Sentripetalkraft resultert av yaw	$N$
$M$	Moment	$Nm$
$\sigma_{till}$	Tillatte spenninger	$MPa$
$\sigma_{jf}$	Jevnføringsspenning	$MPa$
$\sigma_b$	Normalspenning	$MPa$
$\sigma_{\tau_b}$	Skjærspenninger	$MPa$
$\alpha$	Vinkelakselerasjon	$rad/s^2$
$\omega$	Vinkelhastighet	$rad/s^2$
$I_x$	Flatetreghtetsmoment	$mm^4$
$I_p$	Polart treghetsmoment	$mm^4$

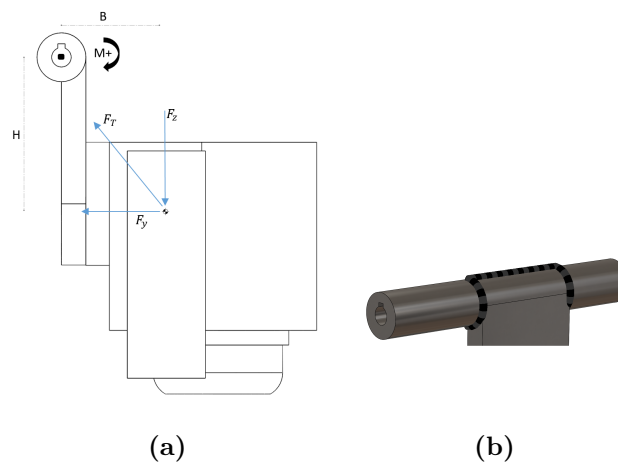
Ve-Tek-Tab.5: Beskrivelse av variabler



### Ve-Tek.4.1 Sveis: Pitch

Beregninger på sveisen som fester kniven til akslingen. Alle kreftene som oppstår i sveisen er ved worst-case-scenario. Det er gjort én forenkling i forholdt til hva som er vist i Ve-Tek-Fig.35. Festebraketten mellom kniv og aksel er sveiset på en plate og ikke en aksling, men fortsatt med samme sveiselengde. Hensikten med beregningene er å bestemme a-målet (høyden) til sveisen eller se at jevnføringsspenningene ( $\sigma_{jf}$ ) ikke overstiger de tillatte spenningene ( $\sigma_{till} = 68.6MPa$ ).

#### Ve-Tek.4.1.1 Bøyebelastinger på sveisen



**Ve-Tek-Fig.35:** Figur a viser retningen på kreftene og figur b viser hvordan sveisen vil se ut.

Kreftene som er et resultat av akselerasjonene i de forskjellige aksene resulterer i et bøyemoment i akslingen som først blir tatt opp i sveisen som en normalspenning. Momentet blir beregnet ut i fra formelen  $M = F \cdot L$ , altså kraften multiplisert med avstanden fra senter, og kraften ( $F$ ) beregnes med Newtons 2. lov ( $F = ma_1$ ).

Parametere brukt i utregningene:

$$\begin{aligned}
 x &= 18m/s^2 & y &= 39m/s^2 & z &= 47m/s^2 \\
 \alpha &= 205rad/s^2 & \omega &= 18rad/s & m &= 2.5kg \\
 B &= 42.61mm & H &= 63.13mm & M_{motor} &= 8000Nmm
 \end{aligned}$$

For å kunne beregne  $\sigma_{jf}$  er man avhengig av å finne spenningene bøyebelastningen påfører sveisen. Dette kan man finne ved å benytte formelen  $\sigma_b = \frac{M_b}{I_x}$  [41]. Det totale bøyemomentet som oppstår i pitch er gitt av Ve-Tek-Mat.9.

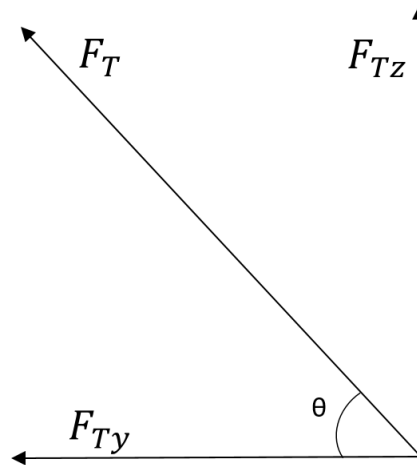
$$M_b = M_{motor} + M_y + M_z + M_{Ty} + M_{Tz} + M_{y,yaw} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.9})$$

Momentet som er påvirket av akselerasjonen i  $Y$  og  $Z$ :

$$\begin{aligned}
 M_y &= F_y \cdot H \\
 F_y &= ma_1 = 2.5kg \cdot 39m/s^2 = 97.5N \\
 M_y &= 97.5N \cdot 63.16mm = \underline{6158.1Nmm} \\
 \\
 M_z &= F_z \cdot B \\
 F_z &= ma_1 = 2.5kg \cdot 47m/s^2 = 117.5N \\
 M_z &= 117.5N \cdot 42.61mm = \underline{5006.7Nmm}
 \end{aligned}$$

Sentripetalkraften påfører også et bøyemoment på sveisen der kraften virker fra massesenteret og inn mot senter av akslingen. For å finne sentripetalkraften brukes formelen  $F_T = m \cdot \omega^2 \cdot r$  [86] der  $r = 76.19mm$ .

$$F_T = 2.5kg \cdot (18rad/s)^2 \cdot 76.19 \cdot 10^{-3}m = 61.7N$$



**Ve-Tek-Fig.36:** Kraften  $F_T$  og de dekomponerte kreftene  $F_{Ty}$  og  $F_{Tz}$ .

Finner momentet  $F_T$  påfører sveisen ved å regner ut kreftene  $F_{Ty}$  og  $F_{Tz}$  og multipliserer dette med avstanden til senter. Vinkelen  $\theta = 56^\circ$ .

Finner  $M_{Ty}$ :

$$M_{Ty} = F_{Ty} \cdot H$$

$$F_{Ty} = \cos \theta \cdot F_T = \cos 56 \cdot 61.7N = 34.5N$$

$$M_{Ty} = 34.5N \cdot 63.16 = \underline{2179.2Nmm}$$

Finner  $M_{Tz}$ :

$$M_{Tz} = F_{Tz} \cdot H$$

$$F_{Tz} = \sin \theta \cdot F_T = \sin 56 \cdot 61.7N = 51.2N$$

$$M_{Tz} = 51.2N \cdot 42.61 = \underline{-2181.6Nmm}$$

Momentet  $M_{Tz}$  vil opptre i negativ retning i forhold til hvilke vei positivt momentet er vist i Ve-Tek-Fig.35a. Dette er grunnen til at verdien er negativ.

Yaw vil også generere en kraft, men denne opptrer kun inn mot senteraksen av rotasjonen. Momentet rotasjonen yaw påfører pitch er vist under.

$$M_{y,yaw} = F_{y,yaw} \cdot B$$

$$F_{y,yaw} = m \cdot \omega^2 \cdot r = 2.5kg \cdot (18rad/s)^2 \cdot 42.61 \cdot 10^{-3}m = 34.5N$$

$$M_{y,yaw} = 34.5 \cdot 63.16 = \underline{2179.0Nmm}$$

Ved å sette inn alle utregnede parametre inn i likningen Ve-Tek-Mat.9 finner man det totale momentet.

$$M_b = M_{motor} + M_y + M_z + M_{Ty} + M_{Tz} + M_{y,yaw}$$

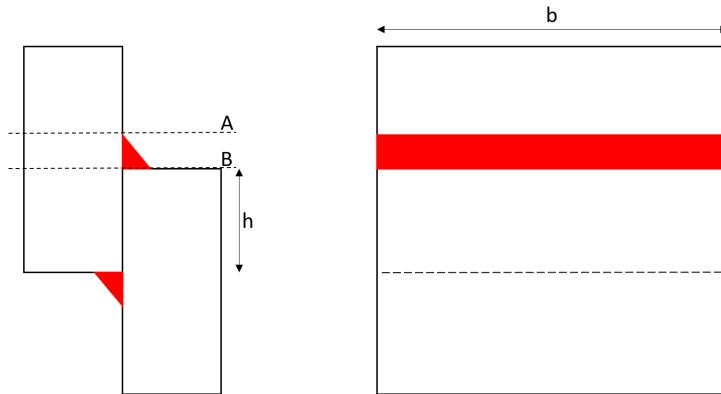
$$\begin{aligned} M_b &= 8000Nmm + 6158.1Nmm + 5006.7Nmm + 2179.2 + (-2181.6Nmm) + 2179.0Nmm \\ &= \underline{21341.4Nmm} \end{aligned}$$

Det totale momentet som oppstår er på 21341.4Nmm. For å finne normalspenningen må flatetreghetsmomentet ( $I_x$ ) og avstanden fra nøytralaksen til det planet hvor spenningen skal beregnes ( $y_1$ ) utledes. I Ve-Tek-Fig.37 er  $b = 50mm$  og  $h = 31.4mm$ . Symbolet  $h$  tilsvare lengden på den buede sveisen til akslingen som vist i Ve-Tek-Fig.35b. Forskjellen mellom snitt A og B er bare typen spenninger som oppstår i sveisen. I snitt A vil det oppstå normalspenninger ( $\sigma_b$ ) og i snitt B opptrer både normalspenninger ( $\sigma_b$ ) og skjærspenninger ( $\tau_b$ ). A-målet er satt til 3mm, da dette er et minimum på kilesveiser som overfører krefter. Flatetreghetsmomentet og avstanden fra nøytralaksen kan beregnes av ligningene [41]:

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot ((b + 2a)(h + 2a)^3 - bh^3) \quad (\text{Ve-Tek-Mat.10})$$

$$y = \frac{h}{a} + a \quad (\text{Ve-Tek-Mat.11})$$

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} \cdot ((50\text{mm} + 2 \cdot 3\text{mm})(31.4\text{mm} + 2 \cdot 3\text{mm})^3 - 50\text{mm} \cdot 31.4\text{mm}^3) \\
 &= \underline{115133.8\text{mm}^4}
 \end{aligned}$$



**Ve-Tek-Fig.37:** Viser forenklingen og hvor A- og B-snittet er plassert.

Gjør beregningner i snitt A:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{b_{maks}} &= \frac{M_b}{I_x} \cdot y_1 \\
 &= \frac{21341.4\text{Nmm}}{115133.8\text{mm}^4} \cdot \left( \frac{31.4\text{mm}}{2} + 3\text{mm} \right) \\
 &= \underline{3.5\text{N/mm}^2}
 \end{aligned}$$

For å finne jevnførende spenning i snitt A brukes formelen  $\sigma_{jf} = \sigma_{b_{maks}} \cdot \sqrt{2}$  [41].

$$\begin{aligned}
 \sigma_{jf} &= \sigma_{b_{maks}} \cdot \sqrt{2} \\
 &= 3.5\text{N/mm}^2 \cdot \sqrt{2} \\
 &= \underline{5.0\text{N/mm}^2}
 \end{aligned}$$

Gjør beregningner i snitt B:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{M_b}{I_x} \cdot y_1 \\ &= \frac{21341.4Nmm}{115133.8mm^4} \cdot \left(\frac{31.4mm}{2}\right) \\ &= 2.9N/mm^2\end{aligned}$$

For å finne den jevnførende spenningen i snitt B benyttes ligningen Ve-Tek-Mat.12. Dette er en forenklet formel for å kombinere nominelle spenninger [41].

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.12})$$

I snitt B kan verdier for  $\sigma_{\perp}$ ,  $\tau_{\perp}$  og  $\tau_{\parallel}$  gi verdier som kan benyttes i ligningen Ve-Tek-Mat.12. De vinkelrett ( $\perp$ ) og parallelle ( $\parallel$ ) spenningene opptrer i forhold til sveisens lengderetning og kan finnes med ligningene:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.13})$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{h \cdot 2 \cdot a} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.14})$$

Kraften  $F$  i Ve-Tek-Mat.14 er totalkraften i Z-retning, som består av  $F_z$  og  $F_{Tz}$ . Finner jevnførespennningene i snitt B.

$$\begin{aligned}\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} &= \frac{2.9N/mm^2}{\sqrt{2}} = \underline{2.1N/mm^2} \\ F &= F_z + F_{Tz} = 117.5N + 51.2N = 168.7N \\ \tau_{\parallel} &= \frac{168.7N}{31.4mm \cdot 2 \cdot 3mm} = \underline{0.9N/mm^2}\end{aligned}$$

Setter dette inn i Ve-Tek-Mat.12

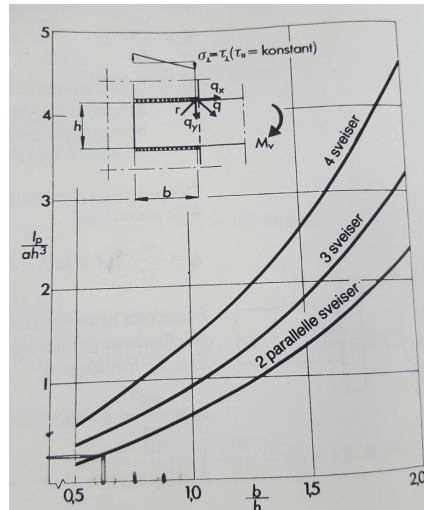
$$\begin{aligned}\sigma_{jf} &= \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \\ &= \sqrt{(2.1N/mm^2)^2 + 3\left((2.1N/mm^2)^2 + (0.9N/mm^2)^2\right)} \\ &= \underline{4.5N/mm^2}\end{aligned}$$

Den største spenningen oppstår i snitt A der bøyepeningene er størst, spenningen er fortsatt langt under hva som er tillatt for stålmaterialet. Det aksepteres i følge NS 470 1.2 x tillatt spenning for stålmaterialet. [41]. Sveisen som fester kniven til akslingen vil tåle bøyepeningene som kan oppstå i systemet.

#### Ve-Tek.4.1.2 Vridningsspenninger på sveisen

Sveisen vil bli utsatt for vridningsspenninger som er skjærspenninger  $\tau_v$ . I forhold til figur Ve-Tek-Fig.35a vil kreftene som påvirker vridning være rett inn mot massesentrumet. For å oppnå størst kraft på den vertikale sveisen er det sett på et tilfelle der akselerasjonen i Y-retning påfører en kraft, som er worst-case. De jevnførespenningerne finnes slik:

$$\sigma_{jf} = \frac{M_v}{2 \cdot I_p} \cdot \sqrt{2 \cdot b^2 + 3 \cdot h^2} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.15})$$



**Ve-Tek-Fig.38:** Diagram for beregning av polart treghetsmoment ( $i_p$ )

[41]

Ved å benytte Ve-Tek-Fig.38 kan man finne en verdi for  $\frac{I_p}{a \cdot h^3} =$  som kan settes inn i ligningen ovenfor Ve-Tek-Mat.15.  $I_p$  er det polare treghetsmomentet av tverrsnittet som vist i beregningene under.

$$\frac{I_p}{a \cdot h^3} = \frac{b}{h} = \frac{31.4mm}{50mm} = 0.63mm$$

Det blir tatt utgangspunkt i at vridningsspenningene tas opp i de vertikale sveisene. Ut i fra Ve-Tek-Fig.38, der  $\frac{b}{h} = 63mm$  tilsvarer dette da en verdi på ca. 0.25 på den vertikale aksene ved to parallelle sveiser.

$$\frac{I_p}{a \cdot h^3} = 0.25 \Rightarrow I_p = a \cdot h^3 \cdot 0.25 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.16})$$

Siste steget for å kunne beregne  $\sigma_{jf}$  er å finne det totale vridningsmomentet ( $M_v$ ).

$$M_v = M_{vy} + M_{v,yaw} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.17})$$



Finner  $M_{vy}$ :

$$M_{vy} = F_y \cdot H$$

$$F_y = ma_1 = 2.5kg \cdot 39m/s^2 = 97.5N$$

$$M_{vy} = 97.5N \cdot 63.16mm = \underline{6158.1Nmm}$$

For å beregne  $M_{v,yaw}$  må akselerasjonen fra yaw multipliseres med  $H$ , slik som vis under:

$$M_{v,yaw} = F_{y,yaw} \cdot H$$

$$a_{yaw} = \alpha \cdot r = 205rad/s^2 \cdot 42.61 \cdot 10^{-3}m = 8.7M/s^2$$

$$F_{y,yaw} = a_{yaw} \cdot m = 8.7m/s^2 \cdot 2.5kg = 21.8N$$

$$M_{v,yaw} = 21.8N \cdot 63.16mm = \underline{1376.9Nmm}$$

Det totale momentet blir som følger

$$M_{v,yaw} = F_{y,yaw} \cdot H$$

$$= 6158.1Nmm + 1376.9Nmm = \underline{7535Nmm}$$

Benytter Ve-Tek-Mat.15 og setter inn verdiene. De jevnførende spenningene blir da på  $3.9N/mm^2$ . Ut i fra resultatet kan et a-mål på  $3mm$  benyttes. Fremgangsmåten er vist under:

$$\sigma_{jf} = \frac{M_v}{2 \cdot I_p} \cdot \sqrt{2 \cdot b^2 + 3 \cdot h^2}$$

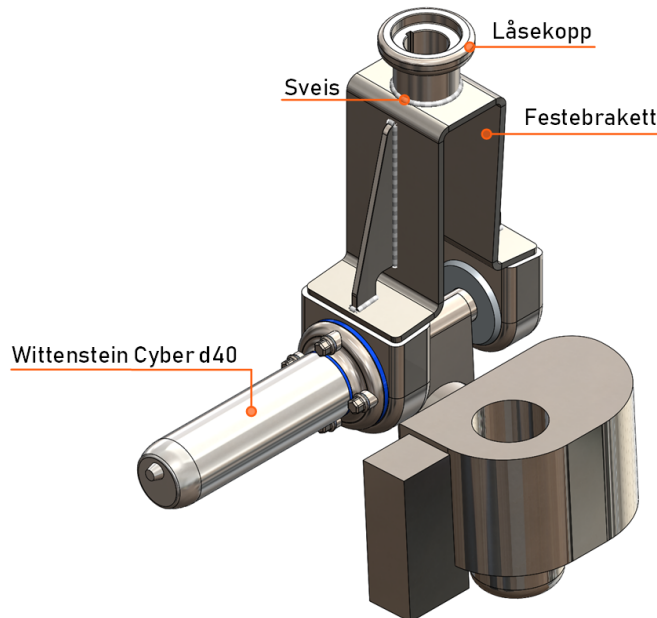
$$M_v = 7535Nmm$$

$$I_p = a \cdot h^3 \cdot 0.25$$

$$\begin{aligned} \sigma_{jf} &= \frac{7535Nmm}{2 \cdot 3mm \cdot 50^3 \cdot 0.25} \cdot \sqrt{2 \cdot 31.4mm^2 + 3 \cdot 50^2} \\ &= \underline{3.9N/mm^2} \end{aligned}$$

### Ve-Tek.4.2 Sveis: rotasjon om yaw

Målet er se om sveisen som fester braketten til yaw tåler belastningene som oppstår ved verst tenkelig tilfelle. Som tidligere nevnt må ikke  $\sigma_{jf}$  overstige  $\sigma_{till} = 68.6MPa$ .



**Ve-Tek-Fig.39:** Beregninger på sveisen som binder låsekoppen og festebraketten sammen.

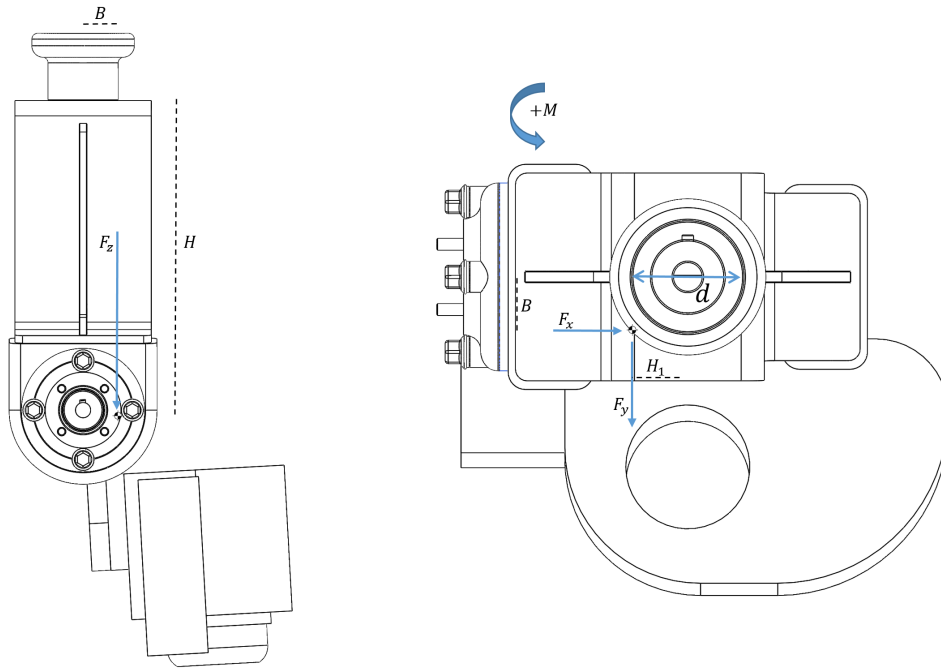
Jevnføringsspenningen kan beregnes ved å benytte Ve-Tek-Mat.12. De spenningene som er relevante å se på i denne sveisen er både normalspenninger  $\sigma_b$  og skjærspenninger  $\tau_v$ . For å finne disse verdiene gjelder Ve-Tek-Mat.18 og Ve-Tek-Mat.19[41] [42]

$$\tau_v = \tau_{\parallel} = \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot a \cdot d^2} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.18})$$

$$\sigma_b = \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot a \cdot d^2} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.19})$$

Det totale vridningsmomentet er som følger:

$$M_{v_{tot}} = M_{v_{motor}} + M_x + M_y \quad (\text{Ve-Tek-Mat.20})$$



**Ve-Tek-Fig.40:** Figuren viser kreftene som fører til spenninger i sveisen.

I Ve-Tek-Fig.40 er akselerasjonene som tidligere nevnt  $x = 18m/s^2$ ,  $y = 39m/s^2$ ,  $z = 47m/s^2$ , de andre parameterne er som følger

$$\begin{aligned}
 B &= 18.4mm & H &= 166.2mm & H_1 &= 19.2mm \\
 m &= 6.3kg & d &= 37mm
 \end{aligned}$$

Kreftene  $F_x$  og  $F_y$  genererer et vridningsmoment. Finner momentet for å kunne regne ut bøyespenningene.

$$M_x = F_x \cdot B$$

$$F_x = m \cdot a_1 = 18m/s^2 \cdot 6.3kg = 113.4N$$

$$M_x = 113.4N \cdot 18.4mm = \underline{2086.6Nmm}$$

$$M_y = F_y \cdot H_1$$

$$F_y = m \cdot a_1 = 39m/s^2 \cdot 6.3kg = 245.7N$$

$$M_y = 245.7N \cdot 19.2mm = \underline{4717.4Nmm}$$

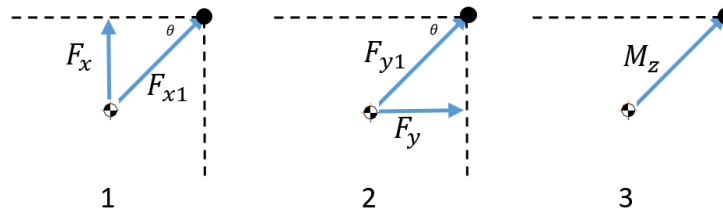
Ved å benytte Ve-Tek-Mat.20 kan det totale momentet beregnes, og videre benyttes resultatet til å finne skjærspenningen ved å bruke *Bredts formel*.

$$\begin{aligned} M_{v_{tot}} &= M_{v_{motor}} + M_x + M_y \\ &= 14000Nmm + 2086.6Nmm + 4717.4Nmm \\ &= \underline{20804Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_v = \tau_{\parallel} &= \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot a \cdot d^2} = \frac{2 \cdot 20804Nmm}{\pi \cdot 3mm \cdot 37mm^2} \\ &= \underline{3.2N/mm^2} \end{aligned}$$

Siden massesenteret ikke er i senter av rotasjonen vil kreftene i systemet skape et bøymoment i sveisen. Akselerasjonen i Z-retning påfører en kraft til massesenteret ( $F_z$ ). Det bøymomentet  $F_z$  skaper danner en vinkel tilnærmet ca.  $45^\circ$  i forhold til Y- og X-aksen som virker inn mot senter av yaw. De dekomponerte kreftene av  $F_x$  og  $F_y$  skaper et bøymoment i samme retning som  $F_z$  vist i Ve-Tek-Fig.41. Det totale bøymomentet som sveisen blir utsatt for kan beregnes slik:

$$M_b = M_z + M_{x1} + M_{y1} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.21})$$



**Ve-Tek-Fig.41:** Figuren viser kreftene i X- og Y-retning og momentet til kraften i Z-retning.

I Ve-Tek-Fig.41 er  $\theta = 45^\circ$  og avstanden fra massesenteret til origo er  $r = 26.6mm$ .

Finner  $M_x$ :

$$M_x = F_{x1} \cdot H$$

$$F_{x1} = \frac{F_x}{\sin \theta} = \frac{113.4N}{\sin 45} = 160.4N$$

$$M_x = 160.4N \cdot 166.2mm = \underline{26653.8Nmm}$$

Finner  $M_y$ :

$$M_y = F_{y1} \cdot H$$

$$F_{y1} = \frac{F_y}{\sin \theta} = \frac{245.7N}{\cos 45} = 347.5N$$

$$M_y = 347.5N \cdot 166.2mm = \underline{57749.9Nmm}$$

Finner  $M_z$ :

$$M_z = F_z \cdot r$$

$$F_z = m \cdot z = 6.3kg \cdot 47m/s^2 = 296.1N$$

$$M_z = 296.1N \cdot 26.6mm = \underline{7876.3Nmm}$$

Finner det totale bøyemomentet ved å sette verdiene inn i Ve-Tek-Mat.21

$$M_b = M_z + M_{x1} + M_{y1}$$

$$= 7876.3Nmm + 26653.8Nmm + 57749.9Nmm$$

$$= \underline{92280.3Nmm}$$

Det totale bøyemomentet er på  $M_b = 92280.3Nmm$  og velger at  $a = 3mm$ . Ve-Tek-Mat.19 kan benyttes for å finne spenningene bøyemomentet er et resultat av. Derav blir:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot a \cdot d^2} \\ &= \frac{4 \cdot 92280.3Nmm}{\pi \cdot 3mm \cdot 37mm^2} \\ &= \underline{28.6N/mm^2}\end{aligned}$$

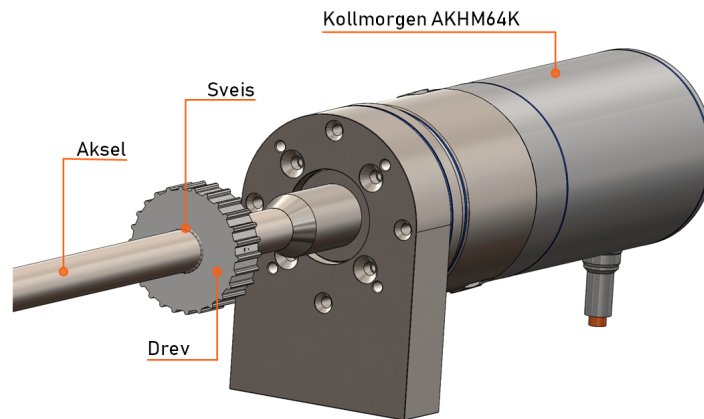
Ve-Tek-Mat.13 kan benyttes for å finne de vinkelrette normal- og skjærspenningene, som igjen kan benyttes for å finne jevnføringsspenningen i sveisen. Ved å sette inn verdiene for  $\sigma_{\perp}$ ,  $\tau_{\perp}$  og  $\tau_{\parallel}$  fra Ve-Tek-Mat.12 får man:

$$\begin{aligned}\sigma_{jff} &= \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \\ \sigma_{\perp} = \tau_{\parallel} &= \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{28.6N/mm^2}{\sqrt{2}} = \underline{20.2N/mm^2} \\ \sigma_{jff} &= \sqrt{(20.2N/mm^2)^2 + 3((20.2N/mm^2)^2 + (3.2N/mm^2)^2)} \\ &= \underline{40.8N/mm^2[MPa]}\end{aligned}$$

Ut i fra beregningene er det valgt å benytte et a-mål på  $3mm$ . Dette resulterte i en jevnføringsspenning på  $40.8MPa$ , som er lavere enn tillat spenning. Det vil si at valgt a-mål er tilstrekkelig for sveisen.

### Ve-Tek.4.3 Aksel med påsveisede drev tilhørende Z-aksen

I systemet sitter det en aksling som skal drive Z-aksen. Akslingen har påsveisede drev fra brecoflex, som blir utsatt for store vridningsspenning og det er da essensielt å vite hvilket a-målet som må benyttes på denne sveisen.



**Ve-Tek-Fig.42:** Drev med sveis

I Ve-Tek-Fig.42 er det vist at drevet er tredd inn på akslingen. Ut i fra dette er det både hensiktsmessige å benytte to sveiser for å øke styrken på sveisen og redusere flate-mot flate-kontakt med tanke på hygienisk design.

For å beregne størrelsen på a-målet kan man sette formelene for skjærspenning for aksel og sveis er lik hverandre ( $\tau_{v,aksel} = \tau_{v,sveis}$ ) [41]. Dette gjør at man kan finne et a-mål som gjør at sveisen er jevnsterk med akslingen.

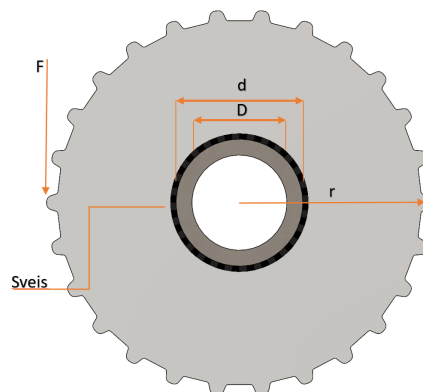
Aksel:

$$\tau_v = \frac{M_v}{I_p} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.22})$$

$$I_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^4 - D^4}{d} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.23})$$

Sveis:

$$\tau_v = \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot d^2 \cdot a} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.24})$$



**Ve-Tek-Fig.43:** Drev fra siden med sveis

$$F = 3316.6N \quad r = 60mm$$

$$D = 30mm \quad d = 40mm$$

Kan beregne det polare treghetsmomentet til den hule akslingen slik [87]

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^4 - D^4}{d} \\ &= \frac{\pi}{16} \cdot \frac{40mm^4 - 30mm^4}{40mm} \\ &= 8590.3mm^3 \end{aligned}$$

Setter ligningene Ve-Tek-Mat.22 og Ve-Tek-Mat.24 sammen og løser dem med hensyn på "a". Siden det er to sveiser multipliseres skjærspenningene i sveisen med  $\frac{1}{2}$ .



Løsning:

$$\begin{aligned}\tau_{v,aksel} &= \tau_{v,sveis} \\ \frac{M_v}{I_p} &= \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot d^2 \cdot a} \\ a &= \frac{I_p}{\pi \cdot d^2} = \frac{8590.3 \text{mm}^3}{\pi \cdot 40 \text{mm}^2} \\ &= \underline{1.7 \text{mm}}\end{aligned}$$

Finner skjærspenningene i sveisen ved å bruke Ve-Tek-Mat.24 og benytte utregnet a-mål. Resultatet blir da brukt til å kontrollere den jevnførende spenningen Ve-Tek-Mat.12.

$$\begin{aligned}\tau_v = \tau_{\parallel} &= \frac{2 \cdot M_v}{\pi \cdot a \cdot d^2} \\ &= \frac{2 \cdot 3316.6 \text{N} \cdot 60 \text{mm}}{2 \cdot \pi \cdot 1.7 \text{mm} \cdot 40 \text{mm}^2} \\ &= \underline{23.3 \text{N/mm}^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{jf} &= \sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot (23.3 \text{N/mm}^2)^2} \\ &= \underline{40.3 \text{N/mm}^2}\end{aligned}$$

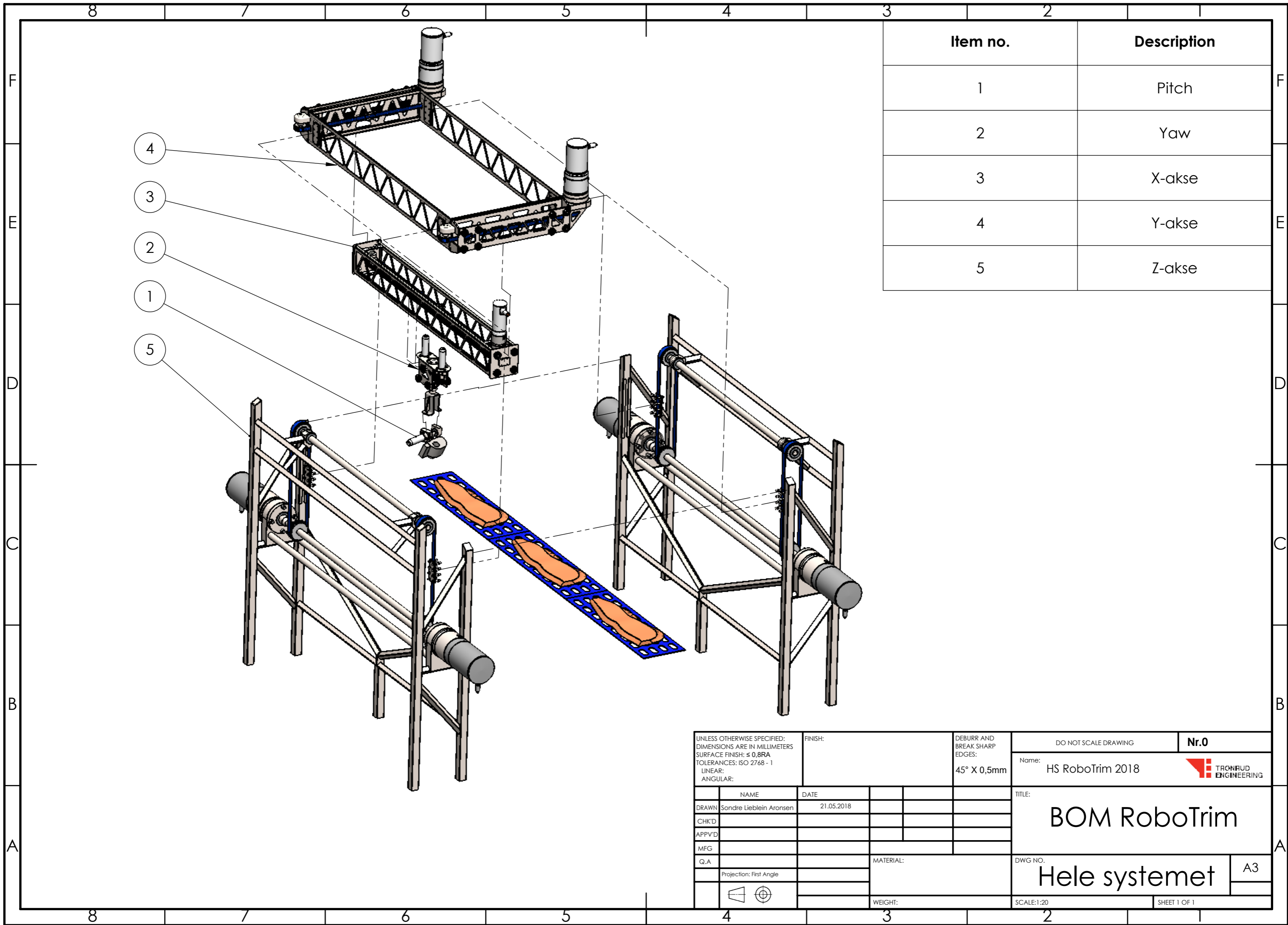
Jevnføringsspenningen er lavere enn den tillatte spenningen, men velger fortsatt et a-mål på 3mm da dette er et minimum for kilesveiser som overfører krefter [41].

## Ve-Tek.5 2D-tegninger og BOM


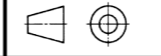
Tegningnr.	Akse	Tittel
0	<i>System</i>	<b>BOM</b> Hele systemet
1.1	<i>Pitch</i>	<b>BOM</b> Pitch
1.2	<i>Pitch</i>	Overføring pitch aksel kniv
1.3	<i>Pitch</i>	Aksel pitch
1.4	<i>Pitch</i>	Brakett pitch aksel blind side
1.5	<i>Pitch</i>	Brakett pitch aksel lav
1.6	<i>Pitch</i>	Feste mellom motor og brakett pitch
1.7	<i>Pitch</i>	Hylse feste pitch
1.8	<i>Pitch</i>	Sveis Pitch overføring mot aksel
2.1	<i>Yaw</i>	<b>BOM</b> Yaw med pitch
2.2	<i>Yaw</i>	<b>BOM</b> Motor med fester yaw
2.3	<i>Yaw</i>	<b>BOM</b> Lagerholder med senteraksel
2.4	<i>Yaw</i>	Feste mot Pitch U-formet plate
2.5	<i>Yaw</i>	Avstiver brakett feste pitch
2.6	<i>Yaw</i>	Feste aksel yaw-pitch
2.7	<i>Yaw</i>	Lagerholder yaw senteraksel
2.8	<i>Yaw</i>	Lagerlaaser yaw
2.9	<i>Yaw</i>	Holder z
3.1	<i>X-akse</i>	<b>BOM</b> X-akse
3.2	<i>X-akse</i>	<b>BOM</b> Loper med hjul
3.3	<i>X-akse</i>	<b>BOM</b> Skinner X-retning
3.4	<i>X-akse</i>	<b>BOM</b> Motor med gir x-akse Kollm. Micron
4.1	<i>Y-akse</i>	<b>BOM</b> Skinner y
4.2	<i>Y-akse</i>	<b>BOM</b> Y-akse
4.3	<i>Y-akse</i>	<b>BOM</b> Motor og gir y-akse

5.1	<i>Z-akse</i>	<b>BOM</b> Z-akse
5.2	<i>Z-akse</i>	<b>BOM</b> Ror med guider Z
5.3	<i>Z-akse</i>	<b>BOM</b> Motor og gir z-akse
5.4	<i>Z-akse</i>	<b>BOM</b> Ror med guide Z
5.5	<i>Z-akse</i>	<b>BOM</b> Aksel med drev Z
5.6	<i>Z-akse</i>	<b>BOM</b> Paralellakse med drev Z

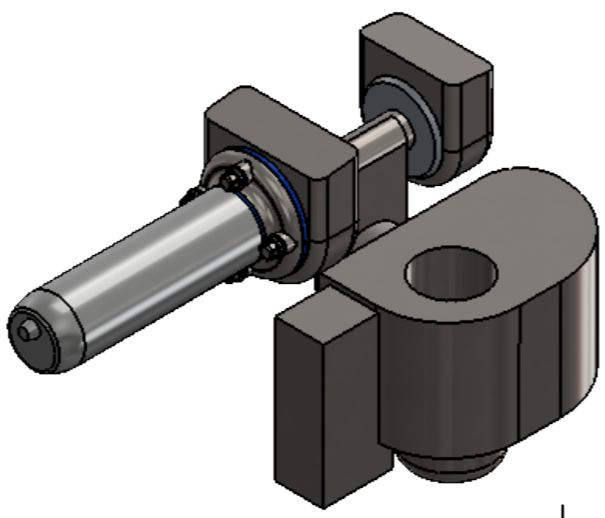
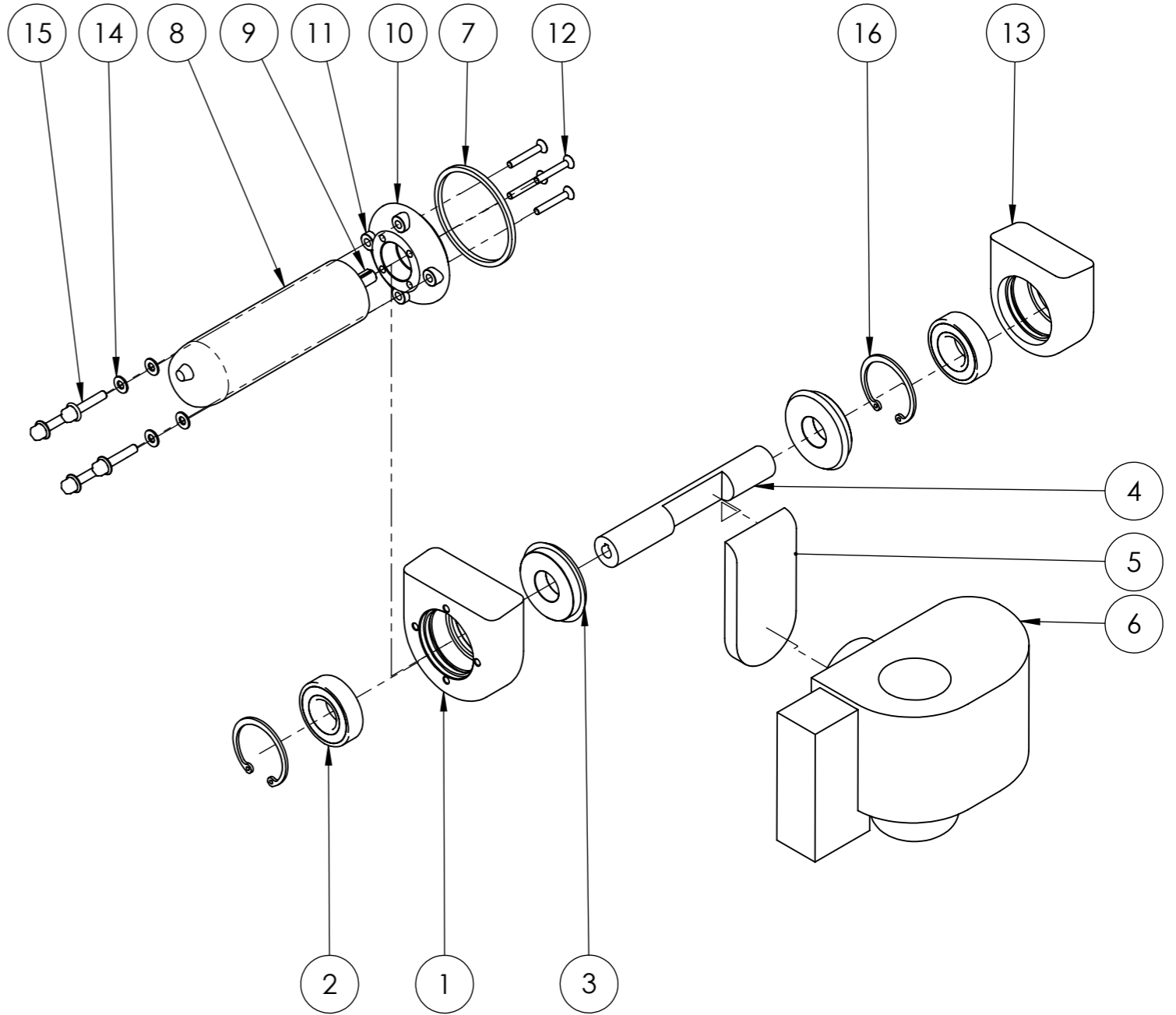
**Ve-Tek-Tab.6:** Oversikt: 2D-tegninger og BOM



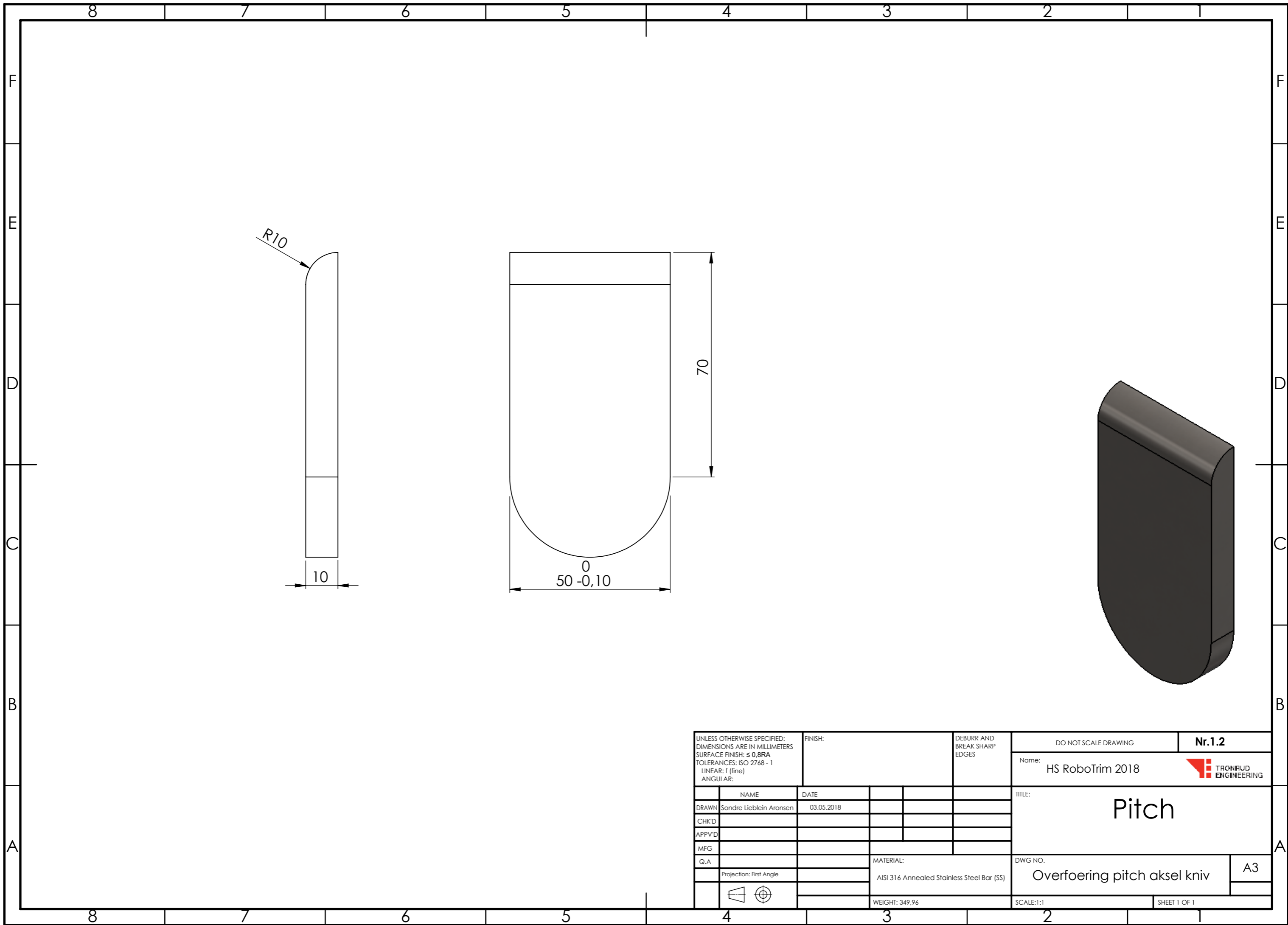
Item no.	Description
1	Pitch
2	Yaw
3	X-akse
4	Y-akse
5	Z-akse

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.0
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: BOM RoboTrim	
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	DWG NO. Hele systemet
Projection: First Angle					A3
			WEIGHT:	SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1

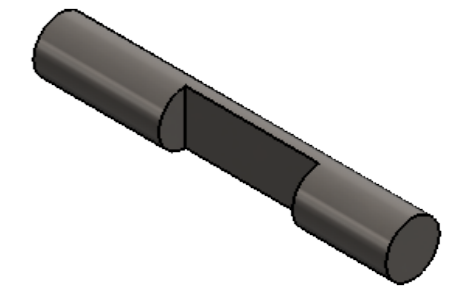
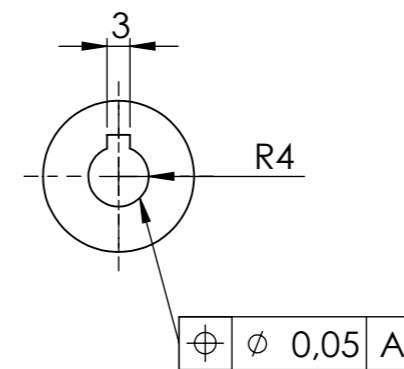
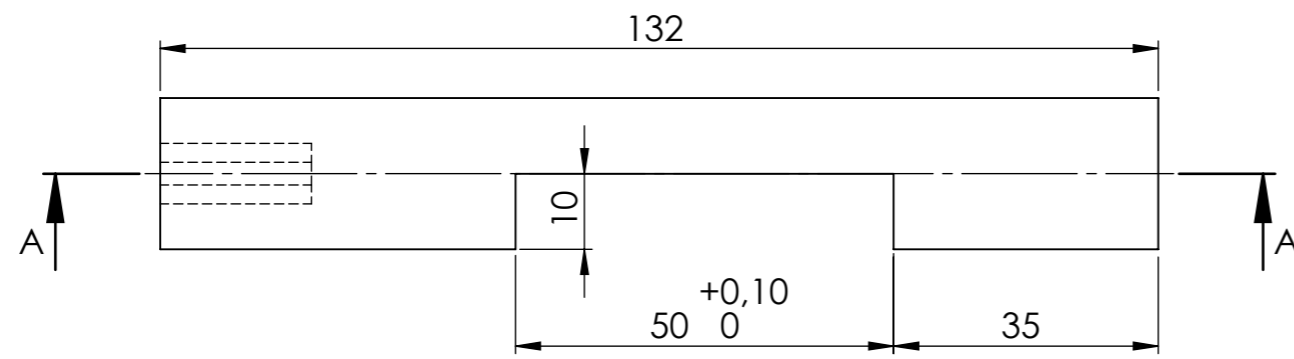
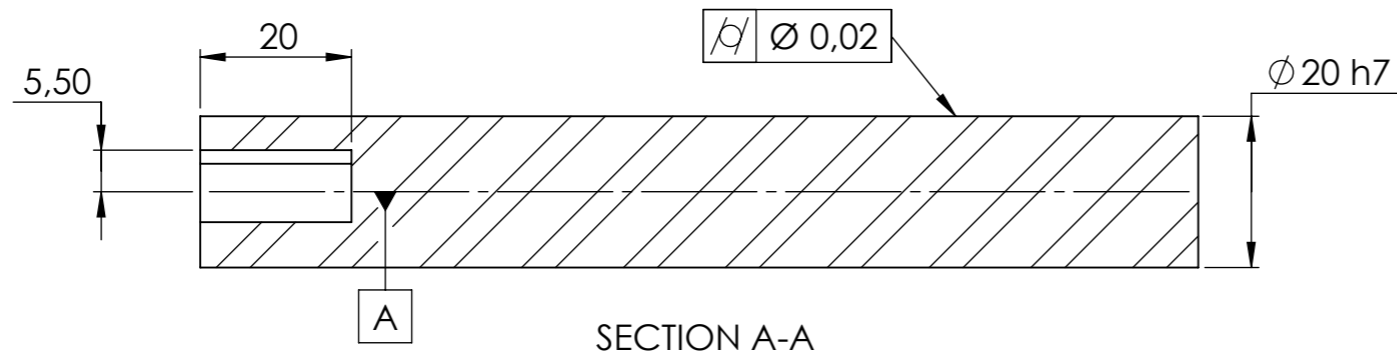
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Brakett pitch aksel lav	Hus lager V. side	1
2	NSK_RB_6004DDU_d20	Lager	2
3	Simring ProTech WD profile		2
4	Aksel pitch		1
5	Overefoering pitch aksel kniv		1
6	Kniv		1
8	Cyber d40 2-stage		1
9	Cyber d40 aksel		1
10	Feste mellom motor og brakett pitch		1
11	Hylse feste pitch		4
12	HEXAGON SOCKET 80 M BUMAX countersunk		4
13	Brakett pitch aksel lav blind side	Hus lager H. side	1
14	M5 K1326.064	Freudenberg	4
15	Bolt Kipp HEX		4
16	RTWS_No.42_retaining_ring		2
21	O-ring feste motor		1



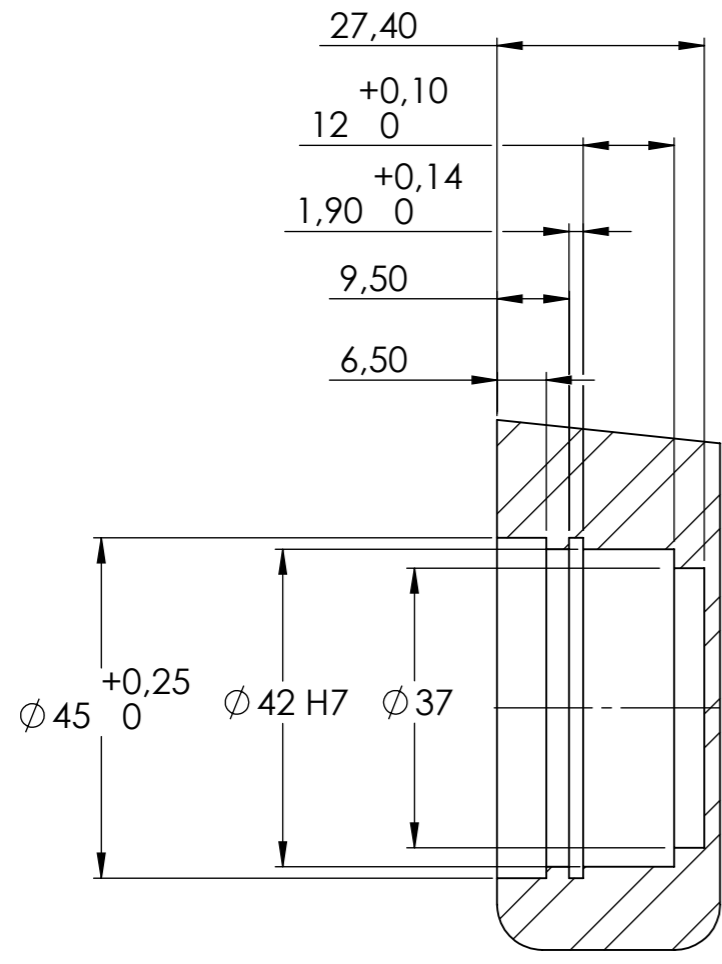
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.1
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: Pitch	
APPV'D				DWG NO. BOM Pitch	A3
MFG				SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1
Q.A			MATERIAL:		
Projection: First Angle					
			WEIGHT: 5397.87		



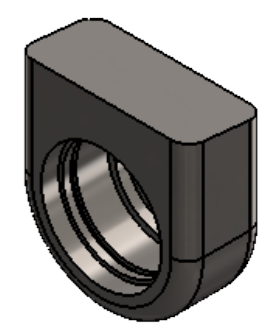
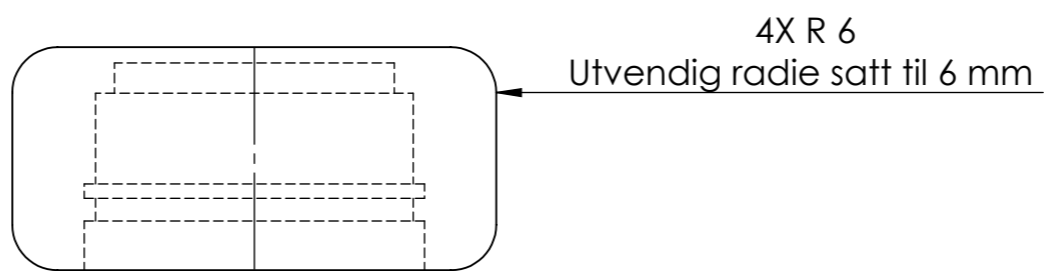
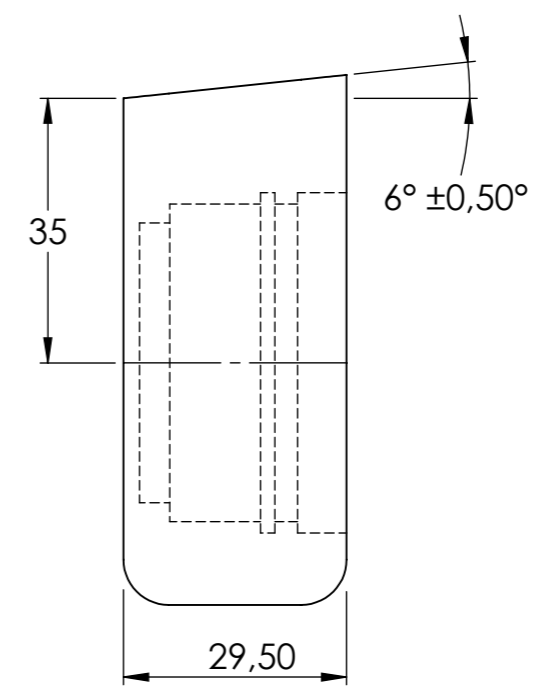
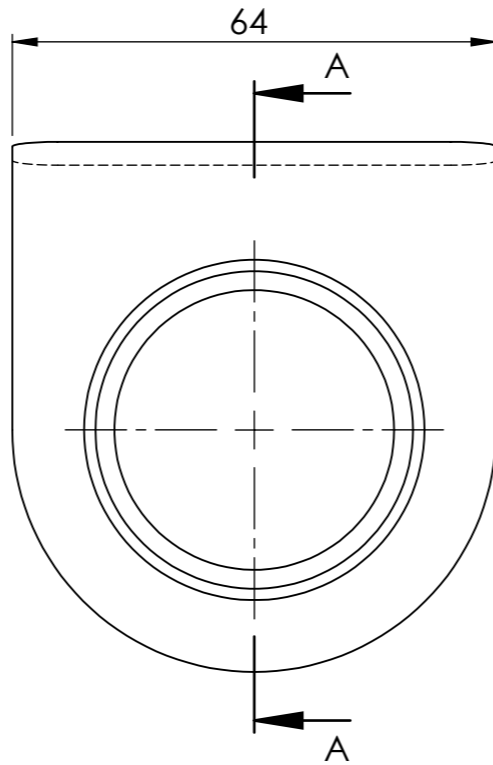
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f (fine) ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.2
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>Pitch</b>	
APPVD					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	DWG NO. Overfoering pitch aksel kniv	A3
			WEIGHT: 349,96	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1


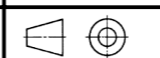


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8 \text{ RA}$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f (fine) ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.3
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE: <b>Pitch</b>	
APPV'D				DWG NO. <b>Aksel pitch</b>	
MFG				SCALE: 1:1	A3
Q.A				SHEET 1 OF 1	
Projection: First Angle			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel (SS)		
WEIGHT: 260,11					

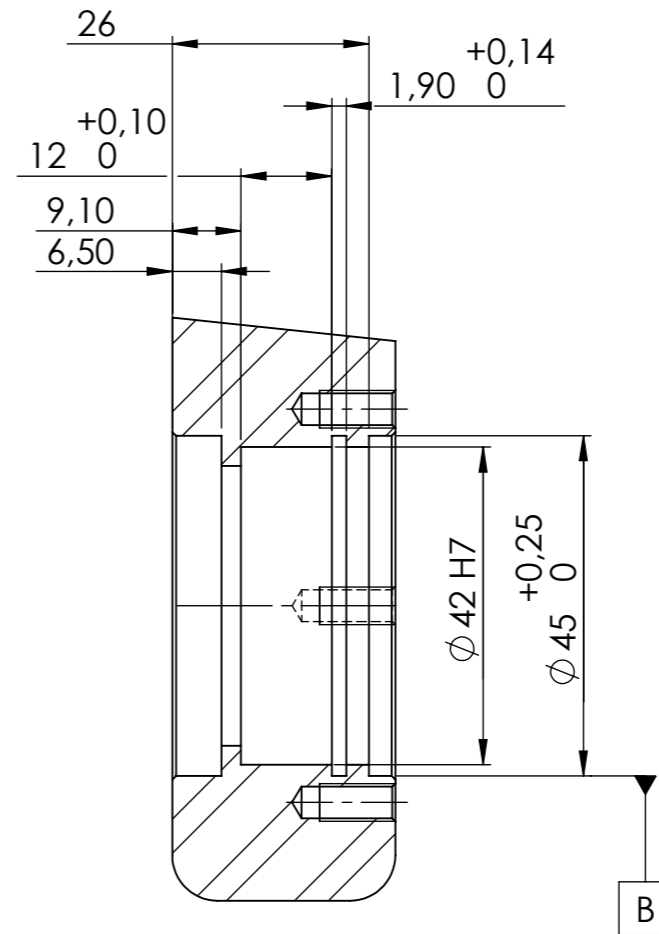
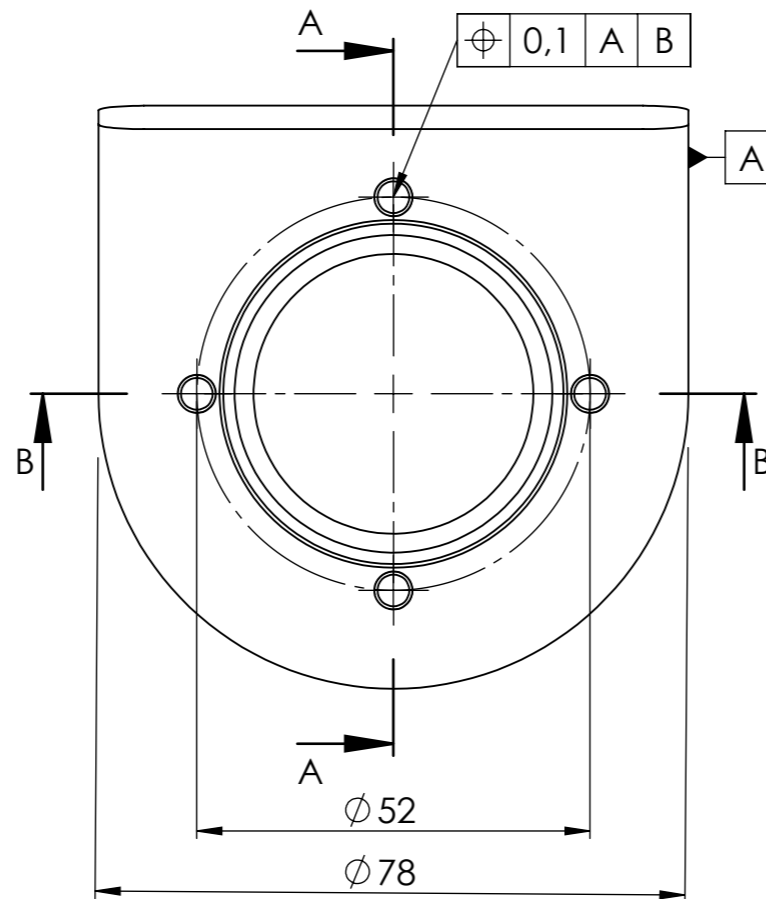
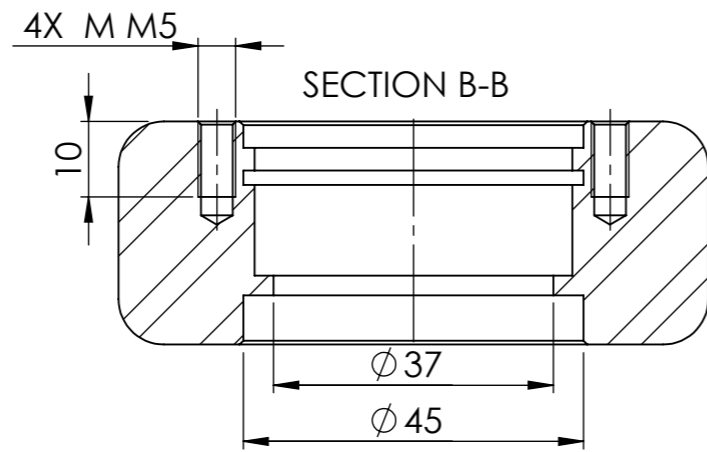
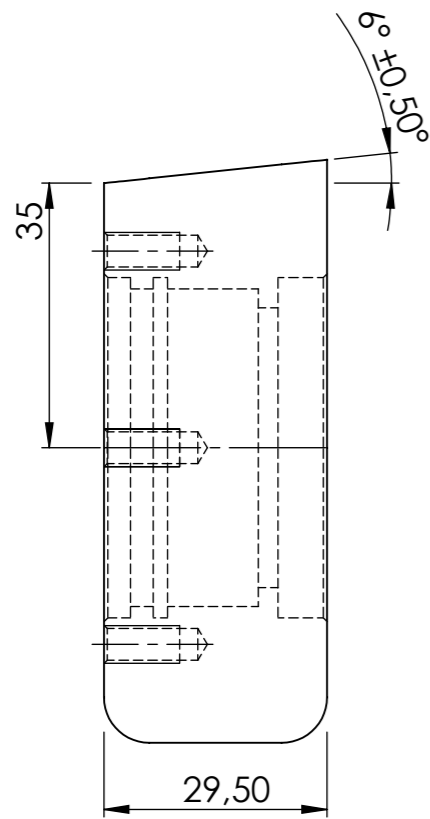


SECTION A-A

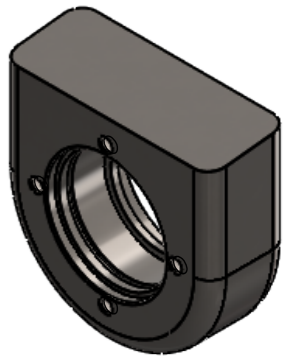


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f (fine) ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.4
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: Pitch	
APPV'D					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle			MATERIAL: AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	DWG NO. Brakett pitch aksel blind side	A3
			WEIGHT: 603,18	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1

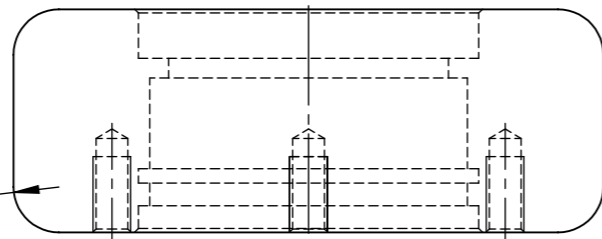




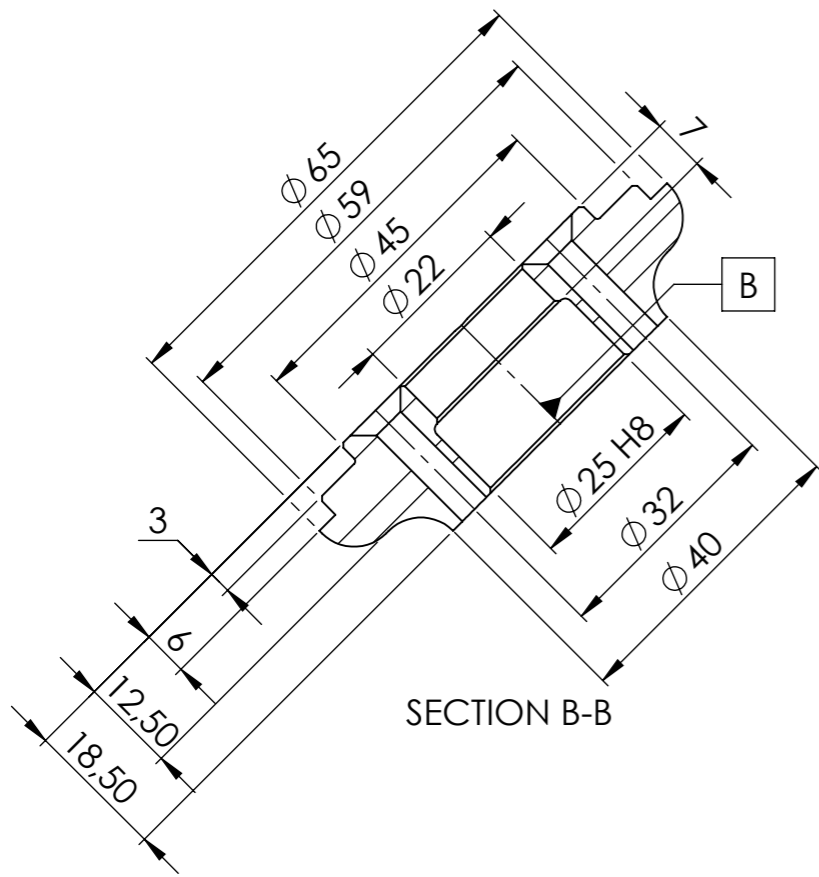
SECTION A-A  
Kanter knekkes med 45°



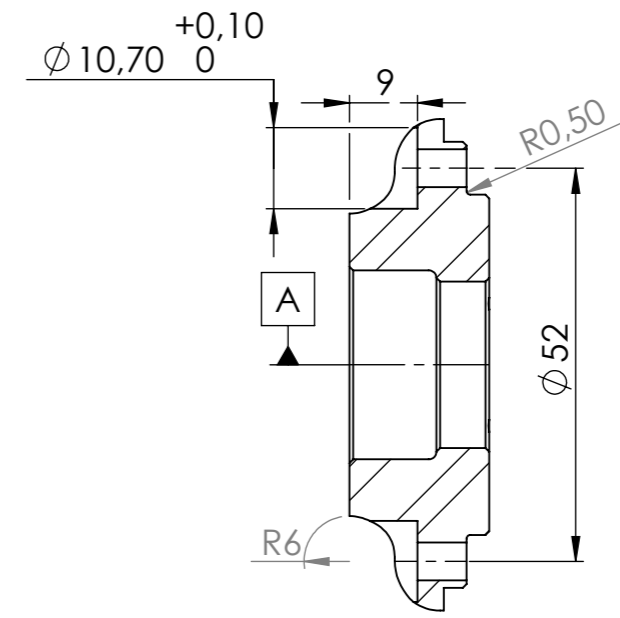
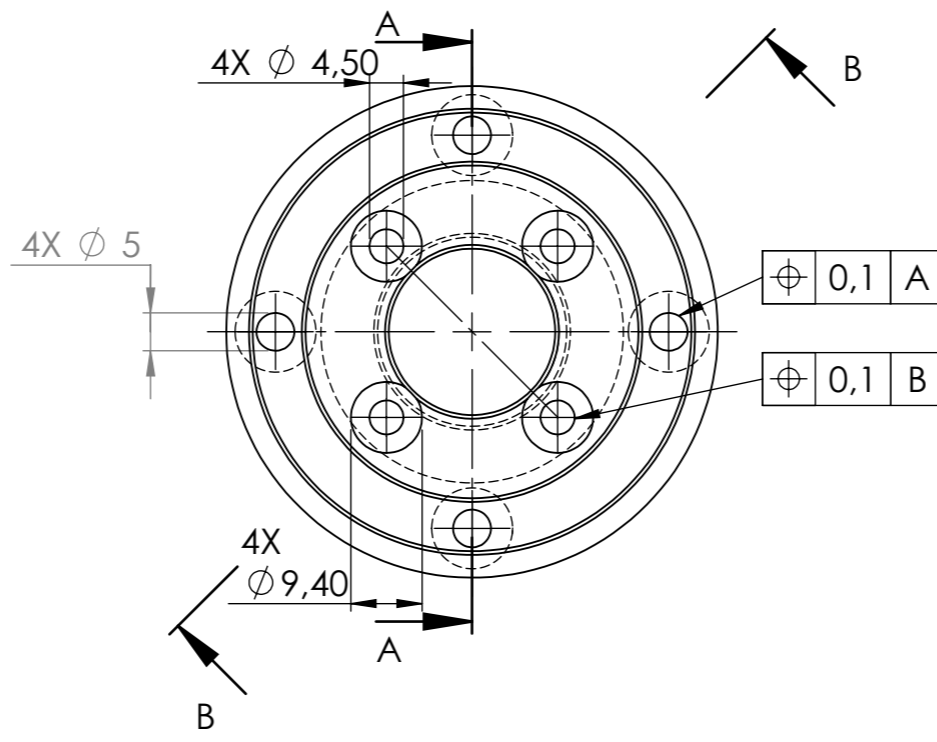
4X R R6  
Utvendig radie satt til 6 mm



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f (fine) ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.5
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE:	
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL: AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	DWG NO. Brakett pitch aksel lav	A3
Projection: First Angle			WEIGHT: 866,97	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1

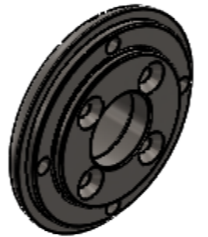


SECTION B-B

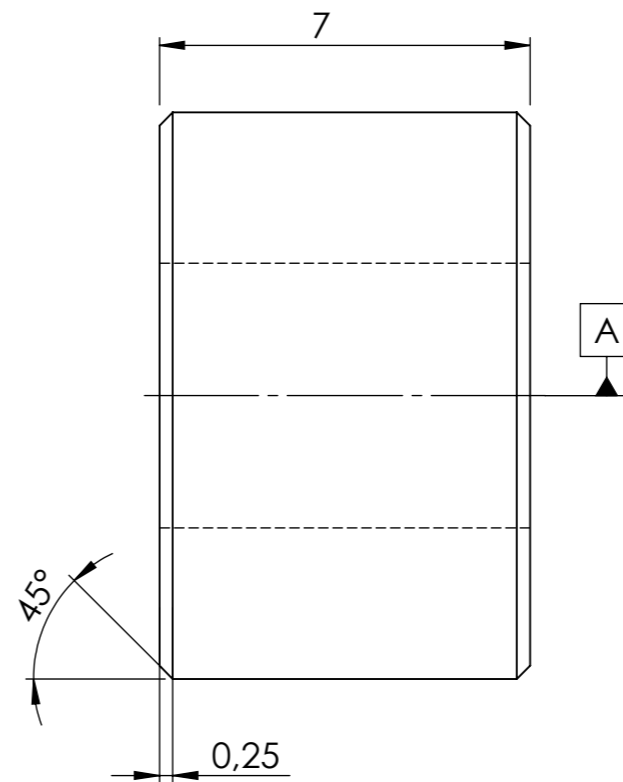
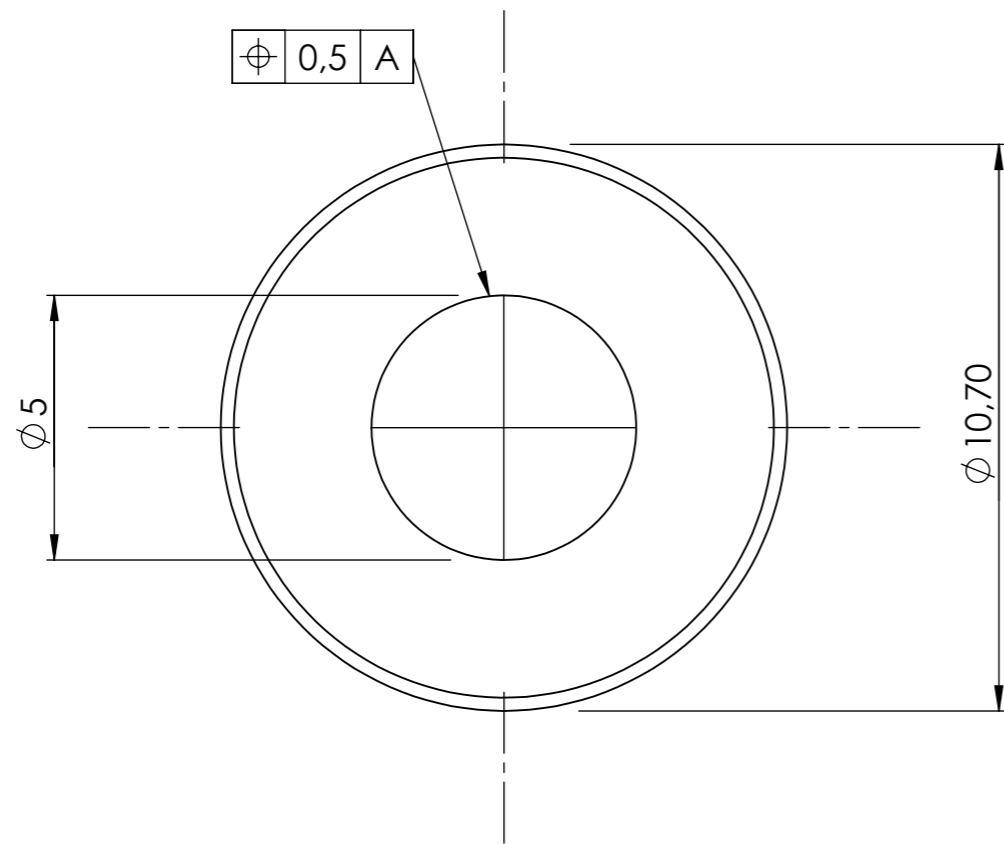



SECTION A-A

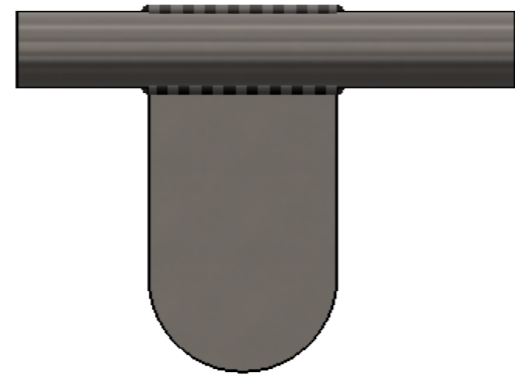
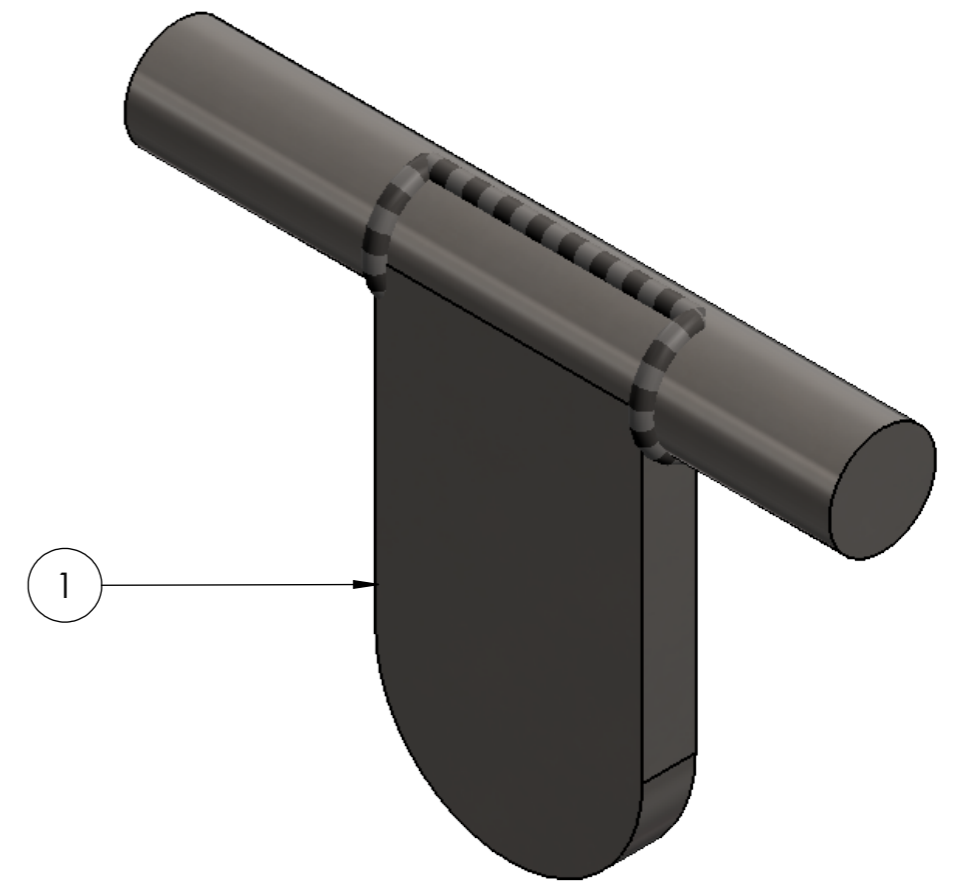
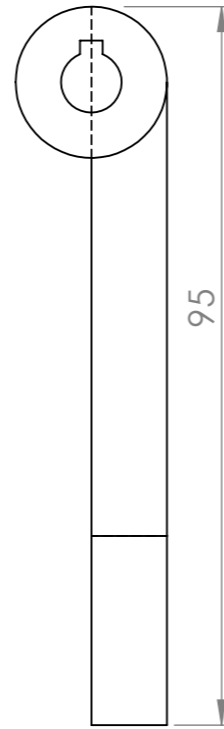
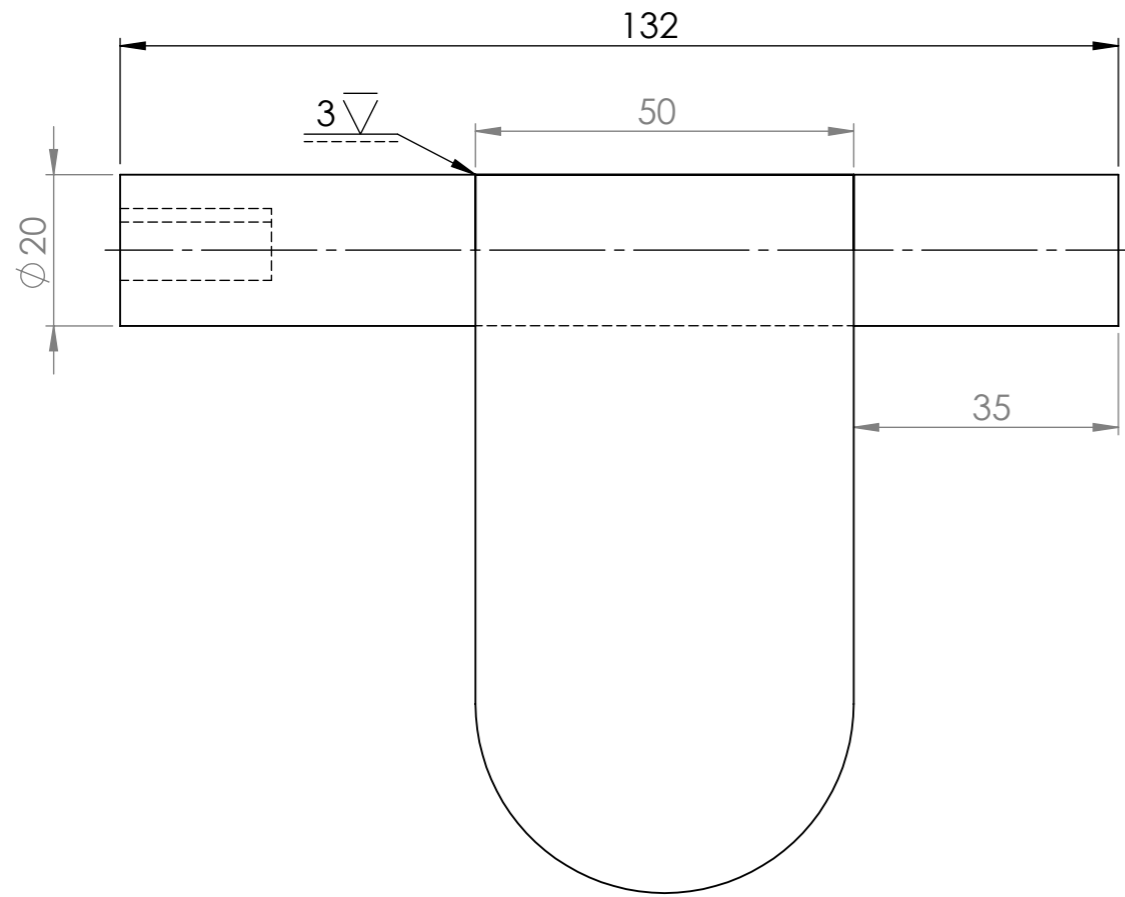
Kanter knekkes med radie på 0.5 ved 45°



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f (fine) ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.6
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>Pitch</b>	
APPV'D				DWG NO.	A3
MFG				Feste mellom motor og brakett pitch	
Q.A			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1
Projection: First Angle			WEIGHT: 241,87		

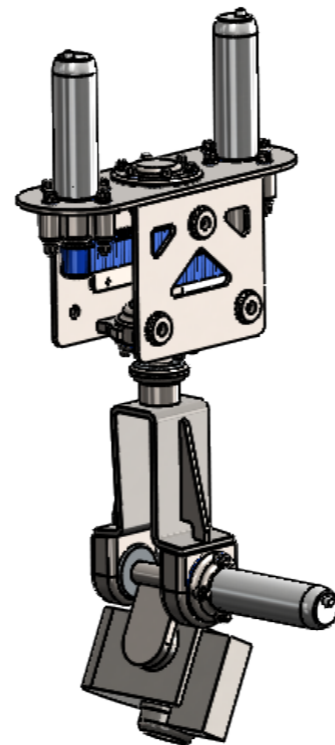
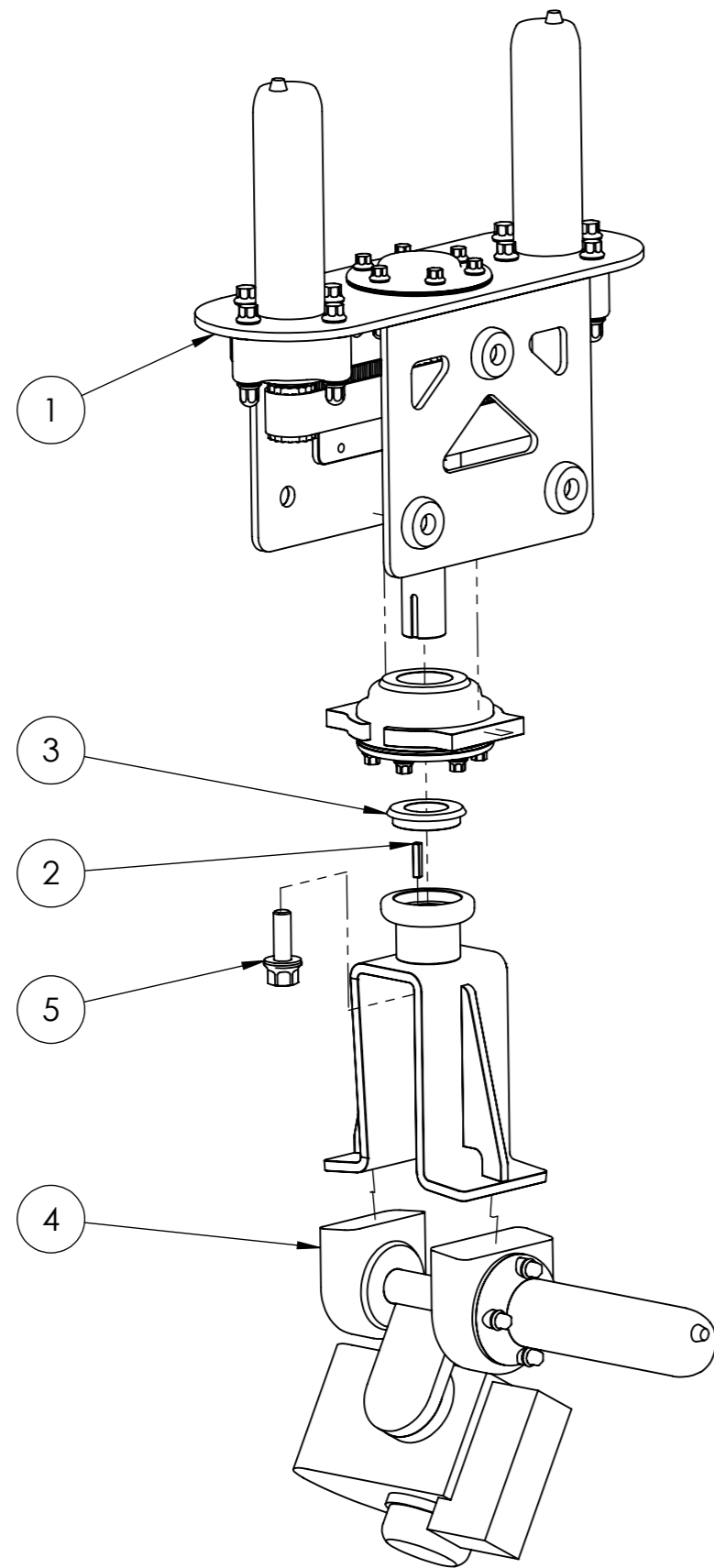


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f (fine) ANGULAR: c (coarse)		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.1.7
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>Pitch</b>	
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	DWG NO. Hylse feste pitch	A3
Projection: First Angle			WEIGHT: 3,92	SCALE: 5:1	SHEET 1 OF 1



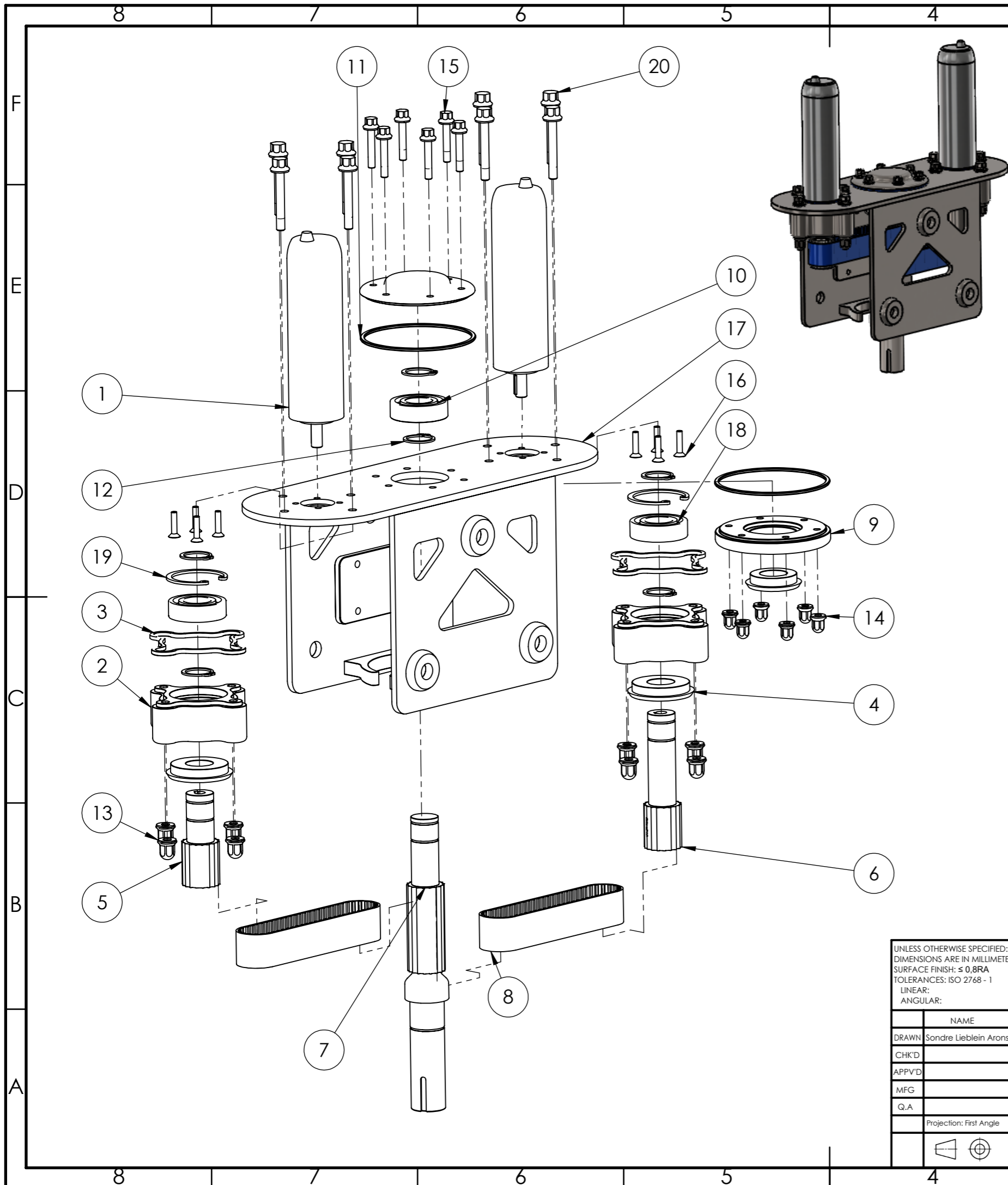
ITEM NO.	WELD SIZE	SYMBOL	WELD LENGTH	WELD MATERIAL	QTY.
1	3	∇	162.83		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DO NOT SCALE DRAWING		Nr.1.8
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018	Name: HS RoboTrim 2018		
CHK'D			TITLE: Pitch		
APPV'D			DWG NO. Sveis Pitch overføring mot aksel		
MFG			SCALE: 1:1		
Q.A.			MATERIAL:		A3
Projection: First Angle			WEIGHT: 610,07		SHEET 1 OF 1



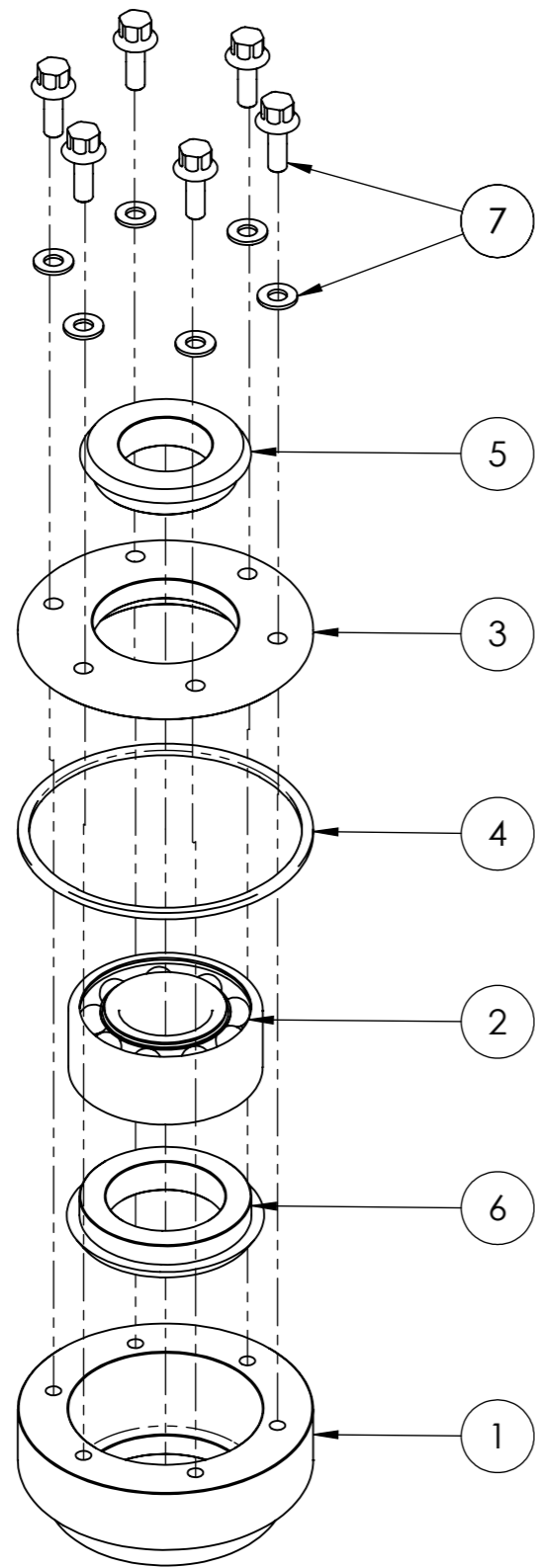
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1		Yaw	1
2		Kile senteraksle yaw	1
3		25mm senter 39mm bor	1
4		Pitch med festebrakett senteraksel	1
5		Bolt 30mm og skive Kipp M10	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.1
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 19.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE: BOM Yaw	
APPV'D				DWG NO. Yaw med pitch	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SCALE:1:4	
Projection: First Angle				SHEET 1 OF 1	
WEIGHT: 1,6611,82					

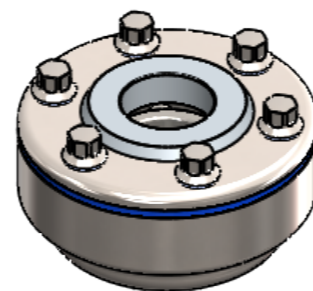


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Cyber d40 2-stage sammenstilling		2
2	Lagerholder aksel motor yaw		2
3	Pakning yaw mot plate customgasketmfg.com		2
4	20mm senter 42mm bor	Simmering	2
5	Aksel med reimhjul		1
6	Aksel lang med reimhjul		1
7	Senteraksel yaw assy		1
8	Reim AT5		2
9	Underdel holder senteraksel yaw		1
10	7004		1
11	Toppdel med pakning senteraksel		1
12	STWS20 Mitsumi		6
13	Mutter og skive Kipp M6		8
14	Mutter og skive Kipp M5		6
15	Bolt 30mm og skive Kipp M5		6
16	HEXAGON SOCKET 80 M BUMAX countersunk		8
17	Motorholderplate		1
18	6004	Lager	2
19	RTWS_No.42_retaining_ring		2
20	Bolt 45mm og skive Kipp M6		8

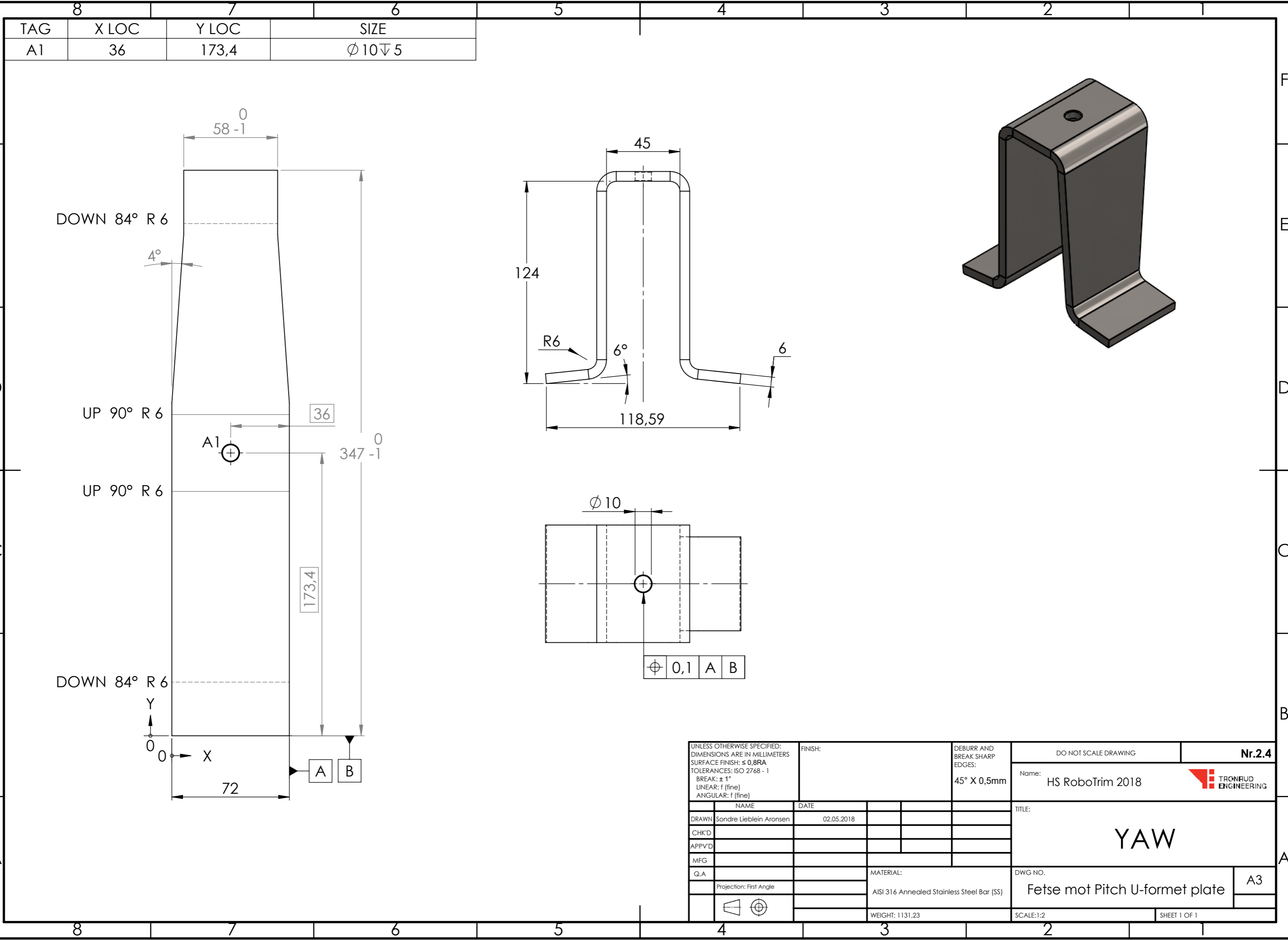
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.2
				Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
				TITLE: <b>BOM Yaw</b>	
NAME		DATE			
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		19.05.2018			
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle					
			DWG NO. Motor med fester yaw		
			A3		
			WEIGHT: 8560,40		
			SCALE: 1:3		
			SHEET 1 OF 1		



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Lagerholder yaw senteraksel	1
2	SKF 3205 A	1
3	Lagerlaaser yaw	1
4	O-ring lagerholder senteraksel	1
5	25mm senter 39mm bor	1
6	32mm senter 46mm bor	1
7	Bolt 15mm og skive Kipp M5	6



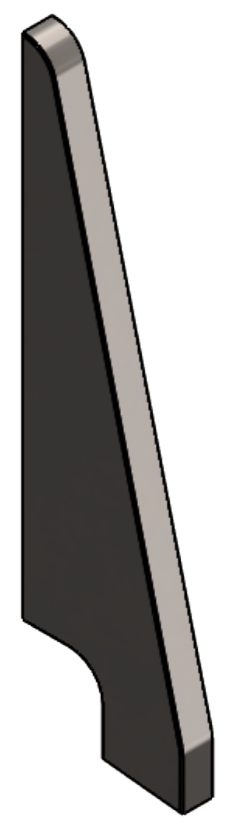
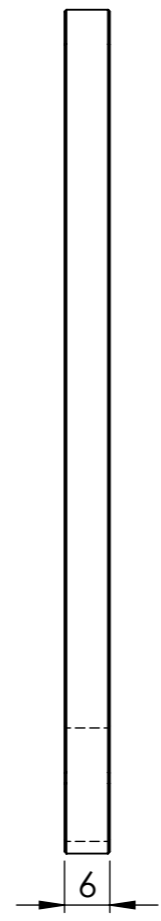
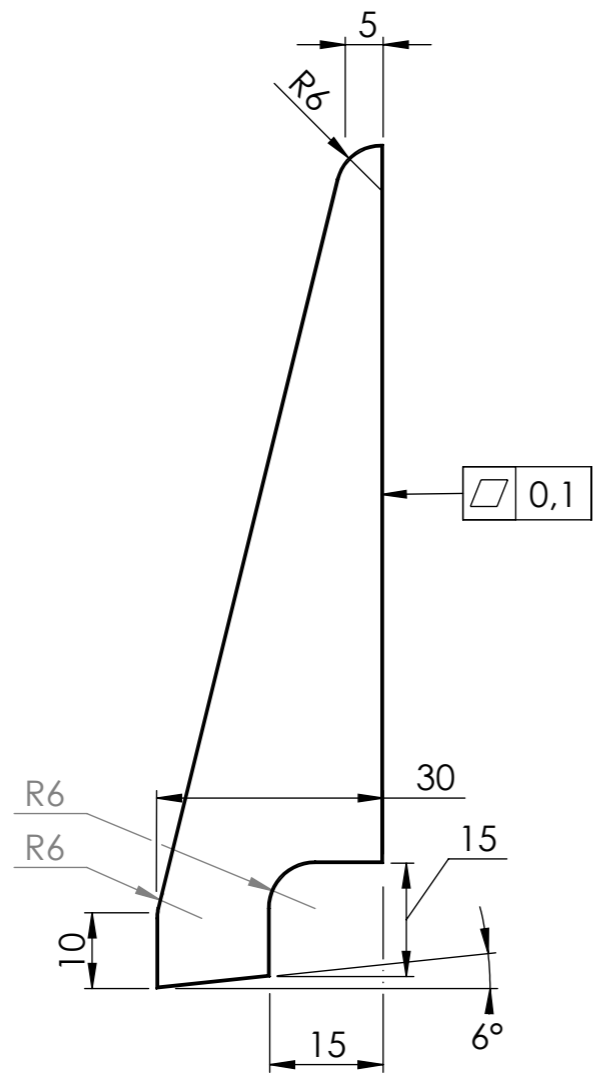
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.3
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 19.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D			<h1>BOM Yaw</h1>		
APPVD					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle			MATERIAL:	DWG NO. Lagerholder med lager senteraksel 25mm senter_exploded	A3
WEIGHT: 1013,88		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	



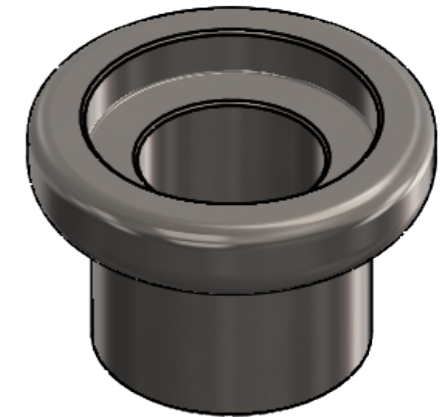
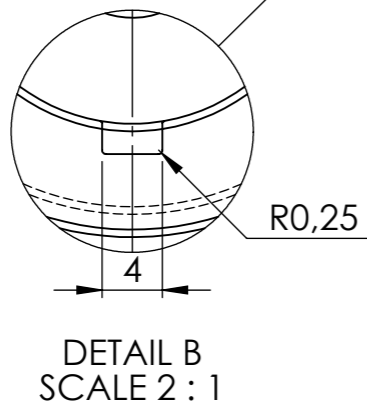
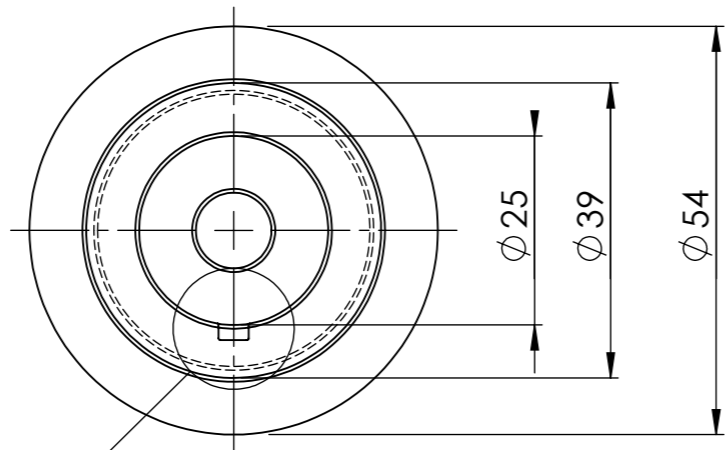
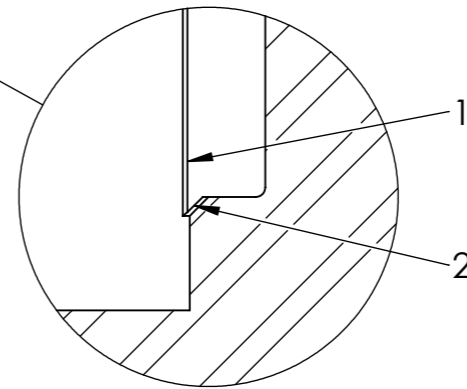
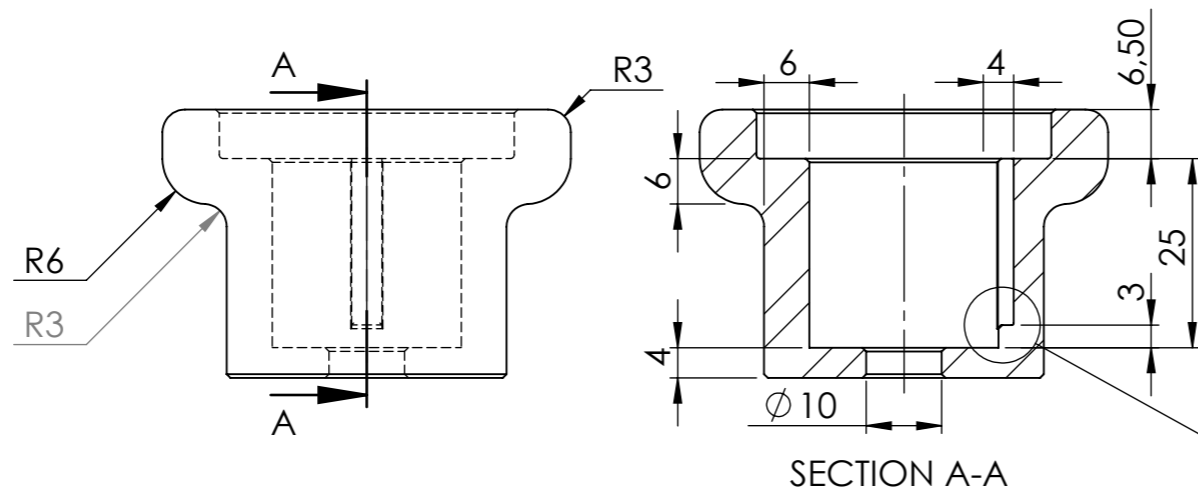
TAG	X LOC	Y LOC	SIZE
A1	36	173,4	$\phi 10 \nabla 5$


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 BREAK: $\pm 1^\circ$ LINEAR: f (fine) ANGULAR: f (fine)		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.4
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 02.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>YAW</b>	
APPVD					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	DWG NO. Fetse mot Pitch U-format plate	A3
			WEIGHT: 1131,23	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

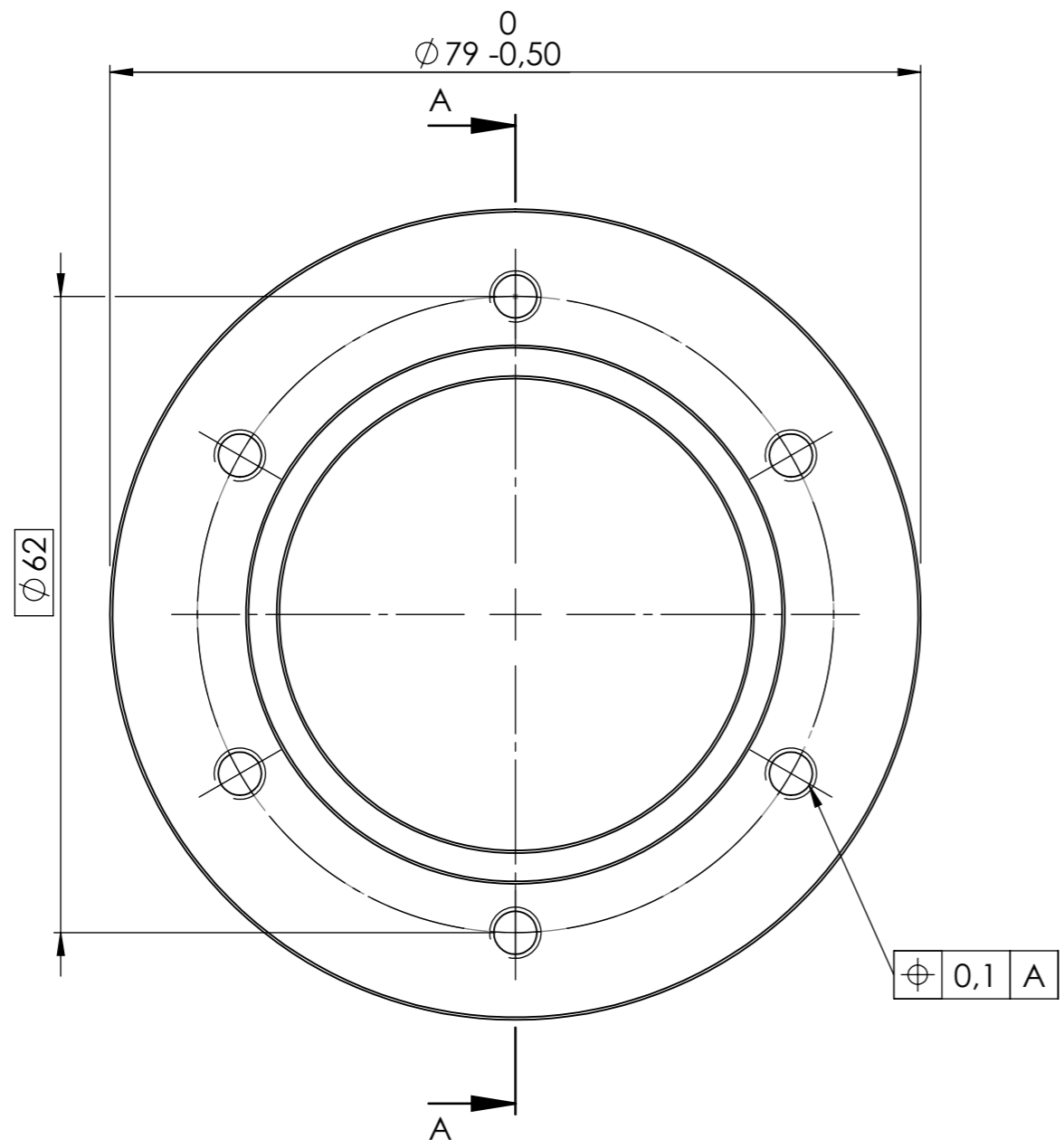




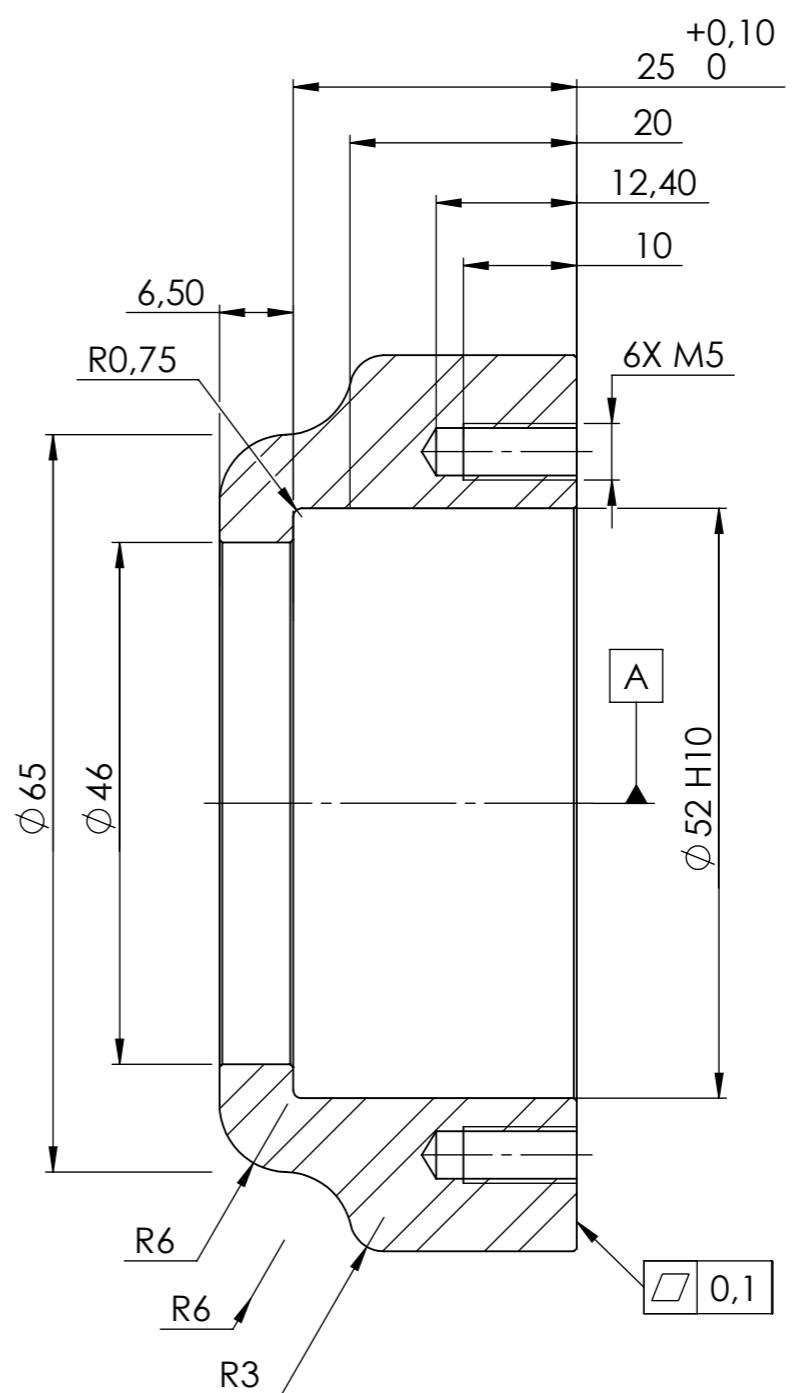
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: f(fine) ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,25mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.5
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: YAW	
APPV'D					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle			MATERIAL: AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	DWG NO. Avstiver brakett feste pitch	A3
			WEIGHT: 87,26	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1



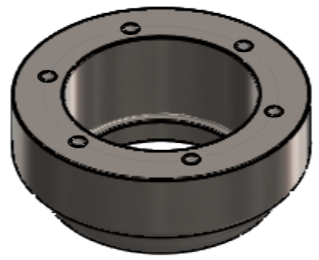
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.6
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>YAW</b>	
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	DWG NO. Feste aksel yaw-pitch	A3
Projection: First Angle			WEIGHT: 251,72	SCALE: 1:1	SHEET 2 OF 2



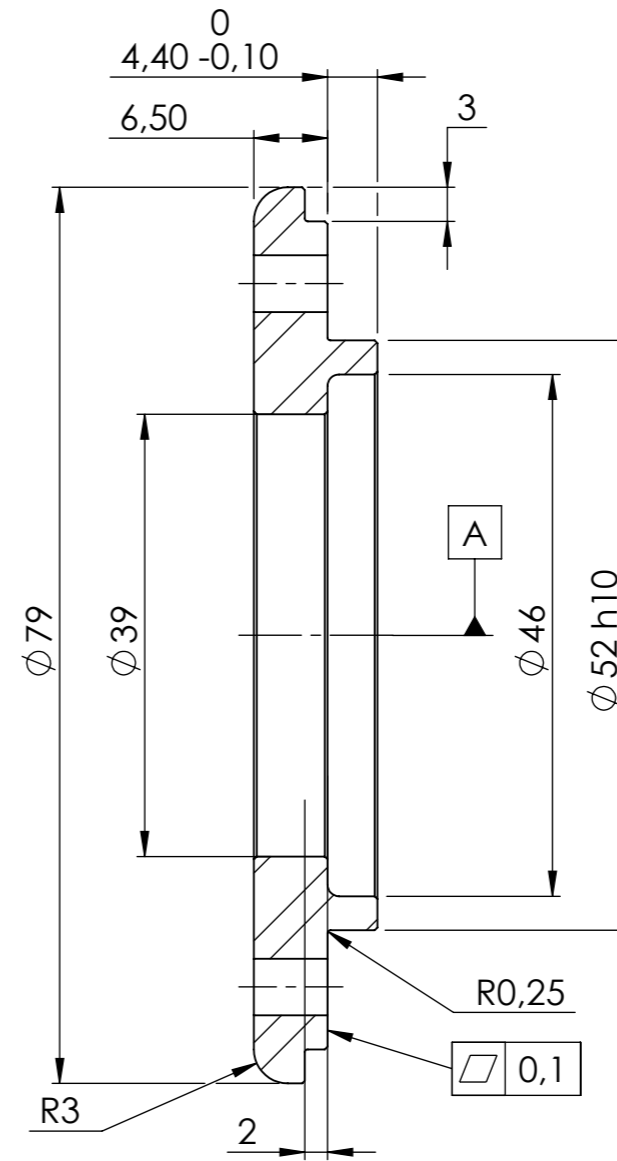
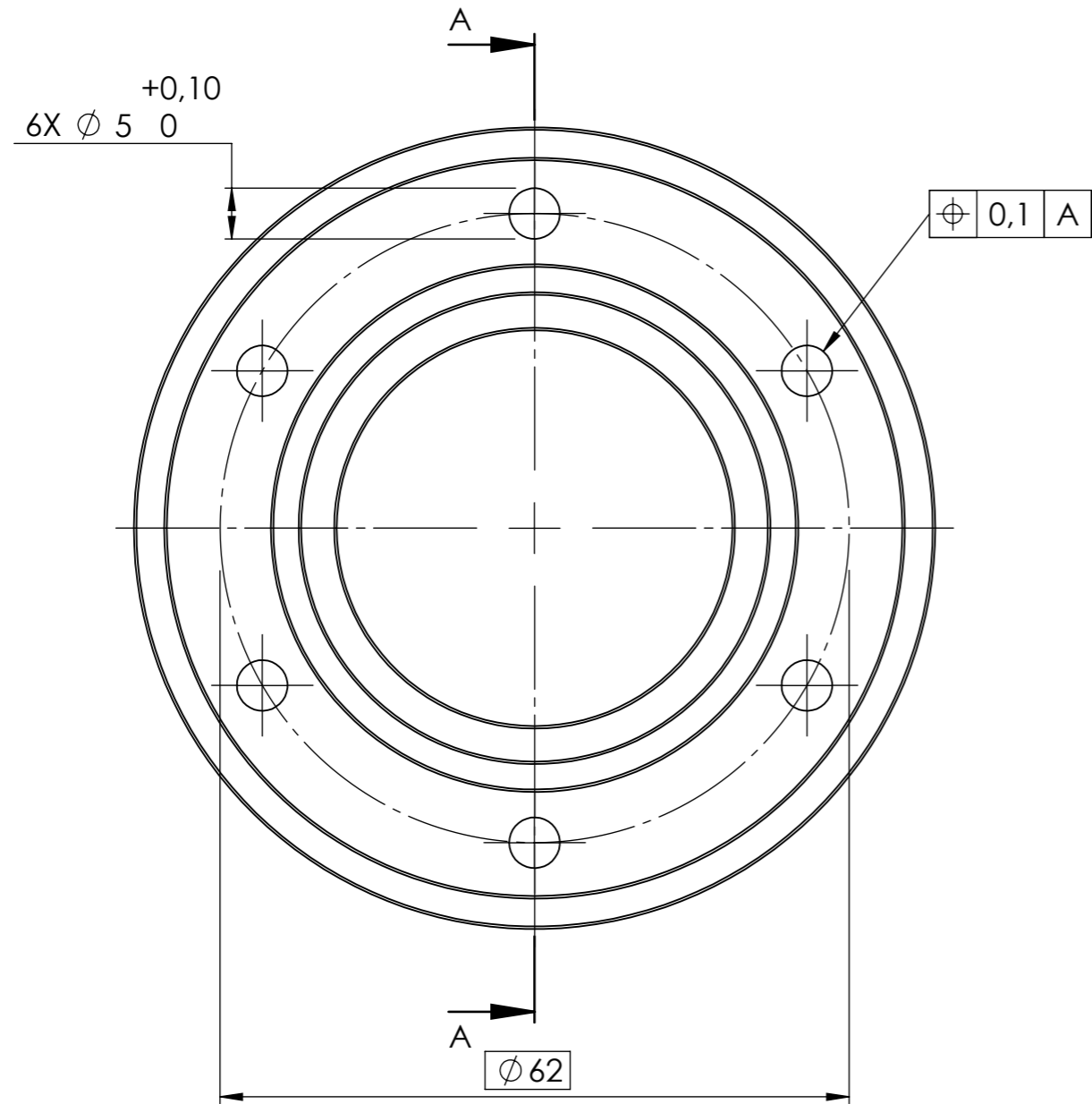
$\phi 0,1$  A



SECTION A-A  
SCALE 1.5 : 1




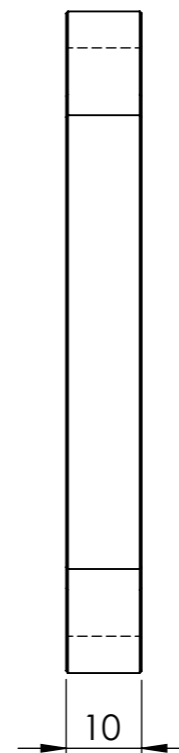
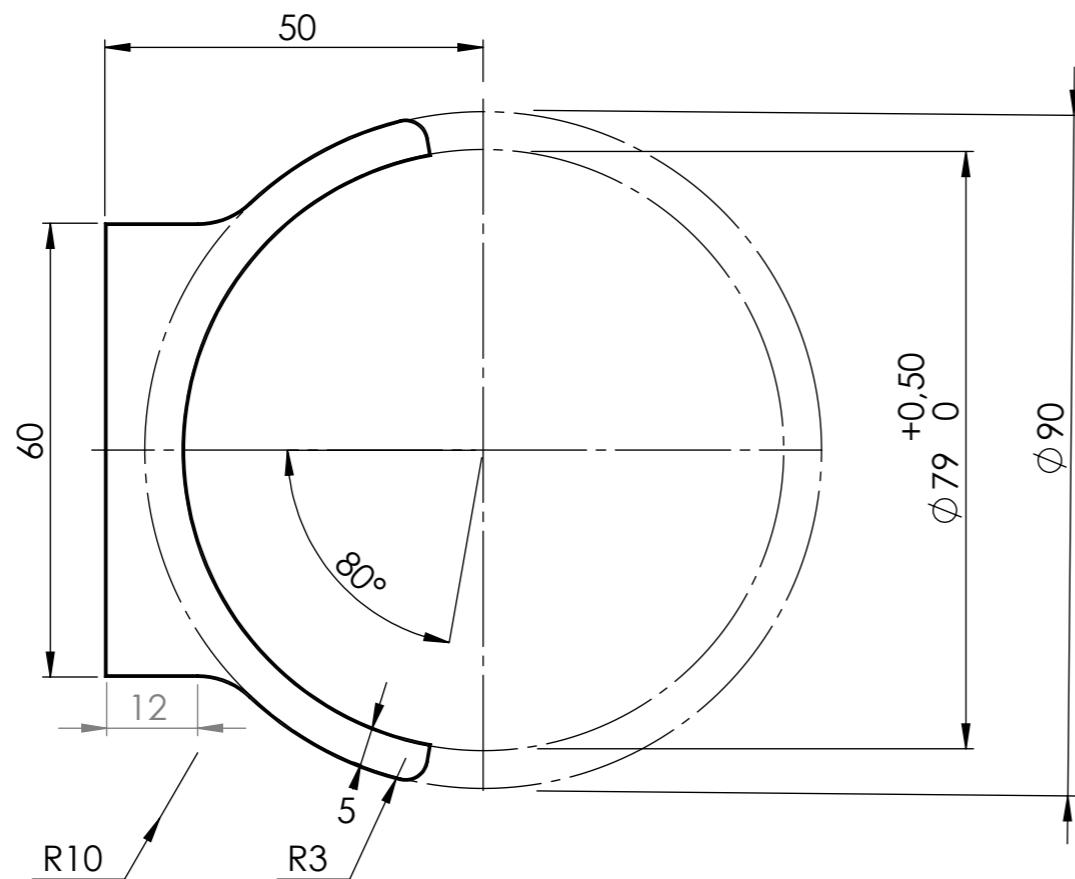
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,25mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.7
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE: <b>YAW</b>	
APPV'D				DWG NO. Lagerholder yaw senteraksel	
MFG			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	A3	
Q.A			WEIGHT: 565,21	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1
Projection: First Angle					



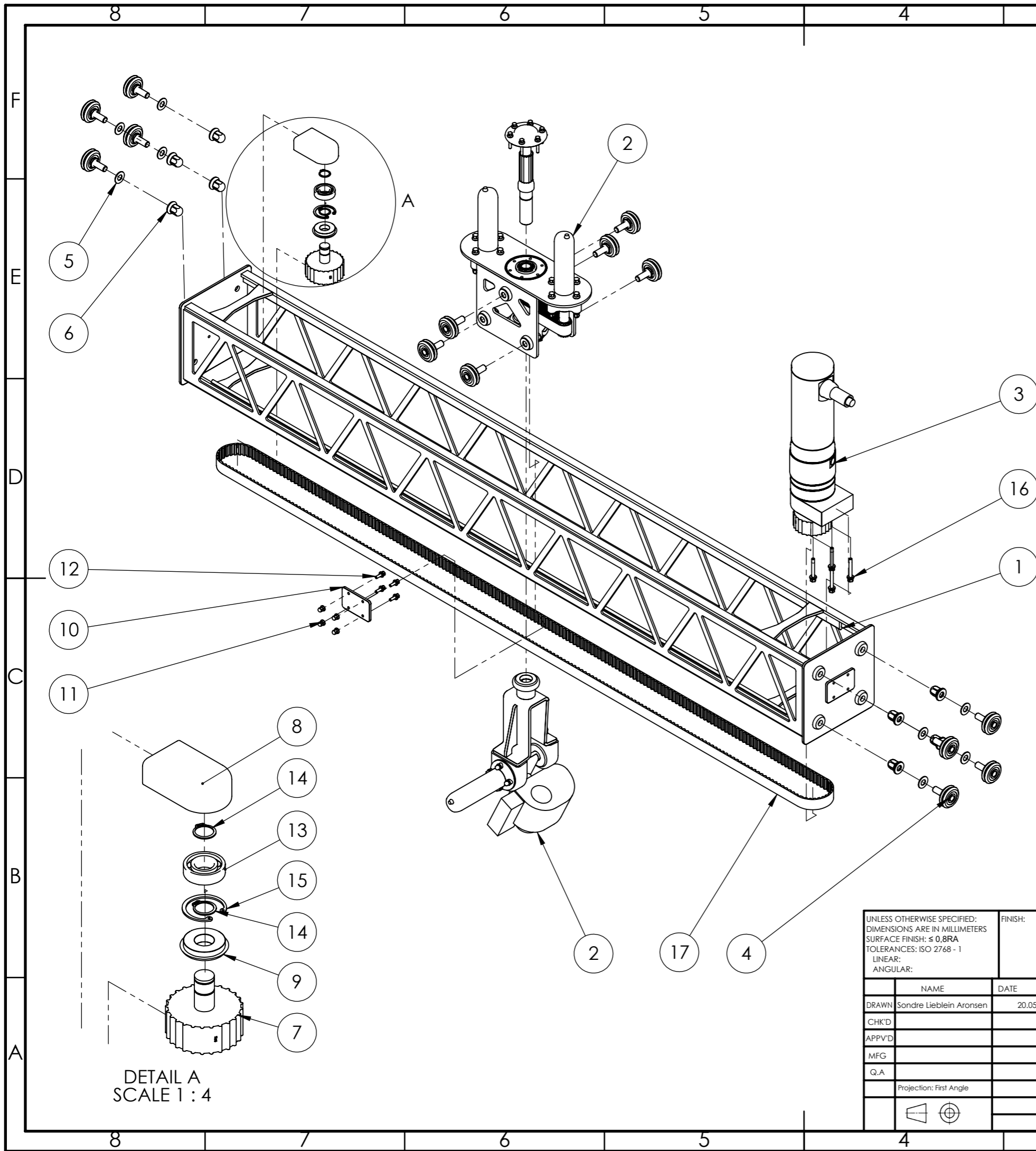
SECTION A-A  
SCALE 1.5 : 1



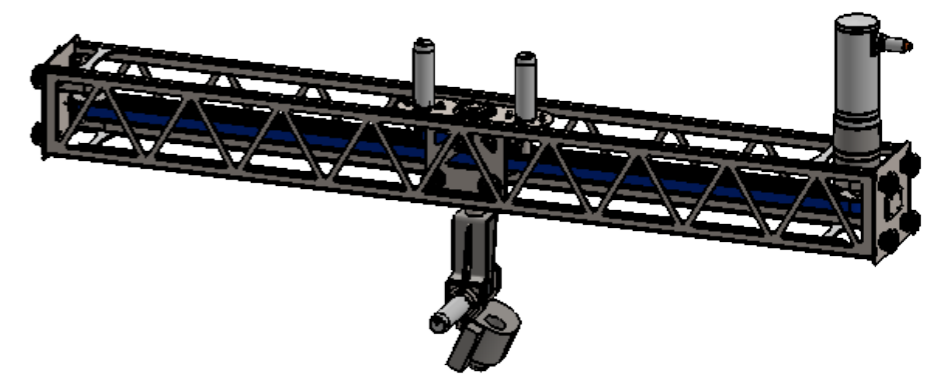
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,25mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.8
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: YAW	
APPVD					
MFG					
Q.A			MATERIAL: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	DWG NO. Lagerlaaser yaw	A3
Projection: First Angle			WEIGHT: 187,70	SCALE: 1.5:1	SHEET 1 OF 1



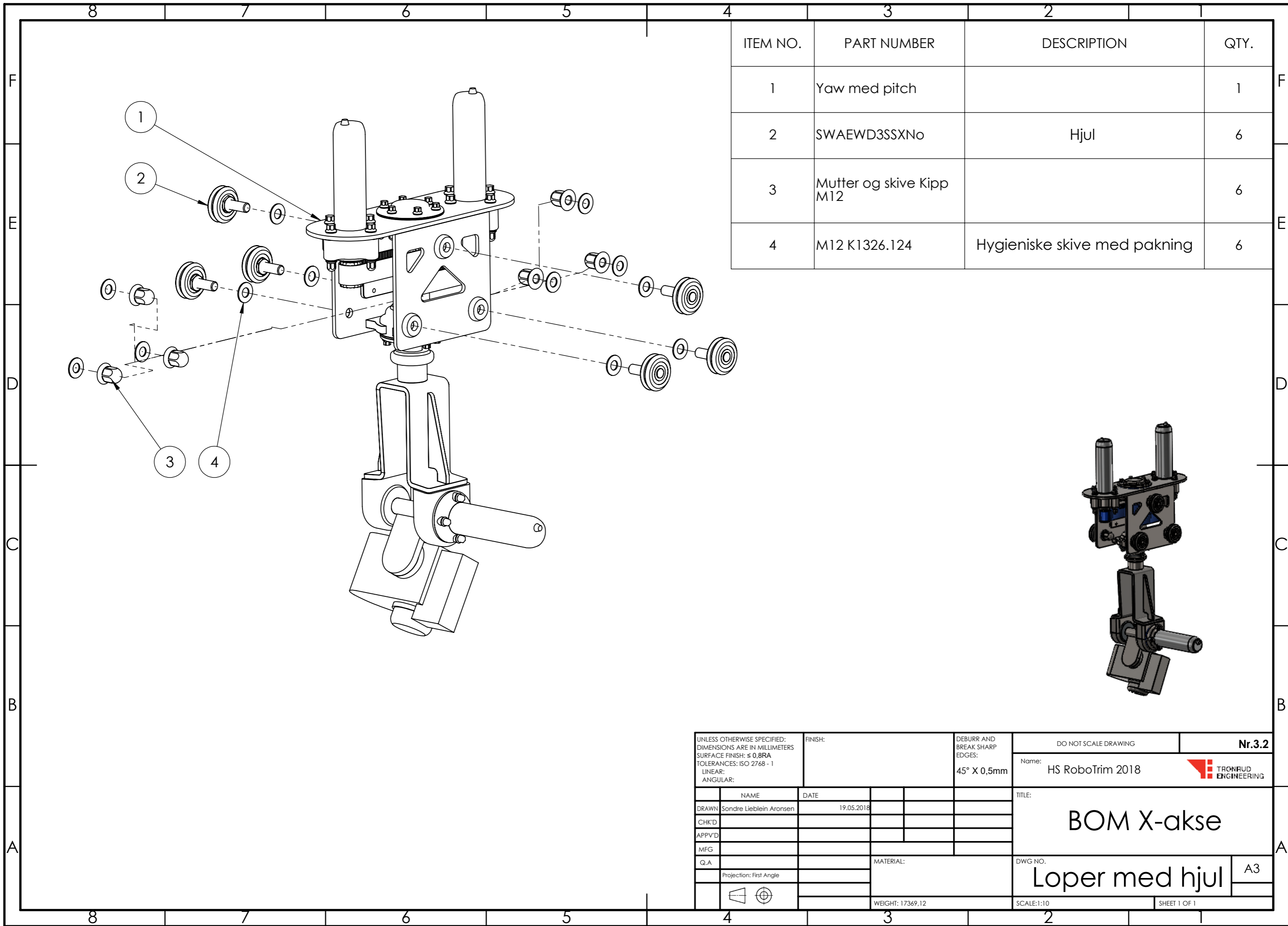
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,25mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.2.9
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 03.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE: YAW	
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL: AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	DWG NO. Holder z	A3
Projection: First Angle			WEIGHT: 93,06	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Skinner X		1
2	Loper med hjul		1
3	Motor med gir x-akse Kollm. Micron	Egen explode	1
4	SWAEWD3SSXNo	Hjul	8
5	M12 K1326.124	Hygieniske skive med pakning	8
6	Mutter og skive Kipp M12		8
7	Aksel og drev		1
8	Lagerholder aksel til reim x		1
9	20mm senter 42mm bor	Simmering	1
10	Belteklemme	Tilhørende Y-aksen	1
11	Mutter og skive Kipp M5		4
12	Bolt 15mm og skive Kipp M5		4
13	6004	Lager	1
14	STWS20 Mitsumi	Retaining ring	2
15	RTWS_No.42_retaining_ring		1
16	Bolt 45mm og skive Kipp M6		4
17	Reim x-akse Brecoflex Brecoprotect AT10 25mm		1

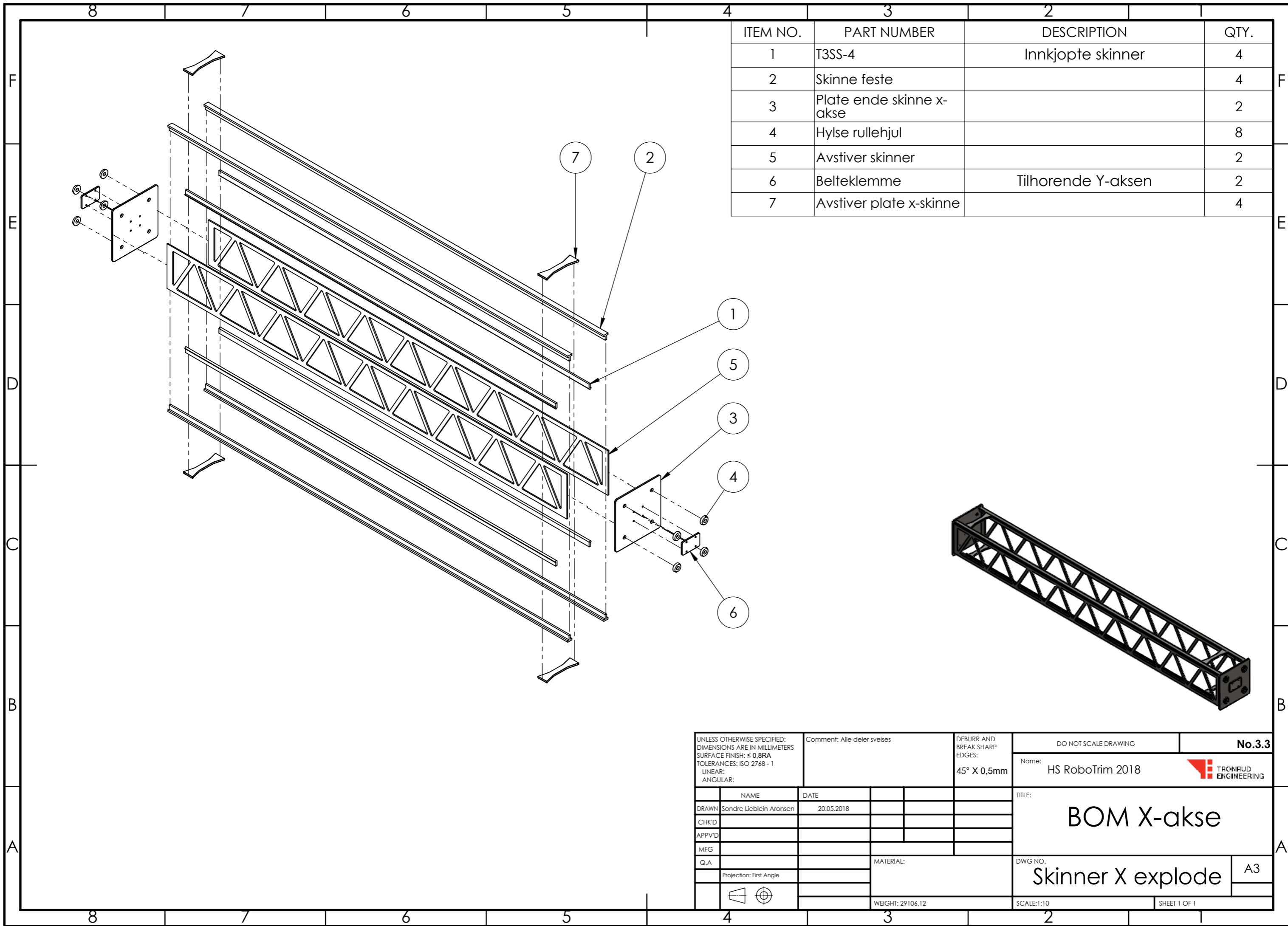


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.3.1
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 20.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE: <b>BOM X-akse</b>	
APPV'D				DWG NO. <b>X-akse</b>	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SHEET 1 OF 1	
Projection: First Angle			WEIGHT: 62527,30	SCALE: 1:8	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Yaw med pitch		1
2	SWAEWD3SSXNo	Hjul	6
3	Mutter og skive Kipp M12		6
4	M12 K1326.124	Hygieniske skive med pakning	6

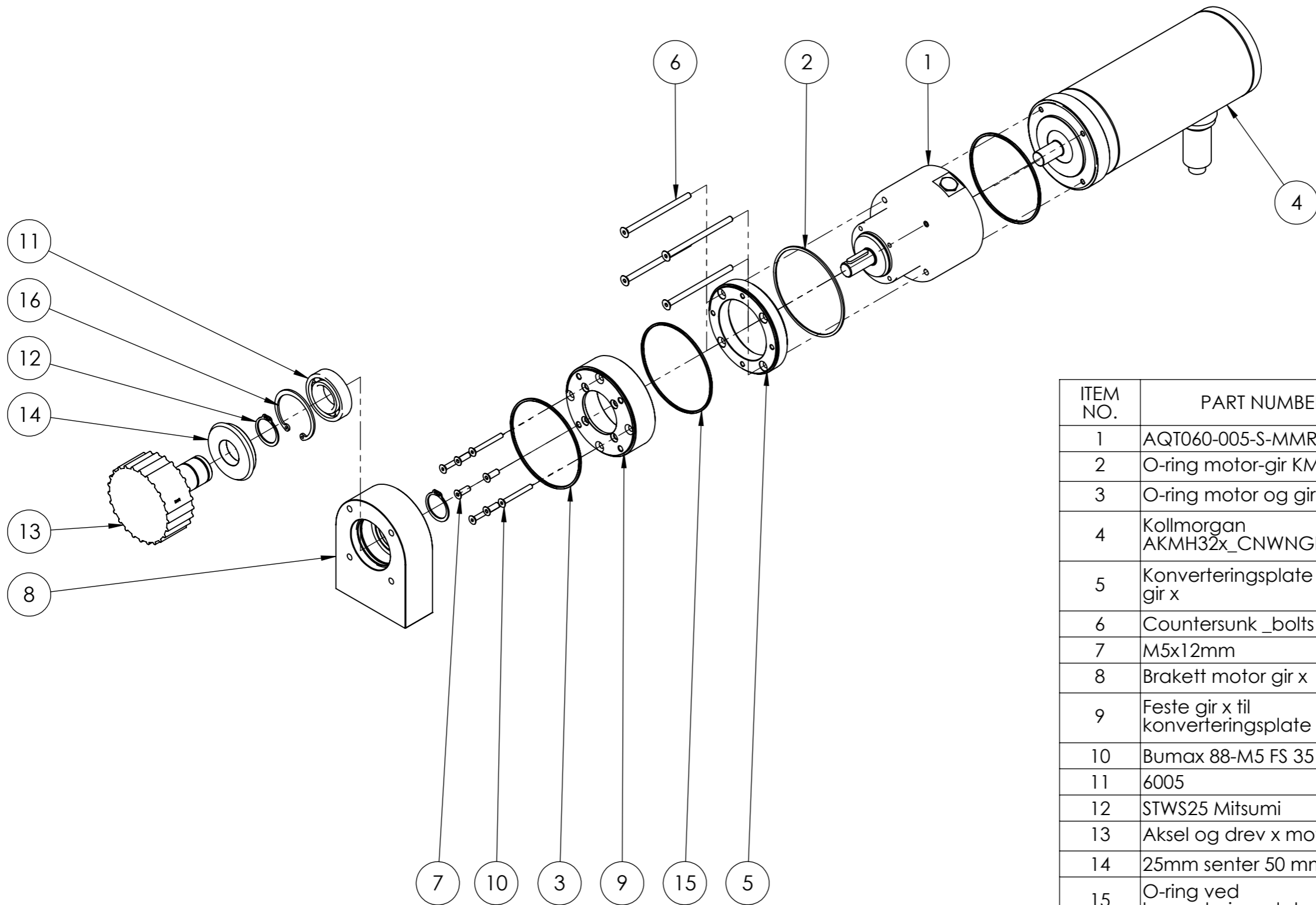
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	Nr.3.2
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 19.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	TRONFUD ENGINEERING
CHK'D				TITLE: <b>BOM X-akse</b>	
APPV'D				DWG NO. <b>Loper med hjul</b>	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SHEET 1 OF 1	
Projection: First Angle			WEIGHT: 17369,12	SCALE:1:10	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	T3SS-4	Innkjøpte skinner	4
2	Skinne feste		4
3	Plate ende skinne x-akse		2
4	Hylse rullehjul		8
5	Avstiver skinner		2
6	Belteklekke	Tilhørende Y-aksen	2
7	Avstiver plate x-skinne		4

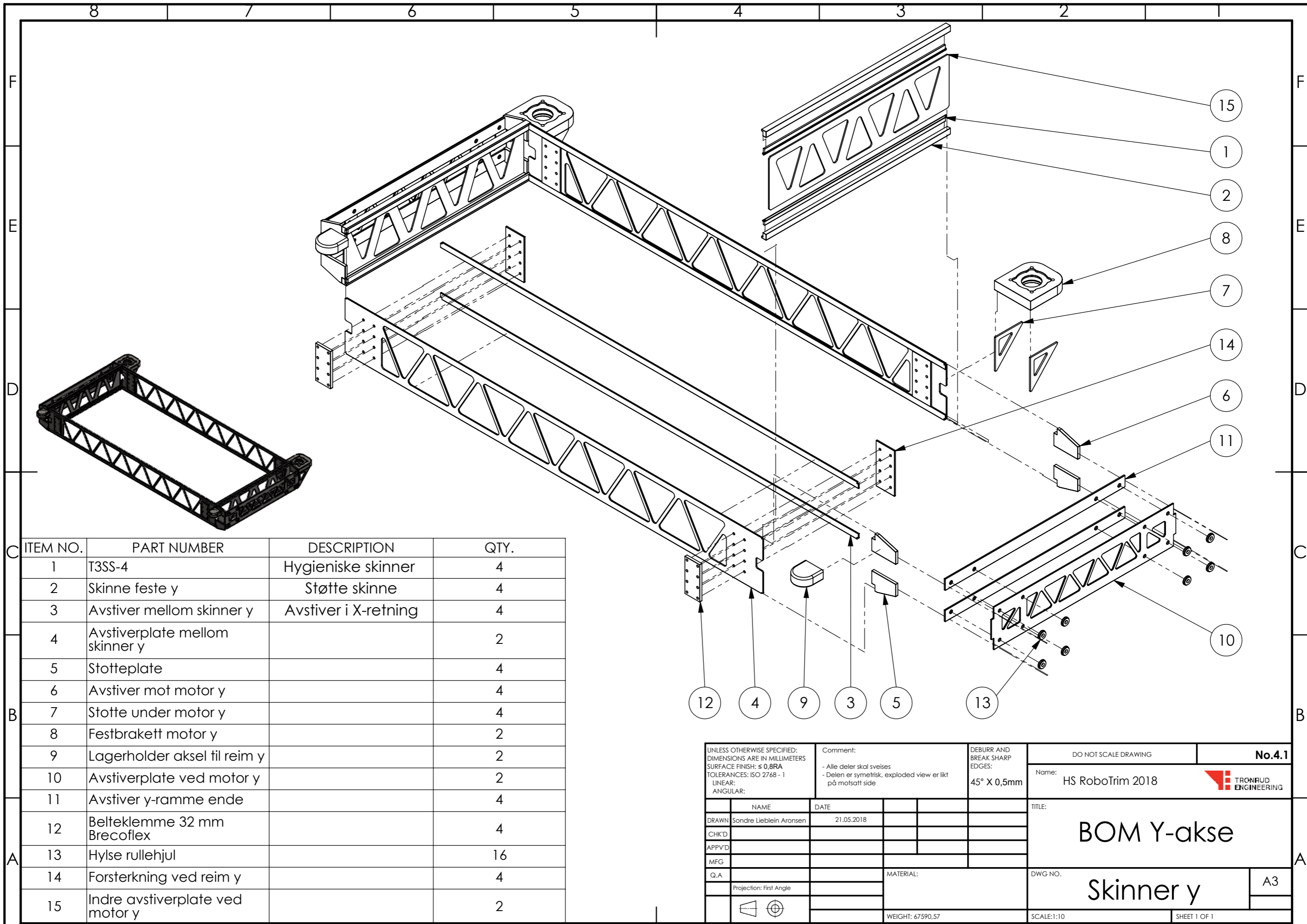
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		Comment: Alle deler sveises	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.3.3</b>
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 20.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>BOM X-akse</b>	
APPV'D				DWG NO. <b>Skinner X explode</b>	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SHEET 1 OF 1	
Projection: First Angle			WEIGHT: 29106,12	SCALE: 1:10	





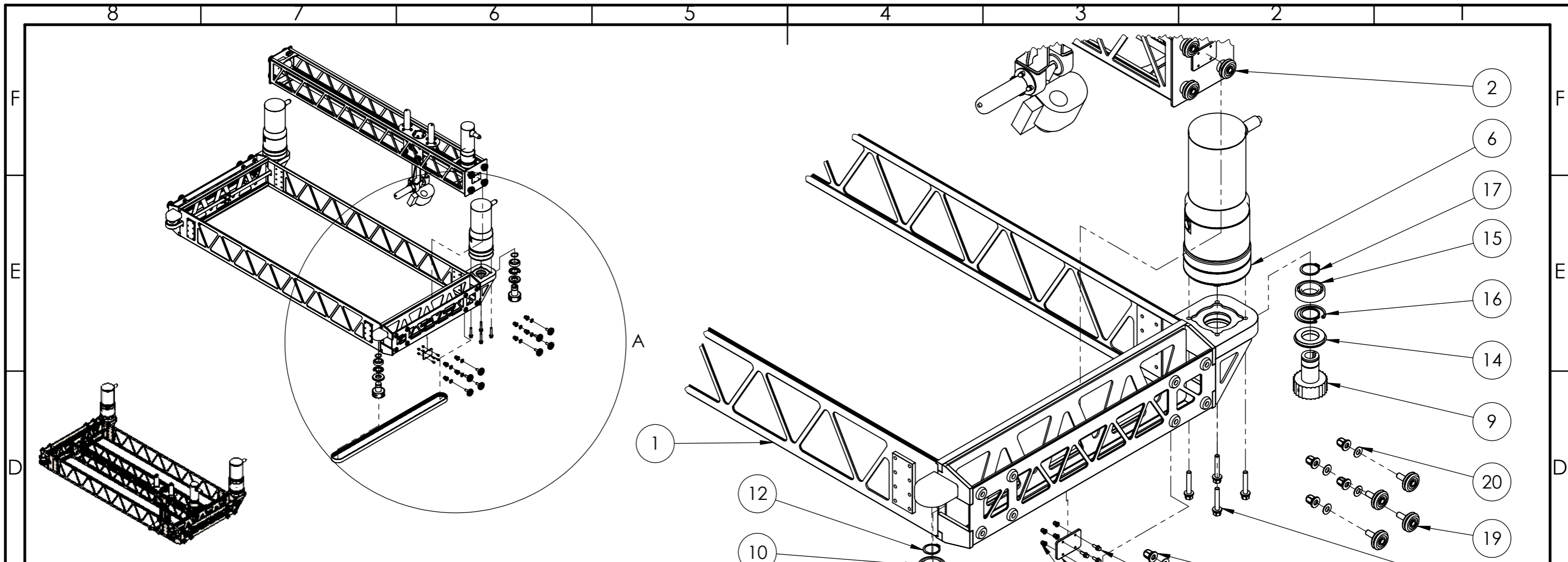
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	AQT060-005-S-MMR-725		1
2	O-ring motor-gir KM3		1
3	O-ring motor og gir X		2
4	Kollmorgan AKMH32x_CNWNGFxK		1
5	Konverteringsplate motor gir x		1
6	Countersunk _bolts		4
7	M5x12mm		4
8	Brakett motor gir x		1
9	Feste gir x til konverteringsplate		1
10	Bumax 88-M5 FS 35 mm		4
11	6005		1
12	STWS25 Mitsumi		2
13	Aksel og drev x motor		1
14	25mm senter 50 mm bor		1
15	O-ring ved konverteringsplate		1
16	RTWS_47		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.3.4</b>
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 20.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>BOM X-akse</b>	
APPV'D				DWG NO. Motor med gir x-akse Kollm. Micron	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SHEET 1 OF 1	
Projection: First Angle			WEIGHT: 1.2053,08	SCALE: 1:10	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	T3SS-4	Hygieniske skinner	4
2	Skinne feste y	Støtte skinne	4
3	Avstiver mellom skinner y	Avstiver i X-retning	4
4	Avstiverplate mellom skinner y		2
5	Stotteplate		4
6	Avstiver mot motor y		4
7	Stotte under motor y		4
8	Festbrakett motor y		2
9	Lagerholder aksel til reim y		2
10	Avstiverplate ved motor y		2
11	Avstiver y-ramme ende		4
12	Belteklemme 32 mm Brecoflex		4
13	Hylse rullehjul		16
14	Forsterkning ved reim y		4
15	Indre avstiverplate ved motor y		2

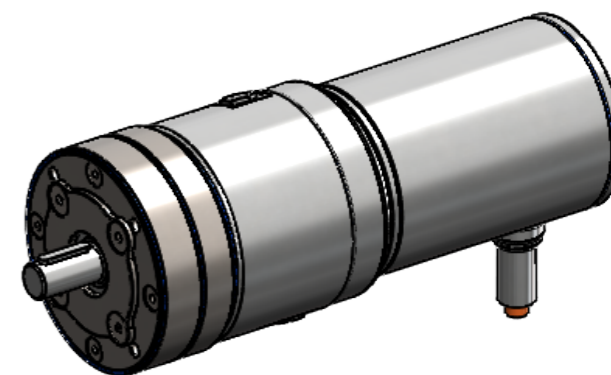
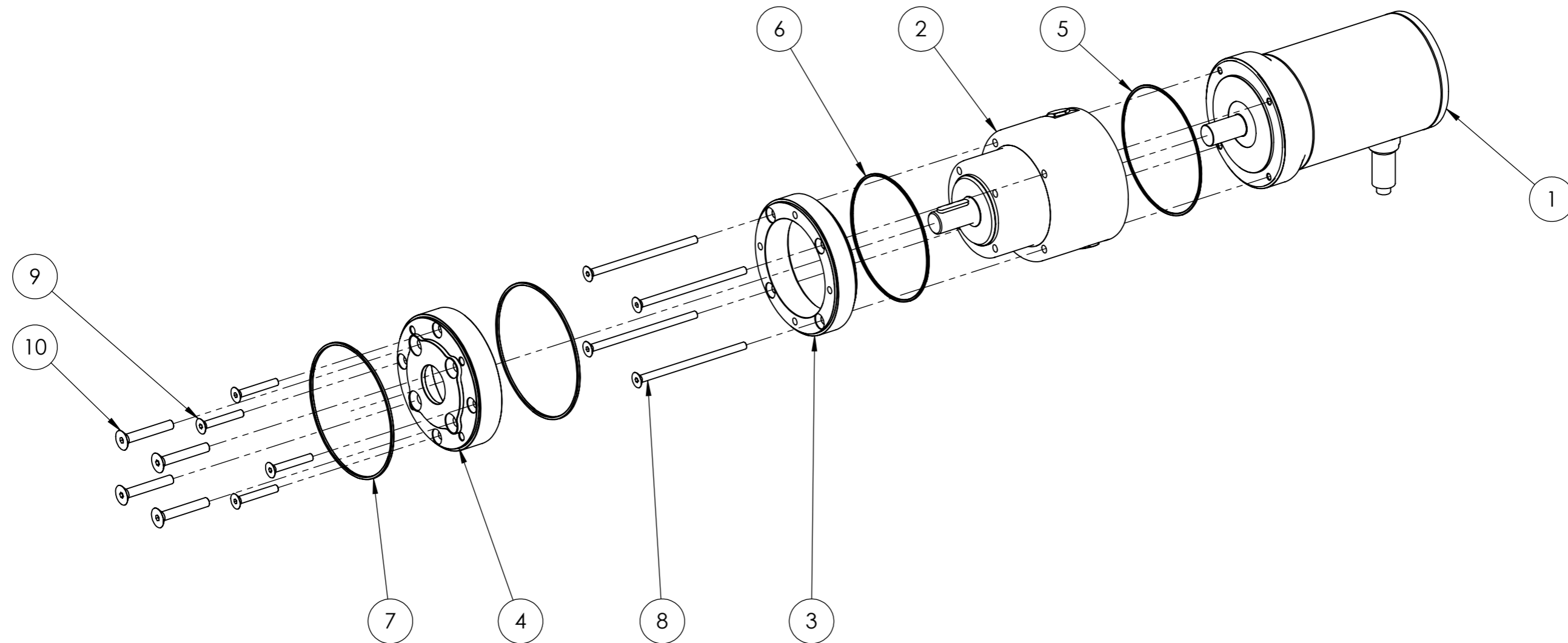
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		Comment: - Alle deler skal sveises - Delen er symmetrisk, exploded view er likt på motsatt side	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	No.4.1
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018	Name: HS RoboTrim 2018		
CHK'D			TITLE: BOM Y-akse		
APPVD			MATERIAL:		DWG NO. Skinner y A3
MFG			WEIGHT: 67590,57		
Q.A			SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1
Projection: First Angle					



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Skinner y		1
2	X-akse		1
3	Belteklemme	Tilhørende Y-aksen	2
4	Mutter og skive Kipp M5		8
5	Bolt 15mm og skive Kipp M5		8
6	Motor og gir y-akse		2
7	Reim y		2
8	Aksel og drev Y		2
9	Aksel og drev y motor		2
10	6007	Lager NSK	2
11	RTWS62	Internal låsering Misumi	2
12	STWS35	External låsering Misumi	4
13	35mm senter 68mm bor	Simmering	2
14	40mm senter 68mm bor	Simmering	2
15	6008	Lager NSK	2
16	RTWS68	Internal låsering Misumi	2
17	STWS40	External låsering Misumi	4
18	Bolt 60mm og skive Kipp M10		8
19	SWAEWD3SSXNo	Hjul	16
20	M12 K1326.124	Hygieniske skive med pakning	16
21	Mutter og skive Kipp M12		16

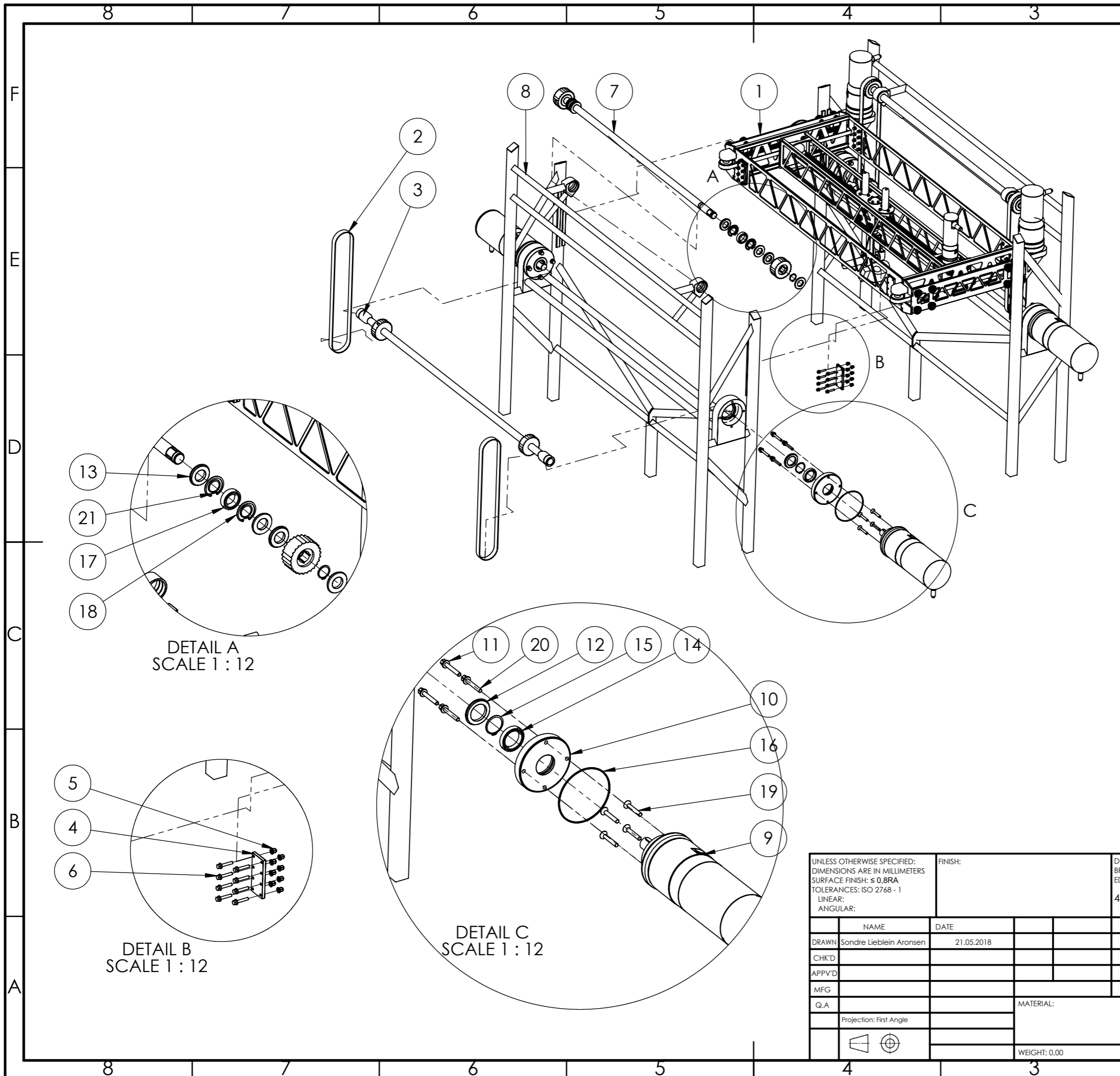
DETAIL A  
SCALE 1 : 9

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		Comment: Exploden er lik på begge sider.	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING <b>No.4.2</b>
Name: HS RoboTrim 2018			TITRUMUD ENGINEERING	
TITLE: <b>BOM Y-akse</b>				A3
DWG NO. <b>Y-akse explode</b>				
NAME	DATE	WEIGHT: 198029,47		
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen	20.05.2018	SCALE:1:25		
CHK'D		SHEET 1 OF 1		
APPV'D				
MFG				
Q.A				
Projection: First Angle				



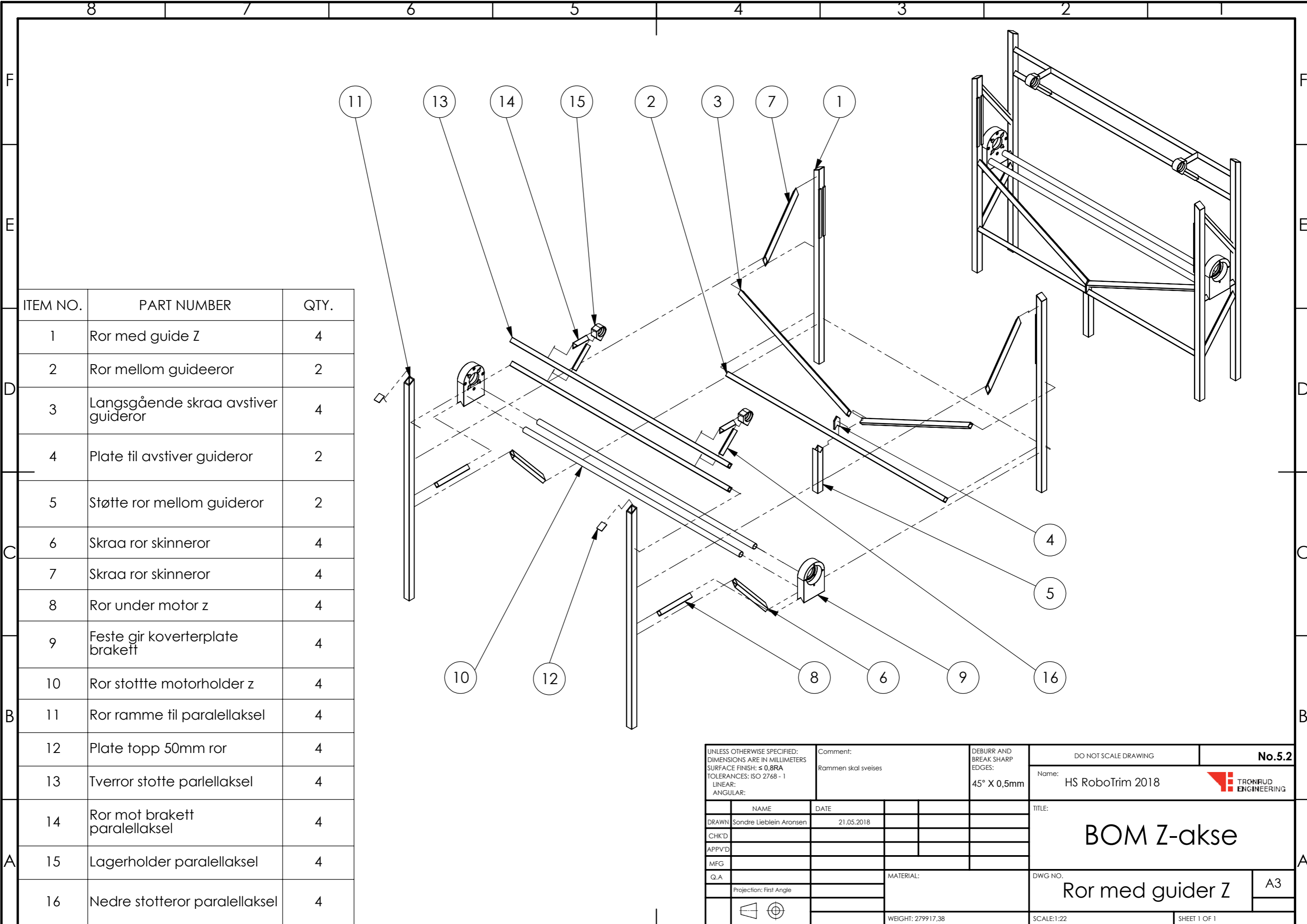
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	AKMH52x_CNWNGFxK	Motor	1
2	Danaher-AQT120-005-S-MMR-727_AQT120-010-S-MMR-727	Gir 5:1	1
3	Konverteringsplate motor gir y		1
4	Feste gir y til konverteringsplate		1
5	O-ring motor og gir Y		1
6	O-ring gir og konverteringsplate		1
7	O-ring konvereringsplate		2
8	M8x140mm		4
9	M8x50mm		4
10	M10x60mm		4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.4.3</b>
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 20.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
TITLE: <b>BOM Y-akse</b>					
MFG			DWG NO.		
Q.A			MATERIAL:		
Projection: First Angle			Motor og gir y-akse		
			A3		
WEIGHT: 28472,98			SCALE: 1:5		
			SHEET 1 OF 1		



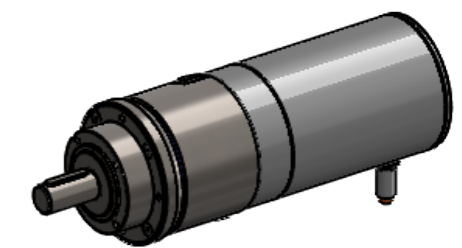
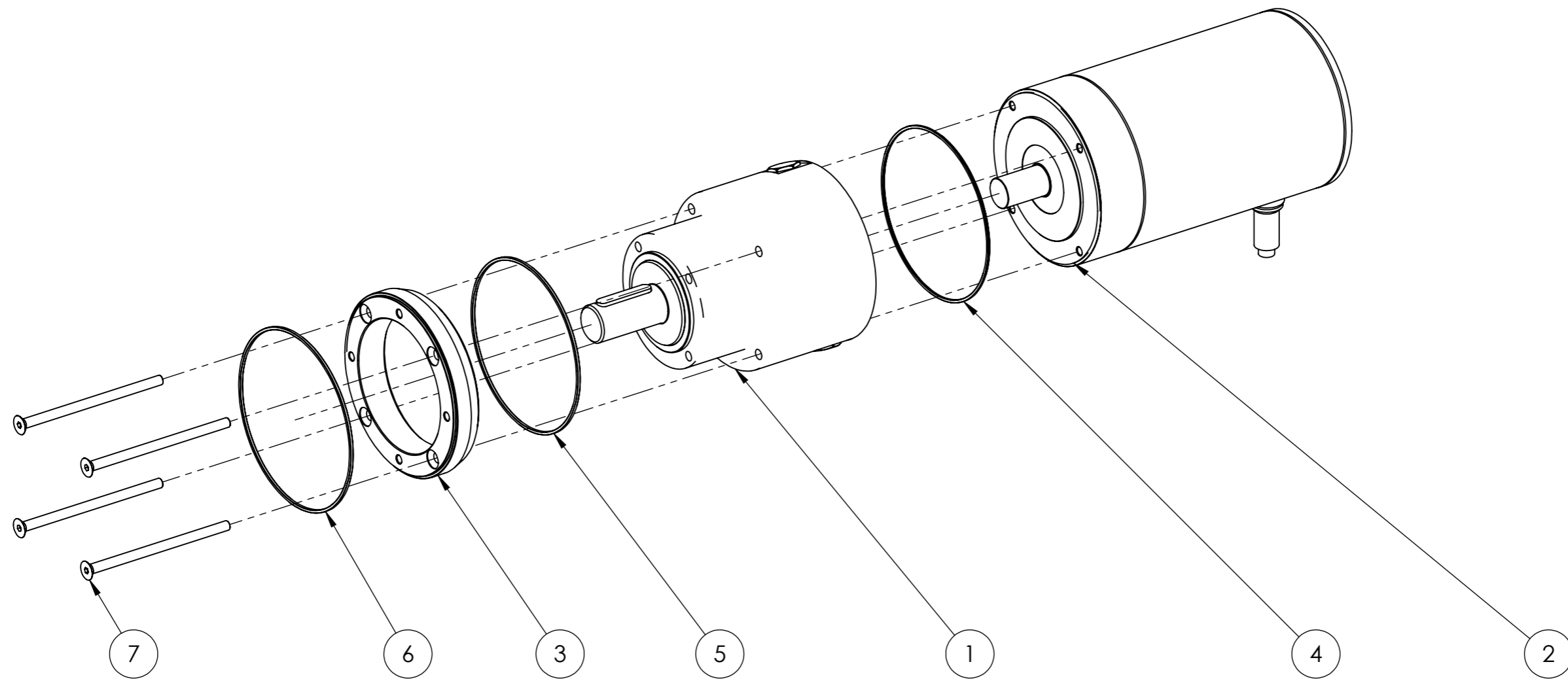
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Y-akse_v2		1
2	Brecoflex 32AT15Pro	Reim	4
3	Aksel med drev Z		2
4	Belteklemme 32 mm Brecoflex		4
5	Mutter og skive Kipp M8		32
6	Bolt 45mm og skive Kipp M8		32
7	Parallellakse med drev Z		2
8	Ror med guider Z	Ramme	2
9	Motor og gir z-akse		4
10	Akselholder ved motor z		4
11	M12 K1326.124	Hygieniske skive med pakning	16
12	60mm senter 85mm bor	Simmering	4
13	40mm senter 68mm bor	Simmering	16
14	6912	Lager NSK	4
15	STWS60	External låsering Misumi	4
16	O-ring mellom brakett og konverteringsplate		4
17	6008	Lager NSK	4
18	RTWS68	Internal låsering Misumi	8
19	M12x70mm		16
20	K1327_12X80	Bolt	15
21	STWS40	External låsering Misumi	16

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	No.5.1
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: BOM Z-akse	
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	DWG NO. Z-akse	A3
Projection: First Angle					
			WEIGHT: 0.00	SCALE: 1:22	SHEET 1 OF 1



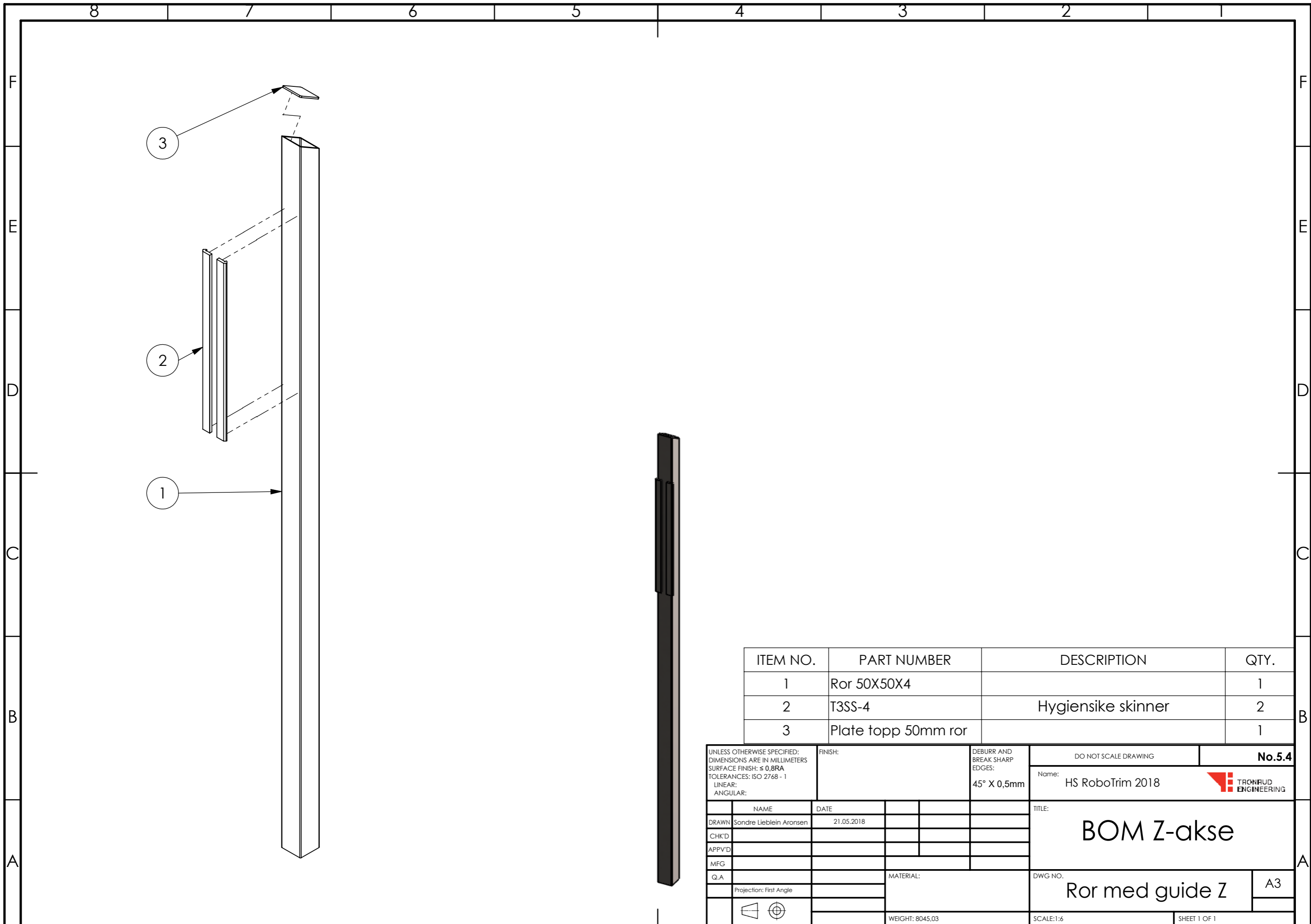
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Ror med guide Z	4
2	Ror mellom guideeror	2
3	Langsgående skraa avstiver guideror	4
4	Plate til avstiver guideror	2
5	Støtte ror mellom guideror	2
6	Skraa ror skinneror	4
7	Skraa ror skinneror	4
8	Ror under motor z	4
9	Feste gir koverterplate brakett	4
10	Ror stotte motorholder z	4
11	Ror ramme til paralellaksel	4
12	Plate topp 50mm ror	4
13	Tverror stotte paralellaksel	4
14	Ror mot brakett paralellaksel	4
15	Lagerholder paralellaksel	4
16	Nedre stotteror paralellaksel	4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		Comment: Rammen skal sveises	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.5.2</b>
			Name: HS RoboTrim 2018		
			TITLE: <b>BOM Z-akse</b>		
NAME	DATE			DWG NO.	
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen	21.05.2018			Ror med guider Z	
CHK'D				A3	
APPVD				SCALE:1:22	
MFG				SHEET 1 OF 1	
Q.A			MATERIAL:	WEIGHT: 279917,38	
Projection: First Angle					



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Danaher-AQT160-005-S-MMR-728_AQT160-010-S-MMR-728	Gir 5:1	1
2	AKMH64x_CNW2GFxK	Motor	1
3	Konverteingsplate motor z-akse		1
4	O-ring motor gir z		1
5	O-ring ende gir z		1
6	O-ring mellom brakett og konverteringsplate		1
7	M10x170mm		4

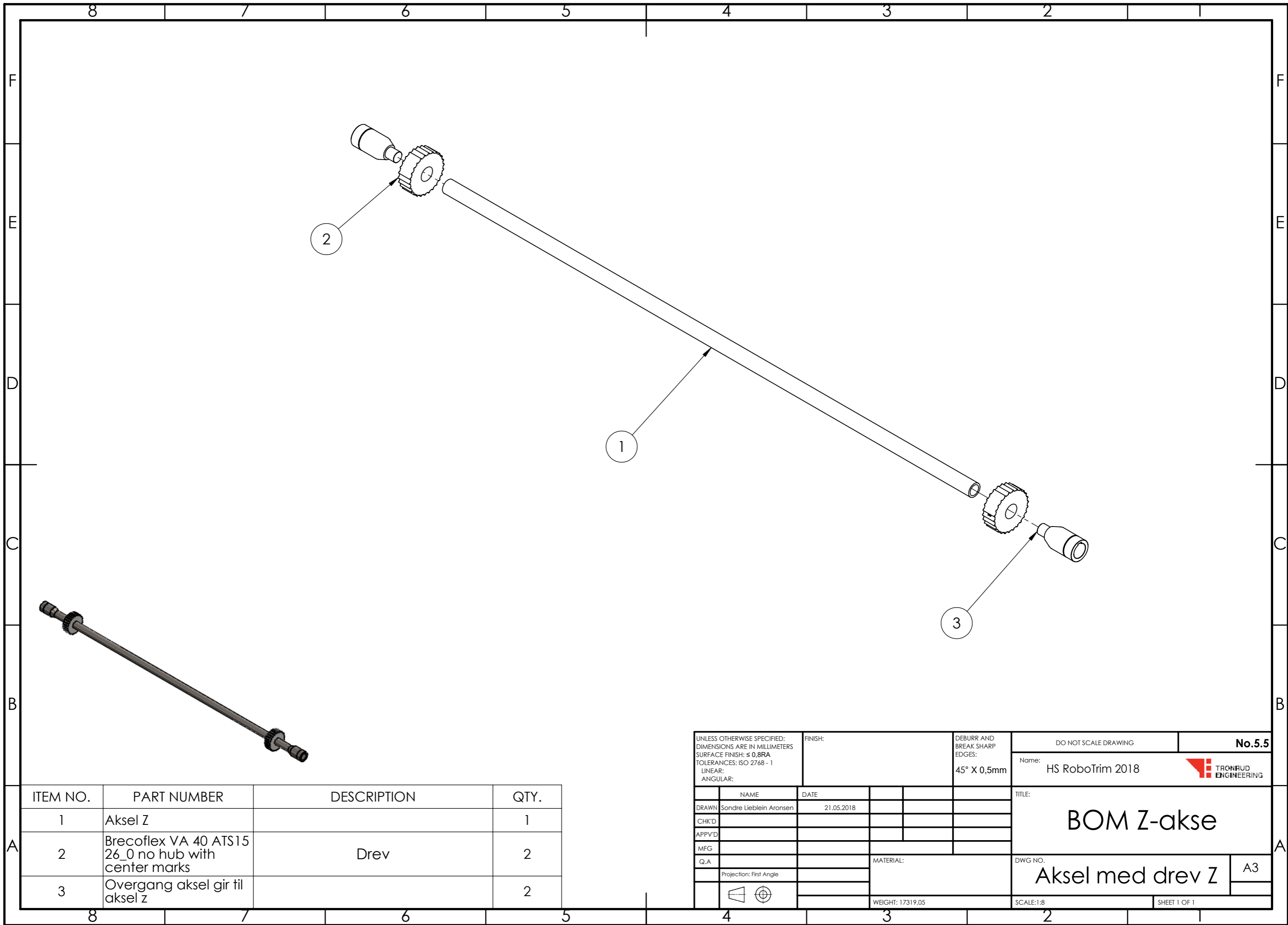
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.5.3</b>
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
TITLE: <b>BOM Z-akse</b>					
MFG			DWG NO. Motor og gir z-akse		
Q.A			A3		
Projection: First Angle			SCALE: 1:5		
WEIGHT: 1,03387,60			SHEET 1 OF 1		



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Ror 50X50X4		1
2	T3SS-4	Hygienske skinner	2
3	Plate topp 50mm ror		1

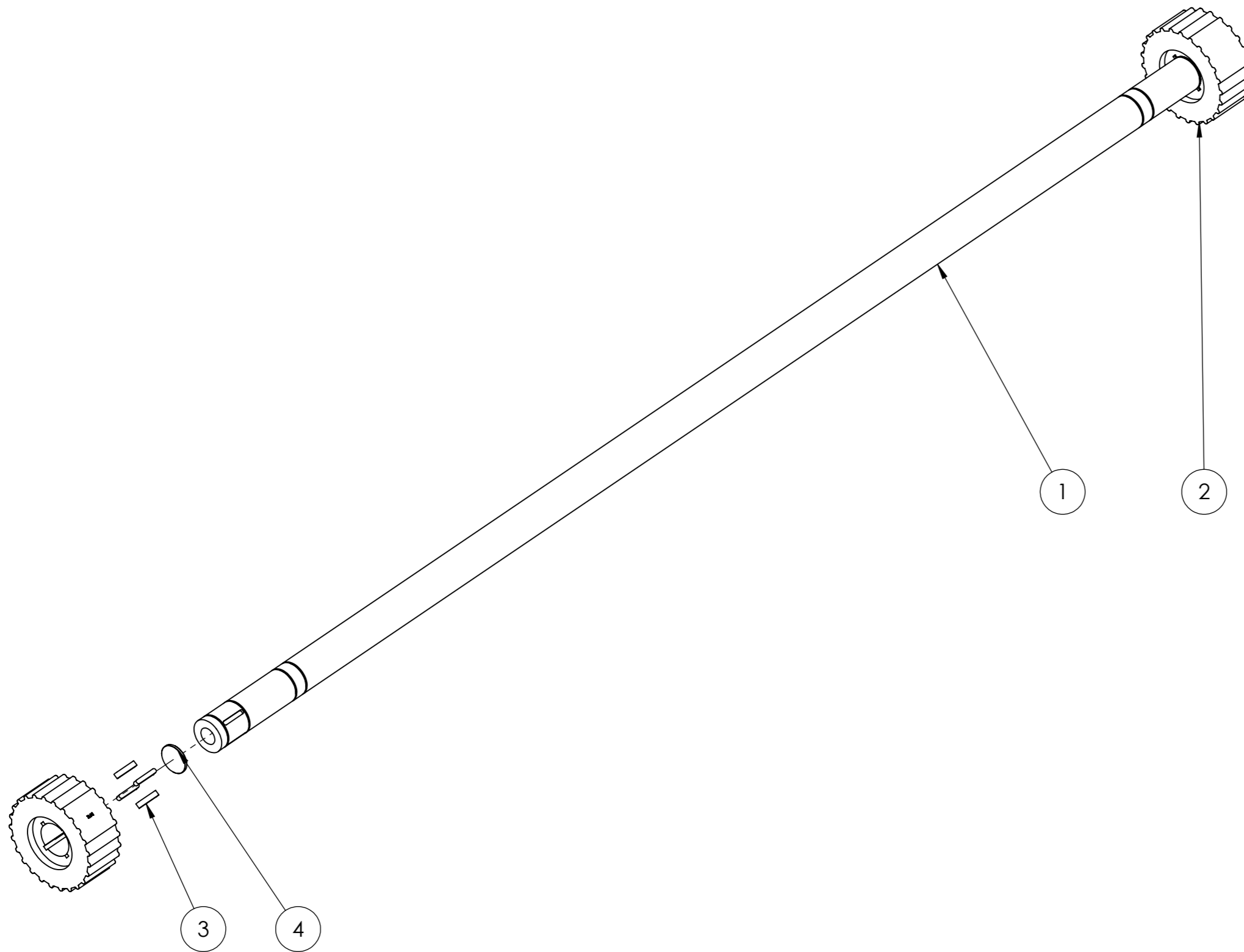
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.5.4</b>
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>BOM Z-akse</b>	
APPV'D					
MFG					
Q.A					
Projection: First Angle			MATERIAL:	DWG NO.	A3
			WEIGHT: 8045,03	SCALE: 1:6	SHEET 1 OF 1





ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Aksel Z		1
2	Brecoflex VA 40 ATS15 26_0 no hub with center marks	Drev	2
3	Overgang aksel gir til aksel z		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	<b>No.5.5</b>
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>BOM Z-akse</b>	
APPVD				DWG NO. Aksel med drev Z	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SCALE:1:8	
Projection: First Angle				SHEET 1 OF 1	
		WEIGHT: 17319,05			



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Aksel Z		1
2	Brecoflex VA 50 ATS15-0 25-0no hub bore 40 mm H7	Drev	2
3	Kile paralellsaksel		8
4	Lokk paralellaksel		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: $\leq 0,8RA$ TOLERANCES: ISO 2768 - 1 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: 45° X 0,5mm	DO NOT SCALE DRAWING	No.5.6
DRAWN Sondre Lieblein Aronsen		DATE 21.05.2018		Name: HS RoboTrim 2018	
CHK'D				TITLE: <b>BOM Z-akse</b>	
APPVD				DWG NO. Paralellaksel med drev Z	
MFG				A3	
Q.A			MATERIAL:	SHEET 1 OF 1	
Projection: First Angle				SCALE:1:5	
			WEIGHT: 18914,88		



## Ve-Tek.6 Fysiske krav og motordimensjonering

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$t$	Tid	s
$t_{skj}$	Skjæretid	s
$x$	Knivposisjon	m
$x_f$	Flekkposisjon	m
$v$	Hastighet	m/s
$v_f$	Hastigheten til fisken/melaninflekk langs rullebåndet	m/s
$a$	Akselerasjon	$m/s^2$
$a_r$	Retardasjon	$m/s^2$
$\tau$	Dreiemoment	Nm
$\tau_{effective}$	Effektivt dreiemoment	Nm
$\tau_{peak}$	Maksimalt dreiemoment	Nm
$\omega_{mean}$	Gjennomsnittlig rotasjonshastighet	rpm eller rad/s avhengig av sammenheng
$\omega_{peak}$	Maksimal rotasjonshastighet	rpm eller rad/s avhengig av sammenheng
$\alpha$	Rotasjonsakselerasjon	$rad/s^2$
$I$	Treghetsmoment	$kgm^2$
$M$	Masse	kg
$m$	Masse	kg
$n$	Girforhold	N/A
$a$	Lengde	m
$b$	Bredde	m
$d$	Avstand til parallellakse	m
$r$	Radius	m
$\beta$	Vinkel	°

**Ve-Tek-Tab.7:** Variabler og symboler brukt i vedlegg om fysiske krav og motordimensjonering

Denne seksjonen omhandler fysiske krav og dimensjonering av elektriske motorer for systemet. I denne seksjonen vil det blant annet utføres tidsberegninger (for å bestemme prosesseringstiden systemet har på å utføre ønsket prosessering), mekaniske beregninger for de forskjellige aksene og undersøkelse av hvilke krefter som virker på systemet (som et resultat av motorbevegelse). I tillegg til dette vil det bli beskrevet hvordan Matlab og programvaren Siemens Sizer har blitt brukt for å finne parametre å dimensjonere motorer etter. Motordimensjoneringen er valgt å gjennomføres grundig. Årsaken til dette er at systemet skal operere med veldig høye akselerasjoner og i tillegg være hygienisk. Dette medfører at motorvalget har mye å si for om systemet vil kunne fungere i praksis. Det kan tenkes at motorvalget kun er et spørsmål om overdimensjonering, men det skal senere vises at akselerasjonene og kreftene er i grenseland for hva som er mulig med motorene på dagens marked. Dette medfører at motordimensjoneringen ikke kunne utføres ukritisk.

### **Ve-Tek.6.1 Matlab-simulering**

#### **Ve-Tek.6.1.1 Fysiske og matematiske beregninger**

Siden fiskefiletene beveger seg langs x-aksen med 1m/s og det kun kan benyttes ett sekund på å prosessere en filet ble denne aksen sett på som den begrensende faktoren for systemet. Systemets x-akse må kunne bevege seg rask nok frem og tilbake i arbeidsområdet på én meter slik at tre melaninflekker kan skjæres bort innen dette sekundet.

Det ble derfor gjennomført en utregning på et fysisk tilfelle der det ble sett på hvor langs x-aksen kniven og melaninflekken møtes for skjæring. I de neste avsnittene vil dette tilfellet og antagelsene bli beskrevet før selve utregningen presenteres. Alle posisjoner regnes ut i fra at origo for x-aksen er ved starten av arbeidsområdet, positiv retning for bevegelse peker innover arbeidsområdet. Hastigheter og akselerasjoner har også positiv retning langs denne x-aksen.

Knivbevegelsen for å skjære én melaninflekk deles inn i tre faser. Første fase er akselerasjonsfasen. Kniven vil først måtte akselerere mot melaninflekken. Ved et ukjent tidspunkt må akselerasjonen snu, slik at kniven bremser før den når flekken. Dette er andre fase av bevegelsen. Akselerasjonen og retardasjonen (bremseakselerasjon)

nen) er antatt å ha like stor tallverdi. Under tredje fase skjer selve skjæringen. Det er gjort en antagelse om at skjæretiden må være på  $0,1s$ . For å bestemme lengden på kuttet vil da knivens hastighet relativt til fisken avgjøre dette. Som et eksempel har fisken hastighet på  $1m/s$  i positiv x-retning. Dersom det er ønsket et kutt på  $5cm$  og dette tar  $0,1s$  må knivens hastighet relativt til fisken være på  $0,5m/s$ . Da må kniven ha en hastighet på  $0,5m/s$  i x-retning. For et kortere kutt må kniven ha en høyere hastighet i samme retning som fiske, og motsatt for et lengre kutt.

Dersom kniven starter på en x-posisjon som er større enn melaninflekkens posisjon (nærmere arbeidsområdets endepunkt) vil bremsefasen måtte få kniven til å snu slik at den beveger seg samme retning som fiskefileten mens skjæringen pågår (for å oppnå kutt lengder på under  $10cm$ ). Hvis kniven starter nærmere x-aksens nullpunkt enn flekken (altså bak flekken) vil kniven først måtte akselerere etter flekken, og deretter kun bremse ned slik at den har ønsket hastighet til ønsket tidspunkt. Begge disse tilfellene vil også avhenge av starthastigheten til kniven.

Nedenfor skal situasjonen settes opp og regnes ut matematisk med fysiske likninger for bevegelsen. Parametrene som ble benyttet er:

- Tider

- $t$ : tidspunktet når kniv og melaninflekk møtes med ønsket relativ hastighet
- $t_1$ : tidspunktet når akselerasjonen til kniven snur
- $t_2$ : tiden mellom  $t_1$  og  $t$
- $t_{skj}$ : tiden det tar å skjære en melaninflekk

- Posisjoner

- $x$ : knivens posisjon etter skjæring
- $x_1$ : posisjonen der knivens akselerasjon snur
- $x_2$ : posisjonen der kniven og melaninflekk møtes med ønsket relativ hastighet
- $x_f$ : flekkens posisjon etter skjæring
- $x_k$ : startposisjon til kniven
- $x_{f,0}$ : startposisjon til melaninflekk

- Hastigheter
  - $v_1$ : hastigheten til kniven når dens akselerasjon snur
  - $v_{k,0}$ : starthastigheten til kniven
  - $v_f$ : hastigheten til fisken/melaninflekkene langs rullebåndet
  - $v_s$ : knivhastighet når kniven møter flekken
- Akselerasjoner
  - $a$ : akselerasjon i første ”fase” av knivbevegelsen
  - $a_r$ : akselerasjon i andre ”fase” av knivbevegelsen

Fiskefiletene beveger seg langs rullebåndet med en hastighet  $v_f$ . Det betyr at melaninflekkene som kniven skal skjære bort beveger seg med samme hastighet. Flekkene beveger seg kun langs x-aksen. Likningen for flekkens bevegelse blir derfor

$$x_2 = x_{f,0} + v_f t \quad (\text{Ve-Tek-Mat.25})$$

For å beskrive bevegelsen til kniven benyttes bevegelseslikningene med konstant akselerasjon fra klassisk mekanikk. De to likningene som benyttes er likningen for posisjon, gitt startposisjon- og hastighet samt tidspunkt og akselerasjon. Den andre er likningen for hastighet gitt starthastighet akselerasjon og tidspunkt. Hver av de to første fasene av bevegelsen beskrives med disse likningene. Tidspunktet deles inn i:

$$t = t_1 + t_2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.26})$$

Første fase av bevegelsen beskrives da med de to følgende likningene:

$$x_1 = x_k + v_{k,0}t_1 + \frac{1}{2}at_1^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.27})$$

$$v_1 = v_{k,0} + at_1 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.28})$$

Andre fase av bevegelsen beskrives med de to neste likningene:

$$x_2 = x_1 + v_1t_2 + \frac{1}{2}a_rt_2^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.29})$$

$$v_s = v_1 + a_rt_2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.30})$$

Det kan sees at startposisjonen og starthastigheten i andre tilfelle er sluttposisjonen og slutthastigheten i det første. Dette medfører at bevegelsens to faser kan beskrives separat, men i samme likningssett. I den tredje fasen har det blitt antatt at kniven ikke har noen akselerasjon langs x-aksen, men holder samme konstante hastighet i  $t_{skj} = 0,1s$ . Kutt lengden er da kun en funksjon av knivens hastighet. Knivposisjonen etter bevegelsens tredje fase kan beskrives:

$$x = x_2 + v_s t_{skj} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.31})$$

Flekkens posisjon (hvor flekken hadde vært, dersom den ikke var skåret bort) etter skjæring kan beskrives:

$$x_f = x_{f,0} + v_f(t + t_{skj}) \quad (\text{Ve-Tek-Mat.32})$$

Denne siste likningen vil senere bli brukt til å beskrive offset fra en flekk til neste, (avstand mellom flekkene).

Først ble det sett på et tilfelle med én melaninflekk. Verste tilfelle for bevegelsen som kreves da kommer dersom kniven starter i slutten av arbeidsområdet, og melaninflekken starter på starten av området. Knivens akselerasjon,  $a$ , er som nevnt antatt konstant. Retardasjonen,  $r$ , (bremseakselerasjonen) er regnet for å være like stor som akselerasjonen men motsatt rettet.

Likningssettet over består av mange parametre. En del av disse er antatt konstant:

$$\begin{aligned} t_{skj} &= 0,1s \\ x_k &= 1m \\ x_{f,0} &= 0m \\ v_{k,0} &= 0m/s \\ v_f &= 1m/s \\ v_s &= 0,5m/s \\ a &= -44,44m/s^2 \\ a_r &= -a \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.33})$$



Ut i fra tidligere antagelser vil knivhastigheten under skjæring,  $v_s$ , medføre et kutt på 5cm. Akselerasjonen ble først antatt til verdien over. Denne ble antatt fra at kniven måtte bevege seg 1m på 0,3s med like lang akselerasjonstid og bremsetid slik at den starter og slutter med null hastighet. Denne akselerasjonen brukes foreløpig kun som en eksempelverdi. Det skal senere finnes nødvendig akselerasjon for denne akselen.

Det som da gjenstår som variable i likningssettet er:  $t, t_1, t_2, x, x_1, x_2, x_f$  og  $v_1$ . Det gjenstår altså åtte variable, og likningssettet består av åtte likninger. Dette likningssettet er derfor løsbart. I neste seksjon skal likningssettet løses.

### **Ve-Tek.6.1.2 Iterativ utregning av akselerasjon i Matlab**

Store likningssett som i seksjonen over (åtte likninger med åtte ukjente) kan enkelt løses i Matlab. Matlab-scriptet er vedlagt som [textithttps://bitbucket.org/erlend0610/matlab/src/master/](https://bitbucket.org/erlend0610/matlab/src/master/). Likningenes variable defineres med "syms-funksjonen". Likningene defineres som et likningssett med "eqns-funksjonen". Da kan likningene løses med "vpasolve". Dette er en funksjon som løser et likningssett numerisk. Med inputdata som definert i forrige seksjon ble likningssettet løst. Siden likningene Ve-Tek-Mat.27 og Ve-Tek-Mat.29 består av andregradsledd i form av  $t^2$  blir det to løsninger av likningssettene. Minst en av disse løsningene vil alltid være negativ. Siden negativ tid ikke eksisterer kan én løsning alltid ekskluderes avhengig av hvilken løsning som er ved negativ tid. Det ble derfor skrevet en funksjon som plukker ut riktig løsning. Det er også mulig at likningssettet har to løsninger ved negativ tid, men dette betyr kun at input-dataen korresponderer med en umulig situasjon.

Følgende er løsningen av likningssettet med inputdata som definert i forrige seksjon:

$$\begin{aligned}t &= 0,268s \\t_1 &= 0,128s \\t_2 &= 0,140 \\x &= 0,318m \\x_1 &= 0,633m \\x_2 &= 0,268m \\x_f &= 0,368m \\v_1 &= -5,713m/s\end{aligned}\tag{Ve-Tek-Mat.34}$$

Det kan altså konkluderes med at i dette tilfellet vil knivenheten akselerere fra stillstand mot flekken i  $0,128s$ . Den har da en hastighet på  $-5,713m/s$  i negativ retning (altså på vei mot flekken), og er ved posisjon  $0,633m$  som fremdeles er nærmere maksimal x-verdi enn minimal. Ved dette tidspunktet vil kniven begynne å bremse helt til den ender opp med en hastighet på  $0,5m/s$  som definert som inputvariabel i likningssettet. Ved et ukjent tidspunkt vil altså kniven stå stille i et øyeblikk før den begynner å akselerere i positiv retning. Når kniven har ønsket hastighet møtes den og fisken ved posisjon  $0,268$ . Siden et kutt tar  $0,1s$  vil fiskens posisjon ha endret seg med  $0,368m$  i løpet av denne bevegelsen. Kniven ender opp på en posisjon på  $0,318m$  som stemmer bra med at den beveger seg med en hastighet på  $0,5s$  under skjæringen i  $0,1s$ , den vil altså ende opp  $5cm$  bak den fremste delen av flekken den har skåret bort. Knivens slutfart er fremdeles  $0,5m/s$  siden denne holdes konstant under kuttet.

Neste steg i denne undersøkelsen var å bruke resultatene fra første utregning som startbetingelser i neste utregning. Det er da mulig å regne ut et tilfelle med flere flekker etter hverandre. Kniven vil da starte med en hastighet på  $0,5m/s$  ved en posisjon  $0,318m$ . Den neste flekkens startposisjon bestemmes av hvor langt bak den første flekken den var posisjonert.

Først ble et absolutt worst-case scenario undersøkt. Dette tilfellet kommer dersom alle tre melaninflekkene på en laksefilet er plassert parallelt helt bakert på første filet, og de tre flekkene på neste laksefilet er plassert parallelt helt lengst frem på denne.

Selv om det i realiteten er 1s prosesseringstid per filet i gjennomsnitt, er det mulig at systemet må operere raskere enn dette i spesielle tilfeller som dette. Det er antatt 30cm mellom hver laksefilet (1s per fisk, 700mm lange fileter, 1m/s rullebånd tilsvarer 300mm avstand mellom filetene). Systemet vil i realiteten da kun ha litt over 1,3s på å fjerne alle seks flekkene på to fileter (det er ikke nøyaktig 1,3s siden lengden på flekkene vil øke eller minske denne tiden noe).

Det er derfor 0cm mellom første flekk og andre flekk, og mellom andre og tredje. Mellom tredje flekk og fjerde flekk er det antatt 30cm, som er avstanden mellom filetene. Avstanden fra fjerde til femte, og femte til sjette er også 0cm. Matlabscriptet kan brukes til å regne gjennom disse seks tilfellene suksessivt. Sluttresultatene blir at kniven ender opp på posisjon 1,019m med en sluthastighet på 0,5m/s. Selv uten å regne med at kniven trenger en bremselengde på:

$$x_b = \frac{v^2 - v_s^2}{2a} = \frac{(0m/s)^2 - (0,5m/s)^2}{2(-44,44m/s^2)} = 0,00281m \quad (\text{Ve-Tek-Mat.35})$$

vil ikke kniven være ferdig med operasjonen innenfor arbeidsområdet. Dette worst-case scenarioet er derfor ikke mulig med antatt akselerasjon.

Denne utregningen er tidkrevende, og krever at brukeren holder styr på både tilstanden til kniven og flekkene underveis i operasjonen. Input til Matlab-scriptet må føres inn manuelt for hver flekk, med resultatene fra forrige utregning. Matlab-scriptet ble derfor skrevet om slik at hele utregningen foregår iterativt. Output fra en utregning benyttes som input i neste. Siden akselerasjonen i x-retning tidligere kun ble antatt ble scriptet i tillegg skrevet om slik at det iterativt begynner med en akselerasjon på 1m/s<sup>2</sup>, og sjekker om sluttposisjonen og alle posisjonene underveis er lovlige (innenfor arbeidsområdet). Dersom dette ikke er tilfelle vil akselerasjonen økes i inkrement på 1 helt til det oppnås en tilfredsstillende situasjon (kniven stopper innenfor arbeidsområdet etter endt operasjon). For å unngå "lag" i systemet kan det også undersøkes hvilken akselerasjon som kreves for at kniven skal ende på en posisjon som er (mindre/nærmere x-aksens nullpunkt) enn den startet, etter end operasjon. Ved å ha en kontinuerlig strøm av fisk vil det være dette tilfellet som avgjør om systemet klarer å operere innenfor arbeidsområdet eller ikke. Matlab-scriptet tar inputdata fra brukeren og finner akselerasjonen som kreves ved ønsket tilfelle. Først defineres hvor mange flekker som skal fjernes i simulasjonen. Deretter defineres startposisjonen til kniven og den første melaninflekken som skal fjernes,

i tillegg til starthastigheten til kniven. Den neste inputen er ønsket skjærelengde for flekkene. Til slutt blir brukeren bedt om å spesifisere avstanden fra en flekk til neste. Dette føres inn i en ”offset matrise” som har størrelse én mindre enn antall flekker. For worst-case scenarioet som ble undersøkt tidligere ville denne matrisen sett ut som:

$$\text{Offset\_matrix}_{worstcase} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.36})$$

Offset er her oppgitt i *cm* og tilsvarer avstand mellom en flekk til neste. Merk: offset er ikke definert som avstand fra første flekk til hver av de neste, men kun mellom to flekker som vil skjæres bort rett etter hverandre.

Med samme tilfelle som ble undersøkt tidligere kan dermed akselerasjonen som kreves for x-aksen regnes ut (kniven starter på  $1m$  med starthastighet på  $0m/s$ , første flekk starter på  $0m$ , hver flekk skjæres  $5cm$ , og med offset gitt i Ve-Tek-Mat.36). Resulterende akselerasjon for x-aksen blir:

$$a_x = 48m/s^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.37})$$

Denne akselerasjonen medfører et sett med tidspunkter der de resterende aksene må være i posisjon (wc står her for worst-case):

$$\begin{aligned} t_{1,wc} &= 0,396s \\ t_{skj,1} &= 0,1s \\ t_{2,wc} &= 0,175s \\ t_{skj,2} &= 0,1s \\ t_{3,wc} &= 0,175s \\ t_{skj,3} &= 0,1s \\ t_{4,wc} &= 0,187s \\ t_{skj,4} &= 0,1s \\ t_{5,wc} &= 0,237s \\ t_{skj,5} &= 0,1s \\ t_{6,wc} &= 0,209s \\ t_{skj,6} &= 0,1s \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.38})$$

Hver gang x-aksen er i posisjon for skjæring er det altså nødvendig at alle de andre

aksene har beveget seg til ønsket posisjon. Det ble sett på et worst-case scenario for bevegelsen til de resterende aksene.

Z-aksen beveger seg  $90\text{mm}$  opp og  $180\text{mm}$  ned annen hver gang mellom hver flekk. Årsaken til dette er utformingen på kniven. Pitch-vinkelen påvirker hvor høyt kniven står over rullebåndet. I den ene endeposisjonen er høyden  $90\text{mm}$  over, og  $180\text{mm}$  over i det andre endepunktet.  $90\text{mm}$  er gitt av kravet om bevegelsesområdet, og  $180\text{mm}$  er resultatet av at pitch-vinkelen påvirker høyden så mye som den gjør. Det er også antatt at Y-aksen må bevege seg med maksimalt utslag mellom hver flekk, som er gitt av  $300\text{mm}$  fra kravet om bevegelsesområdet.

For pitch og yaw er det antatt en bevegelse med maksimalt utslag på  $90^\circ$  mellom hver flekk (yaw kan bevege seg  $180^\circ$ , men fra en flekk til neste vil den aldri trenge mer en  $90^\circ$  som er et resultat av aksekonfigurasjonen).

Disse parametrene i kombinasjon med andre fysiske parametre ble satt inn i programmet "Siemens Sizer" [44] for å gi følgende resultater for akselerasjoner, krefter og dreiemomenter. Det skal kommes tilbake til hvordan dette programmet er benyttet i seksjon Ve-Tek.6.6.

De resulterende akselerasjonene for alle aksene blir:

$$\begin{aligned}a_x &= 48\text{m/s}^2 \\a_y &= 152\text{m/s}^2 \\a_z &= 94\text{m/s}^2 \\ \alpha_{pitch} &= 793\text{rad/s}^2 \\ \alpha_{yaw} &= 793\text{rad/s}^2\end{aligned}\tag{Ve-Tek-Mat.39}$$

Med innsatte fysiske parametre (som det kommes tilbake til senere i dokumentet) blir de resulterende dreiemomentene for systemets motorer:

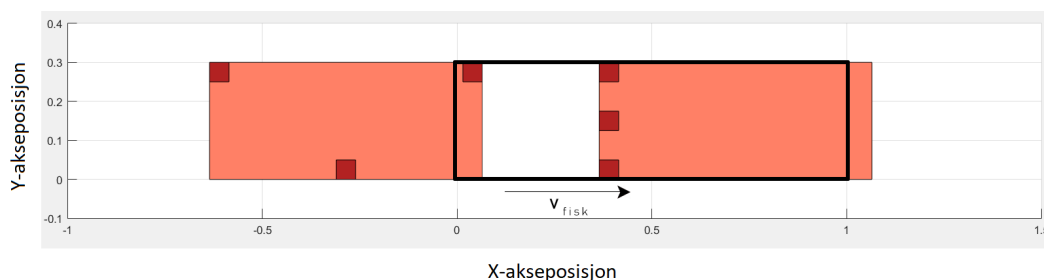
$$\begin{aligned}\tau_x &= 15\text{Nm ved } 800\text{rpm} \\ \tau_y &= 236\text{Nm ved } 1600\text{rpm} \\ \tau_z &= 167\text{Nm ved } 500\text{rpm} \\ \tau_{pitch} &= 17\text{Nm ved } 340\text{rpm} \\ \tau_{yaw} &= 53\text{Nm ved } 340\text{rpm}\end{aligned}\tag{Ve-Tek-Mat.40}$$

Alle verdiene er rundet av til nærmeste heltall, og hvert dreiemoment er gitt med antagelsen om én motor per akse. For å undersøke om dette kan være mulig å løse ble det sett på motortypen AKMH av produsent Kollmorgen [48]. Den kraftigste av disse motorene, AKMH65M, har maksimalt dreiemoment på  $92Nm$  og en topphastighet på 6000rpm. Men det er vanlig for elektriske motorer at dreiemomentet blir lavere ved høyere hastighet [46], og motsatt. Ved å bruke gir på denne motoren kan det være mulig å benytte denne for hver akse. Med girutveksling kunne dreiemomentet blitt økt og rotasjonshastigheten senket. Problemet kommer i at motoren veier  $30kg$  uten påmonterte gir (som i seg selv også er tunge når de må være hygieniske). De resulterende vektene som systemet da må forflytte blir for store. Kreftene i systemet øker med masse og akselerasjon. Ved å velge denne motoren for en akse, vil systemets masse øke betraktelig. Dette vil igjen øke dreiemomentene for aksene som ble presentert ovenfor. Når disse allerede var i grenseland for hva en slik motor kan oppnå kan det sees at et slikt tilfelle ikke er mulig å utføre med de hygieniske motorene som eksisterer på markedet i dag.

Det blir derfor videre sett på et mer realistisk tilfelle, der flekkene er mer jevnt fordelt på fiskefiletene. Som det ble sett tidligere fra studiet på melaninflekker Pp.1.2.1 er det vanligste tilfellet at flekkene sitter i fremre del av buken på fileten (i 70% av tilfellene der det er melaninflekker på en filet). Det er derfor mer realistisk å se på en jevnere fordeling av melaninflekker med tanke på akselerasjon og krefter i systemet og motordimensjonering. For å ta hensyn til at det kan oppstå vanskeligere tilfeller tas det utgangspunkt i at én filet har flekkene tett plassert, og den neste har flekkene mer jevnt fordelt. Dette betyr at hele spekteret dekkes; den ene fileten har flekkene tett plassert og den andre har flekkene jevnt fordelt. Følgende scenario ble undersøkt:

$$Offset\_matrix = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 35 & 30 & 35 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.41})$$

Dette tilsvarer at det er tre flekker plassert parallelt bakerst på første filet, og tre flekker plassert spredt på den neste. Dette scenarioet kan sees i figuren under.



**Ve-Tek-Fig.44:** Scenario for fysiske analyser med flekkposisjon. Det svarte rektangelet er arbeidsområdet til systemet. Generert i Matlab.

Dersom systemet klarer å utføre operasjonen ved dette tilfellet er det sannsynlig at det også vil kunne operere ved alle mer reelle tilfeller.

Kniven starter på  $1m$  med starthastighet på  $0m/s$ . Første flekk starter på  $0m$ , hver flekk skjæres  $5cm$ , og offset er gitt i Ve-Tek-Mat.41). Resulterende akselerasjon for x-aksen blir:

$$a_x = 18m/s^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.42})$$

Her kan det observeres at flekkposisjonen (og strømmen av flekker) har mye å si for hvor stor akselerasjon som kreves. I et tilfelle som beskrevet av Ve-Tek-Mat.36 er det mer realistisk å kappe bort den bakre delen av den ene fileten og den fremre delen av den andre manuelt, eller eventuelt forkaste hele fileten. Det er likevel tatt utgangspunkt i et tilfelle som definert i Ve-Tek-Mat.41 for å være på den sikre siden. Akselerasjonene for de resterende aksene kan finnes i seksjon Ve-Tek.6.3.

## Ve-Tek.6.2 Tider for bevegelse ved valgt scenario

For å kunne dimensjonere de elektriske motorene som skal brukes i RoboTrim har det vært nødvendig å gjøre et overslag av krefter og akselerasjoner for de forskjellige aksene i systemet for å kunne tilfredsstille KR-08: "Systemet skal kunne prosessere én laksefilet per sekund".

Fra Newtons andre lov kan det sees at krefter avhenger av masse og akselerasjon. Akselerasjonene vil i hovedsak avhenge av hvor kort tid hver akse har på å forflytte seg mellom flekkene.

Tilfellet som ble undersøkt på slutten av forrige seksjon (akselerasjon på  $18m/s^2$  for X-aksen) resulterer i følgende tider for bevegelsen (funnet med Matlab-scriptet):

$$t_1 = 0,396s$$

$$t_{skj,1} = 0,1s$$

$$t_2 = 0,175s$$

$$t_{skj,2} = 0,1s$$

$$t_3 = 0,175s$$

$$t_{skj,3} = 0,1s$$

(Ve-Tek-Mat.43)

$$t_4 = 0,187s$$

$$t_{skj,4} = 0,1s$$

$$t_5 = 0,237s$$

$$t_{skj,5} = 0,1s$$

$$t_6 = 0,209s$$

$$t_{skj,6} = 0,1s$$

Her er  $t_1$  tiden aksesystemet må bruke på å komme i posisjon for skjæring av første flekk,  $t_2$  for andre flekk osv.  $t_{skj,1}$  er tiden det tar å skjære først flekk osv.

### Ve-Tek.6.3 Bevegelser for aksene ved valgt scenario

I denne seksjonen skal bevegelsen for hver akse defineres. Det er disse bevegelsene i kombinasjon med tidene gitt i Ve-Tek.6.2 som blir inputparametrene i Sizer når bevegelsen defineres. I tillegg til bevegelsene som blir definert i de følgende seksjonene vil det antas at kniven må stå stille i  $0,1s$  som representerer hver gang en flekk må skjæres bort.

#### Ve-Tek.6.3.1 Bevegelse for pitch

Tidene for pitch-bevegelsen er gitt ved  $t_1, t_2, \dots, t_6$  i Ve-Tek-Mat.43. Bevegelsen for hver av disse antas til å være  $90^\circ$ . Dette er maksimal bevegelse mellom hver melaninflekk for denne aksene.



**Ve-Tek.6.3.2 Bevegelse for yaw**

Tidene for yaw-bevegelsen er gitt ved  $t_1, t_2, \dots, t_6$  i Ve-Tek-Mat.43. Bevegelsen for hver av disse antas til å være  $90^\circ$ . Dette er ikke maksimal bevegelse for aksene mellom hver flekk, men den maksimale forflytningen som kan kreves for å bevege fra en flekk til neste. Pitch- og yaw-aksene vil være aksene som endrer knivens orientering i rommet. Ingen melaninflekker kan være lenger unna hverandre i orientering (normalvektorens vinkel) enn når pitch og yaw må bevege seg  $90^\circ$  hver.

**Ve-Tek.6.3.3 Bevegelse for x**

Bevegelsen til x-aksen er definert ut i fra akselerasjonen som ble funnet med matlab-scriptet. Bevegelsen til x-aksen er vanskelig å definere. Årsaken til dette er at melaninflekkene beveger seg langs x-aksen. Bevegelsen til x-aksen vil bli påvirket av posisjonen til flekkene, hvor kniven starter langs x-aksen og dens startfart. Det er derfor blitt gjort noen tilnærminger for denne bevegelsen.

Utgangspunktet er situasjonen beskrevet i matlab-scriptet. Kniven starter på posisjon  $1m$ , og flekken starter på posisjon  $0m$ . Kniven akselererer mot flekken før den begynner å bremse til den har null hastighet. Deretter fortsetter den å akselerere andre veien for å oppnå ønsket skjærefart på  $0,5m/s$ . Etter  $0,1s$  med skjæring bremses kniven til stillstand (dette er for å kunne simulere denne bevegelsen i Sizer). Det er kun tatt utgangspunkt i én melaninflekk for denne bevegelsen. Årsaken til dette er at den begrensende faktoren for en motor er hvor høyt dreiemoment den må levere ved toppfarten. Tilfellet som beskrevet over vil føre til toppfarten langs x-aksen, ettersom kniven aldri vil måtte akselerere over en lengre strekning enn beskrevet (toppfarten er her på  $-3,3m/s$ ).

Bevegelsen er derfor definert i Sizer som én bevegelse mot melaninflekken (akselerasjon og bremsing) til kniven når null hastighet igjen. Deretter er neste bevegelse definert som en bevegelse med akselerasjon for å oppnå ønsket skjærefart på  $0,5m/s$ , en tid på  $0,1s$  uten noen akselerasjon (mens systemet skjærer) og til slutt en bremsfase til kniven stopper. Tidene for disse to bevegelsene blir:  $t_{1,x} = 0,368$  og  $t_{2,x} = 0,156$ .  $t_{1,x}$  er dobbelt så stor som tiden det tar å akselerere opp til toppfart (like lang akselerasjon som bremsing).  $t_{2,x}$  består av to ganger tiden det tar å

akselerere fra stillstand til  $0,5m/s$ , denne tiden er på  $2 * 0,028s = 0,56s$ . I tillegg inneholder den tiden det tar å skjære melaninflekken  $0,1s$ . Strekningen som tilbakelegges på  $t_{1,x}$  er  $0,61m$ . Den første bevegelsen er definert i sizer kun ut i fra tiden og strekningen som tilbakelegges. Den andre bevegelsen er definert ut i fra tiden det tar,  $t_{2,x}$ , i tillegg til ønsket skjærefart  $0,5m/s$ , akselerasjon og bremseakselerasjon på  $18m/s^2$ .

#### Ve-Tek.6.3.4 Bevegelse for y

Tidene for y-aksebevegelsen er også gitt ved  $t_1, t_2, \dots, t_6$  i Ve-Tek-Mat.43. På hver av disse tidene er det tatt utgangspunkt i at akselen må forflytte maksimalt mellom hver flekk. Dette er satt til  $300mm$ .

#### Ve-Tek.6.3.5 Bevegelse for z

Tidene for z-aksebevegelsen (bevegelsen opp og ned) er gitt ved  $t_1, t_2/2 * 2, t_3/2 * 2, \dots, t_6/2 * 2$ . Her menes det at den første bevegelsen ned mot fisken kan ta  $t_1$ , deretter må akselen bevege seg opp og ned mellom hver av de neste flekkene. Bevegelsen opp og ned må totalt ta  $t_2, \dots, t_6$ , men hver enkelt bevegelse opp/ned må ta halvparten av dette. Hver bevegelse er antatt til  $30mm$ , altså at kniven må beveges  $30mm$  opp og ned mellom hver flekk.

#### Ve-Tek.6.3.6 Akselerasjoner for hver akse

De resulterende akselerasjonene for hver aksene ble:

$$\begin{aligned} a_x &= 18m/s^2 \\ a_y &= 39m/s^2 \\ a_z &= 47m/s^2 \\ \alpha_{pitch} &= 205rad/s^2 \\ \alpha_{yaw} &= 205rad/s^2 \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.44})$$

Måten hver akselerasjonen ble kommet frem til er beskrevet nærmere i seksjonene Ve-Tek.6.7, Ve-Tek.6.8, Ve-Tek.6.9, Ve-Tek.6.10 og Ve-Tek.6.11.

### **Ve-Tek.6.4 Parametre for motordimensjonering**

I denne seksjonen skal det diskuteres hvilke parametre som må vites for å kunne dimensjonere de elektriske motorene for systemet.

#### **Ve-Tek.6.4.1 Fysiske krav**

De fysiske kravene bestemmer hva motorene må kunne levere av både dreiemoment og hastighet. Dreiemomentet til motoren som driver en akse vil i hovedsak bestemme hvilken akselerasjon denne akselen kan oppnå. Akselerasjonen avhenger også av treghetsmomentet til det som forflyttes for rotasjonsakser, og massen for lineære akser. Treghetsmomentet avhenger av massen til legemet, utformingen (fordelingen av massen) og hvor rotasjonsakselen står. Massene vil defineres av Solidworks-modellen basert på mekaniske avgjørelser på materialvalg osv. Treghetsmomentene vil også bli definert av modellen basert på hvor rotasjonsakselen er plassert.

Motorene må også velges ut i fra hvilken rotasjonshastighet disse kan oppnå. Det er vanlig for elektriske motorer at dreiemomentet er større for lave hastigheter [46]. Det er derfor viktig å finne motorer som kan levere nok dreiemoment ved riktig rotasjonshastighet.

Med påmonterte gir kan dreiemomentet og rotasjonshastigheten endres. Det er da vanlig å gire motorene ned slik at rotasjonshastigheten blir lavere og dreiemomentet høyere.

Det er også ønskelig å finne motorer som veier minst mulig. Som sett på slutten av seksjon Ve-Tek.6.1.2 kan vekten på hygieniske motorer bli ganske stor. Siden systemet skal operere med høye akselerasjoner har massen mye å si for hvor store krefter som virker i systemet, og minst mulig vekt er derfor ønskelig.

#### **Ve-Tek.6.4.2 Matching av treghetsmoment**

Forholdet mellom treghetsmomentet til lasten som motoren skal flytte og treghetsmomentet til motoren (heretter inertia-matching) er viktig i vårt valg av motor [88].

Oppgaven til motoren er å flytte lasten, dermed er det logisk å tenke at motor kan

velges kun basert på om den har tilstrekkelig dreiemoment og hastighet til å utføre oppgaven. Dette er en forenkling som kan føre til problemer. Motoren må i tillegg til å flytte lasten, posisjonere den som ønsket til gitt tid. Grensesnittet mellom motoren og lasten kan føre til resonans, som igjen fører til feil som oversving og lengre ”settling time” enn ønsket [88].

Her kommer forholdet ”inertia-ratio” (treghetsmomentsforhold) kommer inn i bildet. Generelt kan det sies at jo nærmere 1 inertia-ratioen er, jo bedre er det. Dette er ikke alltid hensiktsmessig med tanke på motorens vekt og applikasjonen den skal drive. Derfor må det gjøres en avveining med tanke på vekten på motoren, treghetsmomentet til rotoren i motoren, hvilken applikasjon motoren skal drive og lastsyklusen (akselerasjon/retardasjon) som utføres. I et whitepaper skrevet av Siemens [89] er konklusjonen at det er vanskelig å generalisere hvilke inertia-ratio som er akseptabel, det må evalueres for hver enkelt applikasjon:

- I stive systemer/direktedrevne applikasjoner, der lasten er direkte koblet på rotoren kan man ha forhold helt oppe i 2000:1 som kan fungere [89].
- I mindre stive systemer der gir brukes, burde det etterstrebes å holde inertia-ratio på under 20, hvis det er hensiktsmessig med tanke på motorvekt [89].
- Når lasten drives av belter kan det sees på som et mindre stivt system, derfor burde inertia-ratioen være under 20.

Når motorene skal dimensjoneres vil det presenteres en utregning for inertia-matching for hver av disse. Formelen for treghetsmomentsforhold med girutveksling er [90]:

$$forhold = ((I_L/n^2) + I_G)/I_M \quad (\text{Ve-Tek-Mat.45})$$

Her er  $I_L$  treghetsmomentet til lasten som er koplet på giret,  $n$  er girforholdet,  $I_G$  er treghetsmomentet til giret og  $I_M$  er treghetsmomentet til motorens rotor. Treghetsmomentet til giret kan som oftest neglisjeres siden dette pleier å være veldig lite i forhold til treghetsmomentet til lasten. Da blir formelen:

$$forhold = (I_L/n^2)/I_M \quad (\text{Ve-Tek-Mat.46})$$

### **Ve-Tek.6.4.3 Hygieniske motorer**

Hygienisk design har ingen praktisk betydning for motordimensjoneringen i seg selv. Motorenes dreiemomenter, rotasjonshastigheter osv. avhenger ikke av hvor hygieniske motorene er. Likevel er dette helt nødvendig å ta dette i betraktning når motorene velges. Et av kravene til systemet er KR-17: "kapslingsgraden til systemet må være IP69K eller IP67 washdown godkjent". Det er derfor essensielt at motorene som velges er av tilstrekkelig kapslingsgrad, der IP69K også er foretrukket over IP67.

### **Ve-Tek.6.5 Preliminær vektestimering**

Kort tid etter konseptvalget ble det gjennomført en vektestimering for systemet. Denne vektestimeringen er basert på hvor stor masse hver akse må forflytte. Vektestimeringen startet "innert" i systemet, nærmest kniven. Motorene for pitch-aksen må i hovedsak kunne rotere kniven i tillegg til festeanordningene. Motorene som driver yaw-aksen må da kunne rotere kniv, fester og motorer som driver pitch. Hver akse må kunne forflytte de som er innenfor. Det kan derfor sees under at massen "total akse x" øker for hver akse.

Vektestimeringen ble gjennomført slik at et preliminært motorvalg kunne foretas. For en mer nøyaktig dimensjonering ble motorvalgene revidert etterhvert som Solidworks-modellen ble ferdigstilt. I denne vektestimeringen er X- og Z-aksene nummerert som akse 5 og akse 3. Dette blir motsatt med siste versjon av systemet senere i dette dokumentet (Z-aksen er flyttet ut slik den er den ytterste aksene, og X-aksen er flyttet inn).

Som det skal sees over de neste kapitlene var den først vektestimeringen grovt underestimert. Total vekt for hele systemet har mer enn doblet seg siden denne estimeringen ble foretatt. Årsaken til dette er at det har oppstått mange uforutsette utfordringer rundt hygienisk design og vekt. Hygieniske motorer veier ofte veldig mye i forhold til dreiemomentet de kan levere som kan sees i databladene til f.eks Kollmorgen [50] og [48]. I tillegg til dette veier hygieniske girutvekslinger mye mer enn først antatt.

Akser	Komponent	Vekt (kg)
Akse 1	Kniv	2
	Knivfeste+ div ledninger og innsug på kniv	1
<b>Total akse 1:</b>		<b>3</b>
Akse 2	Totalt akse 1	3
	Elmotor(tilting av kniv, akse 1)	2
	Festemekanismer	3
<b>Total akse 2:</b>		<b>8</b>
Akse 3	Totalt akse 1 og 2	8
	Elmotor(Rotasjon om Z-aksen, akse 2)	1,5
	Festemekanismer	1
<b>Total akse 3:</b>		<b>10,5</b>
Akse 4	Totalt akse 1,2 og 3	10,5
	Lineæraktuator (akse 3)	3
	Løper	10
<b>Total akse 4:</b>		<b>23,5</b>
Akse 5	Totalt akse 1,2,3 og 4	23,5
	Elmotor(bevegelse langs Y-akse)	8
	Skinne	5
	Hjul og tannhjul	4
	Festemekanismer	2
<b>Total akse 5:</b>		<b>42,5</b>
Rammeverk	Totalt akse 1,2,3,4 og 5	42,5
	Rammeverk	25
	Elmotor(bevegelse langs X-akse)	15
<b>Totalt</b>		<b>82,5</b>

Ve-Tek-Tab.8: Vektestimering

### **Ve-Tek.6.6 Siemens Sizer**

Parametrene som er blitt funnet i de forrige seksjonene skal brukes for å finne nødvendige dreiemomenter og rotasjonshastigheter for de elektriske motorene i systemet. Nødvendige dreiemomenter/krefter og (rotasjons)hastigheter ble funnet ved simulering i programmet "Siemens Sizer". Siemens Sizer er et motor-dimensjoneringsverktøy der man steg for steg kan definere det fysiske systemet, ønsket bevegelse og girutveksling for å få krav til motoren som driver systemet [44]. Sizer gjør det enklere å dimensjonere motor, enn ved å beregne alle fysiske parametre for hånd. Videre vil det bli beskrevet hvordan denne programvaren kan brukes for å få fysiske parametre som hjelper brukeren med motorvalg. I denne seksjonen skal brukes av Sizer presenteres. I seksjonene som følger vil det bli presentert resultatene og motorvalgene for alle aksene.

Først defineres det mekaniske systemet. Her kan det velges mellom flere systemtyper som f.eks. heiseverk, tannstang eller en roterende enhet. Disse systemene lar brukeren tilnærme det faktiske systemet til noe som kan simuleres i Sizer. Hver simulering er da avhengig av forskjellige parametre avhengig av hvilket system som velges. For en roterende enhet er det nødvendig å tilnærme rotorens treghetsmoment, hvordan denne er fordelt, hvilken vinkel systemets rotasjonsakse har og virkningsgraden til systemet, se Ve-Tek-Fig.45.

**Enter mechanical data**

Mechanical system: Pitch  
 Type: Rotary unit / rotary table in converter operation

Mass points ...

The diagram illustrates a mechanical system. A motor, labeled 'M', is connected to a gearbox. The gearbox is connected to a rotary table, labeled 'J<sub>Load</sub>', which is tilted at an angle  $\alpha$  relative to the vertical. A curved arrow on the table indicates its rotation.

Name	Unit	Application values
<b>Masses</b>		
Mass points		1
Mass of the center of gravity	<g >	2,600
<b>Moments of inertia</b>		
Load inertia	kg m <sup>2</sup> »	0,000000
Additional inertia in relation to the motor	kg m <sup>2</sup> »	0,000000
Inertia of the center of gravity	<g m <sup>2</sup> >	0,019230
<b>Mechanics</b>		
Type of rotary table		Vertical rotary table ▾
Angle of inclination	deg »	90,0
Distance to the center of gravity	m »	0,086000
Angle of the center of gravity	deg »	45,0
<b>Friction</b>		
Friction torque	Nm »	0,00
Efficiency of the mechanical system		1,000

Ve-Tek-Fig.45: Definerer det mekaniske systemet



Etter at det mekaniske systemet er definert, defineres ønsket bevegelse. Bevegelsen deles opp i seksjoner for ulik bevegelse. For en roterende enhet kan en slik bevegelse f.eks. bestå av rotasjon med en gitt vinkel på en gitt tid, deretter en pause på en gitt tid og til slutt en rotasjon tilbake like mye som den første rotasjonen. Tidene og bevegelsene i Ve-Tek-Fig.46 er kun eksempelverdier, men prinsippet vil være det samme for alle aksenes bevegelser. Resultatet av dette steget er en akselerasjonsgraf og en fartsgraf som vist i Ve-Tek-Fig.47. Den heltrukne linjen er akselerasjonen og den stiplede linjen er farten.

### Enter traversing profiles

Input of the traversing profiles  as trapez./triangular curves  as individual trav. sections

Allow for friction by means of control at standstill  Allow for mechanical limit values

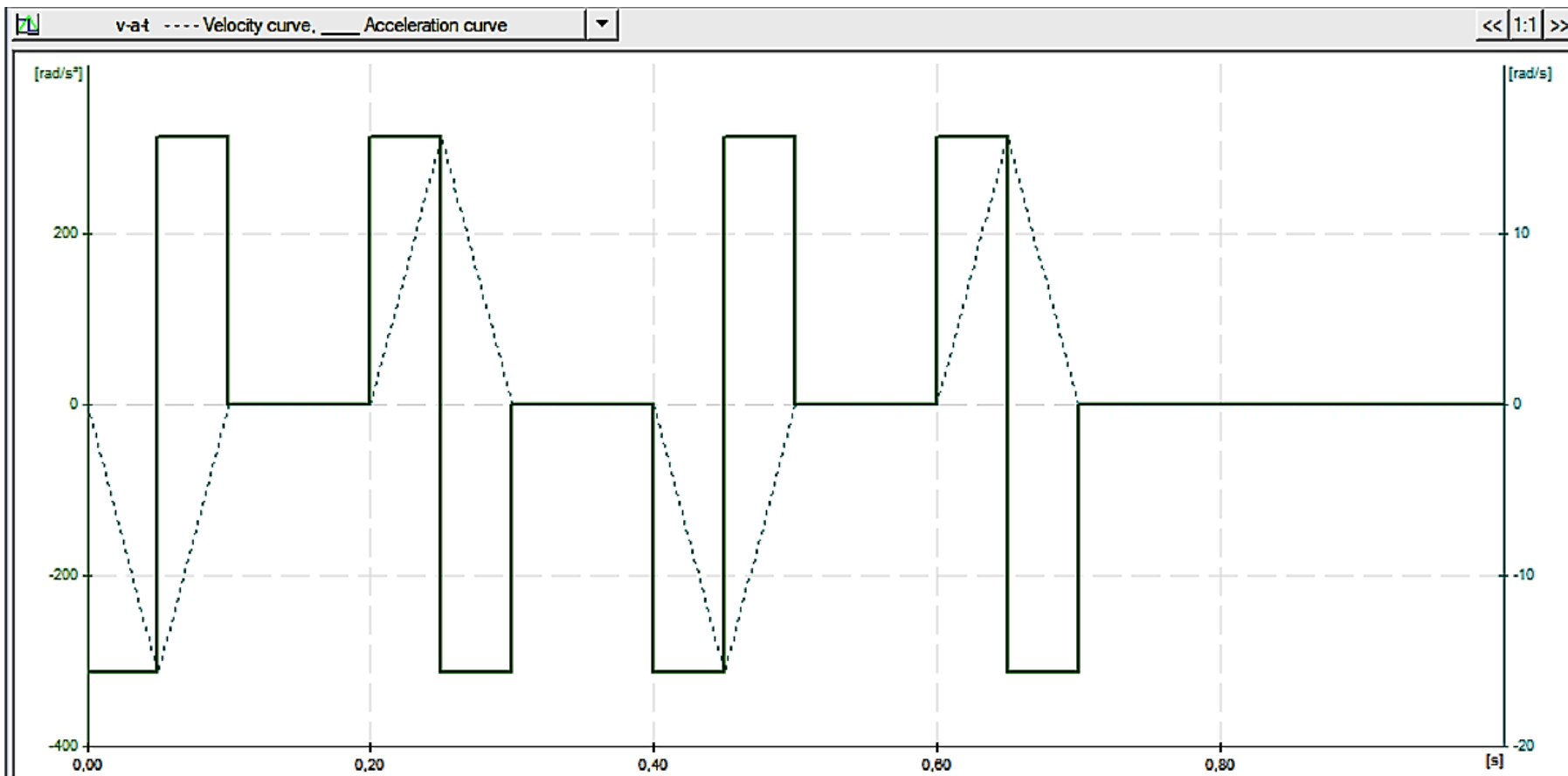
Cycle: 1.00000 s

Velocity:

Acceleration:

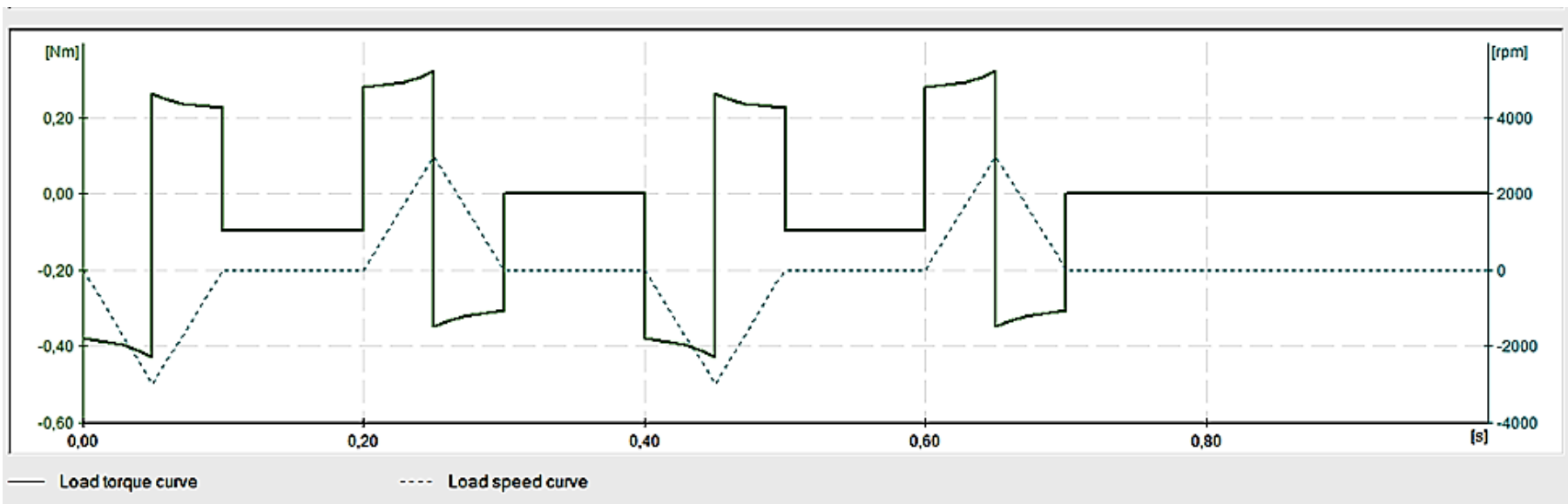
		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	
Entries		$\phi, t \rightarrow \dots$	$p (= p a \dots)$	$\phi, t \rightarrow \dots$	$p (= p a \dots)$	$\phi, t \rightarrow \dots$	$p (= p a \dots)$	$\phi, t \rightarrow \dots$	$p (= p a \dots)$	
Direction		Backw...	Forwar...			Backw...		Forwar...		
<b>Default values</b>										
Traversing angle	deg »	45,00		45,00		45,00		45,00		
Travel time	s »	0.10000		0.10000		0.10000		0.10000		
Acceleration time	s »									
Deceleration time	s »									
Pause time	s »	0.00000	0.10000		0.10000		0.10000		0.30000	
Velocity	rad/s »									
Acceleration	1/s <sup>2</sup> »									
Deceleration	1/s <sup>2</sup> »									
<b>Load values</b>										
Additional torque	Nm »									
Additional inertia	kg m <sup>2</sup> »									
Additional only for co...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Brake during pause		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Angle of add. mass ...	deg »									
Clearance to the add...	m »									
Mass of add. mass p...	kg »									
<b>Attained values</b>										
Max velocity	rad/s »	15,708		15,708		15,708		15,708		
Max. acceleration	1/s <sup>2</sup> »	50,00		50,00		50,00		50,00		
Max. deceleration	1/s <sup>2</sup> »	50,00		50,00		50,00		50,00		
Travel time	s »	0.10000		0.10000		0.10000		0.10000		
~ Acceleration	s »	0.05000		0.05000		0.05000		0.05000		
~ Constant speed	s »	0.00000		0.00000		0.00000		0.00000		
~ Deceleration	s »	0.05000		0.05000		0.05000		0.05000		

Ve-Tek-Fig.46: Måten systemets bevegelse defineres i Sizer.

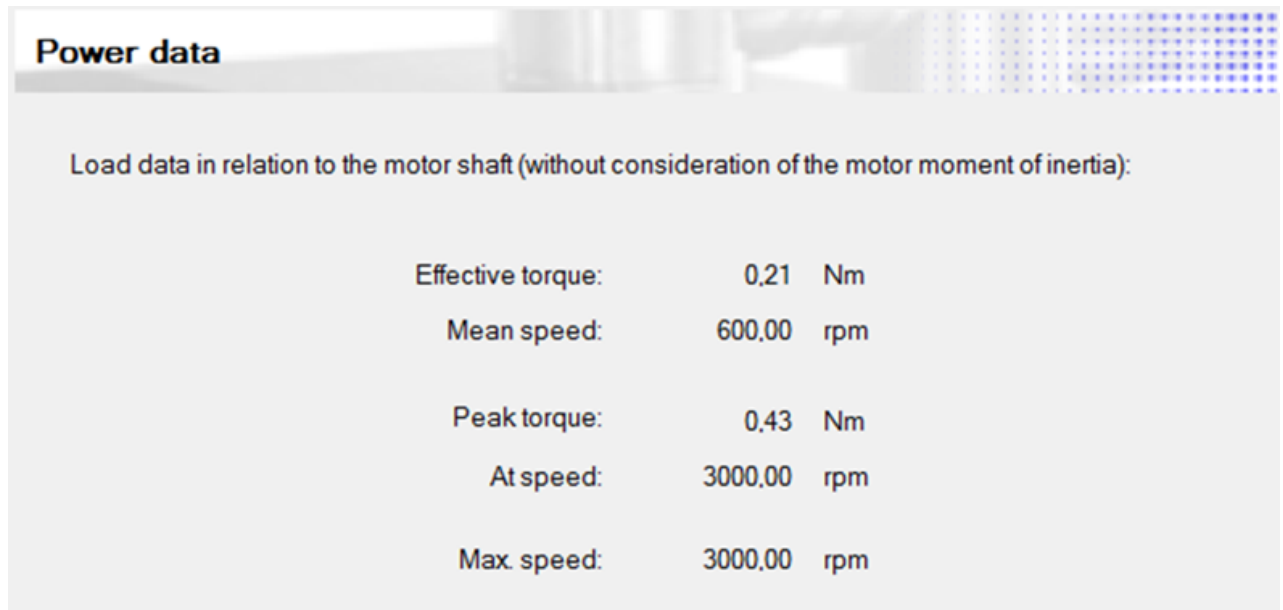


**Ve-Tek-Fig.47:** Resulterende graf for systemet. X-aksen er tid. Den stiplede linjen er hastighetsgrafen og den heltrukne linjen er akselerasjonen.

Etter at motorbevegelsen og det mekaniske er definert kan man se på kravene som stilles til motorens ytelse. I hovedsak velges motoren ut i fra fire fysiske parametre definert av Sizer-simuleringen. De fysiske parametrene motorene må oppfylle er krav om effektivt dreiemoment, gjennomsnittlig hastighet, maksimalt dreiemoment og maksimal hastighet. Det er i hovedsak maksimalt dreiemoment ved topphastigheten som er den begrensende faktoren [46]. Når motordimensjoneringen startes får man først muligheten til å legge inn girutveksling. Dersom de fysiske kravene tilsier at motoren må ha et stort dreiemoment og lav rotasjonshastighet kan det legges inn en girutveksling som senker kravet til dreiemoment, og øker kravet til rotasjonshastighet for motoren. Med eventuelt valgt girutveksling vises en graf som viser motorens dreiemoment som en funksjon av tiden, se Ve-Tek-Fig.48. I tillegg til dette vises de fire fysiske parametrene som trengs for å velge en motor, se Ve-Tek-Fig.49.



Ve-Tek-Fig.48: Resulterende dreiemomentsgraf med gir. Den stiplede linjen er hastigheten og den heltrukne linjen er dreiemomentet.



**Ve-Tek-Fig.49:** Resulterende motorparametre

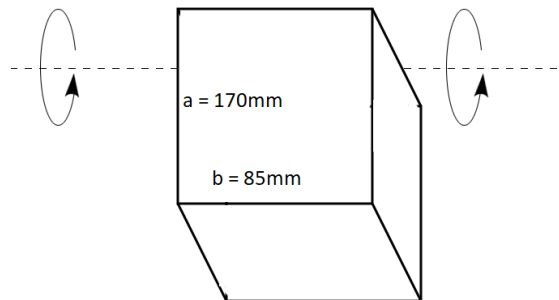
Dersom det er ønskelig å bruke en Siemens-motor kan programvaren sortere ut motorer som oppfyller kravene. *Parametrene kan også benyttes for å finne motorer fra andre produsenter.* Ved å velge en motor vil man få opp en graf som viser termisk data for motoren. Dette er en viktig parameter å ta hensyn til. Hvis bevegelsesmønsteret til motoren tilsier at varmeutviklingen er større enn det motoren klarer å avkjøle, vil systemet kunne bli ødelagt.

### Ve-Tek.6.7 Dimensjonering av akse 1: Pitch

I dette kapitlet vil motordimensjonering og beregninger for akse 1 (Pitch) presenteres. Dette er den nederste akselen og dens funksjon er å vinkle kniven i forhold til vertikalen. For å dimensjonere en motor for denne akselen er man avhengig av massen som skal flyttes og dens treghetsmoment om rotasjonsakselen, samt vinklingen til motorens rotor. Man må også ta utgangspunkt i en bevegelse motoren må gjennomføre som vist i forrige seksjon.

For å kunne gjennomføre et preliminært motorvalg ble treghetsmomentet beregnet basert på vektestimeringen og en tidligere Solidworks-modell. Følgende er denne utregningen (senere blir en mer korrekt verdi benyttet fra nyeste Solidworks-modell).

Trehetsmomentet om akse ble først kalkulert med antagelsen at kniven med festeanordninger hadde kubisk struktur med rotasjon om en akse parallelt med senteraksen. Rotasjonsaksen står vannrett, slik at rotasjon om denne vil rotere (og løfte) strukturen opp og ned.



**Ve-Tek-Fig.50:** Rotasjonsakse for trehetsmoment, akse 1, pitch

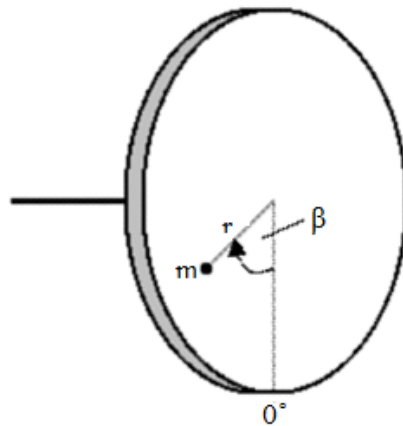
Beregningene nedenfor er basert på parallellakse-teoremet. Dette lar oss finne trehetsmomentet om en parallell akse dersom trehetsmomentet om en rotasjon om massesenteret er kjent. Avstandene  $a$ , og  $b$  er lengden og bredden til kuben. Avstanden  $d$  er avstanden mellom akse gjennom massesenteret og den parallelle aksen. Massen  $M$  er på 3kg som vist i den foreløpige vektestimeringen i Ve-Tek.6.5. Avstandene  $a$ ,  $b$  og  $d$  er tatt fra foreløpig SolidWorks-modellen av aksesystemet. Mål fra SolidWorks-modell er grove og i virkeligheten mindre enn beregningene viser. Det er i beregningene brukt *grove tall* for å få en sikkerhetsmargin for feil.

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{1}{12}M(a^2 + b^2) + Md^2 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 3kg [(0,17m)^2 + (0,085m)^2] + 3kg (0,065m)^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.47}) \\
 &= 0,0217kgm^2
 \end{aligned}$$

Det mekaniske systemet som ble valg i Sizer er en roterende enhet, se Ve-Tek-Fig.45. Siden rotasjonsaksen er vannrett og kniven løfter opp og ned vil tyngdekraften på enheten ha innvirkning på systemet. For å ta hensyn til dette i Sizer, er det ikke mulig å bruke treghetsmomentet som om det var jevnt fordelt om aksens; da ville ikke tyngdekraften hatt innvirkning på systemet. Massen ble derfor lagt inn som en punktmasse utenfor senteraksen i Sizer. Det ble derfor regnet ut hvilke radius  $r$  en punktmasse på 3kg måtte ha for å ha nøyaktig samme treghetsmoment som ble funnet i utregningen over.

$$\begin{aligned}
 I &= mr^2 \rightarrow r \\
 &= \sqrt{\frac{I}{M}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,0217kgm^2}{3kg}} \\
 &= \underline{0,085m}
 \end{aligned}
 \tag{Ve-Tek-Mat.48}$$

Denne punktmassen ble satt inn i Sizer, med en startvinkel slik at den startet i samme høyde som rotasjonsaksen (tilsvarende at kniven er løftet til høyeste rotasjonsvinkel). På Ve-Tek-Fig.51 tilsvarende dette at  $\beta = 90^\circ$ . Radien  $r$  er, som regnet ut over, lik 0,085m og massen er fortsatt på 3kg.



**Ve-Tek-Fig.51:** Tilnærming som en punktmasse med samme treghetsmoment



I det preliminnære motorvalget ble de hittil presenterte verdiene for masse og radius benyttet for treghetsmomentet. For endelig motorvalg som foretas nedenfor ble verdier fra Solidworks-modellen benyttet. Det ble da lagt inn en punktmasse på  $2,6\text{kg}$  med en avstand på  $0,086\text{m}$  fra rotasjonsaksen. Dette resulterer i et treghetsmoment  $0,01923\text{kgm}^2$  om massesenteret. Startvinkelen ( $\beta$  på figur Ve-Tek-Fig.51) ble nå satt til  $45^\circ$  for denne punktmassen, som betyr at den starter med maksimalt utslag den ene retningen.

Tidene og bevegelsene for denne aksen ble presentert i Ve-Tek.6.2 og Ve-Tek.6.3. Disse ble satt inn i Sizer som i følgende figur.

		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13
Entries		$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	
Direction		Backwar...		Forward, ...		Backwar...		Forward, ...		Backwar...		Forward, up		
<b>Default values</b>														
Traversing angle	deg »	90,00		90,00		90,00		90,00		90,00		90,00		
Travel time	s »	0,39600		0,17500		0,17500		0,18700		0,23700		0,20900		
Acceleration time	s »													
Deceleration time	s »													
Pause time	s »		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000	
Velocity	rad/s »													
Acceleration	1/s <sup>2</sup> »													
Deceleration	1/s <sup>2</sup> »													
<b>Load values</b>														
Additional torque	Nm »													
Additional inertia	kg m <sup>2</sup> »													
Additional only for constan...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brake during pause		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Angle of add. mass point	deg »													
Clearance to the add. mas...	m »													
Mass of add. mass point	kg »													
<b>Attained values</b>														
Max. velocity	rad/s »	7,933		17,952		17,952		16,800		13,256		15,032		
Max. acceleration	1/s <sup>2</sup> »	6,38		32,65		32,65		28,60		17,80		22,89		
Max. deceleration	1/s <sup>2</sup> »	6,38		32,65		32,65		28,60		17,80		22,89		
Travel time	s »	0,39600		0,17500		0,17500		0,18700		0,23700		0,20900		
~ Acceleration	s »	0,19800		0,08750		0,08750		0,09350		0,11850		0,10450		
~ Constant speed	s »	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		
~ Deceleration	s »	0,19800		0,08750		0,08750		0,09350		0,11850		0,10450		

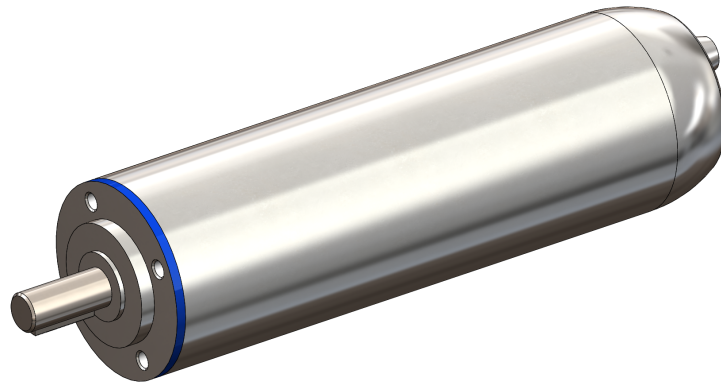
Ve-Tek-Fig.52: Definitert bevegelse for pitch i Sizer

Resulterende akselerasjon for Pitch-aksen ble da:

$$\alpha_{pitch} = 205 \text{ rad/s}^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.49})$$

Det neste steget er å velge girutveksling og få motorparametre. Uten ekstern girutveksling ble de resulterende parametrene:

$$\begin{aligned} \tau_{effective,pitch} &= 1,84 \text{ Nm} \\ \omega_{mean,pitch} &= 45,48 \text{ rpm} \\ \tau_{peak,pitch} &= 3,95 \text{ Nm} \\ \text{at } \omega_{peak,pitch} &= 171,43 \text{ rpm} \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.50})$$



**Ve-Tek-Fig.53:** Wittenstein Cyber d40

Valgt motor for å drive pitch er ”Cyber d40” fra produsent Wittenstein [45] som vist i figur Ve-Tek-Fig.53. Det ble valgt å benytte en innebygget to-steps girutveksling med 20 i tannhjulforhold. Denne motoren finnes med kapslingsgraden IP69K, og veier 0,8kg med valgt girutveksling. Maksimalt dreiemoment for denne elmotoren er oppgitt i datablad til:  $\tau_{m,pitch} = 8 \text{ Nm}$ . Denne motoren ble valgt grunnet dens lille størrelse og vekt. På dagens marked er det begrenset hvor mange ulike produsenter som leverer elektriske motorer med kapslingsgrad IP69K. Cyber-serien til Wittenstein er den minste serien med hygieniske motorer. Typen d40 er den største størrelsen i denne serien, og veier som sagt kun 0,8kg inkludert gir. Dersom en annen motorserie skulle ha blitt valgt (f.eks. Kollmorgen) veier den minste av disse, AKMH21C, hele 3,6kg uten gir. Det er derfor klart at det er ønskelig å benytte Cyber-serien til Wittenstein i stedet for disse.

Trehetsmomentet til lasten er  $0,01923\text{kgm}^2$ , girforholdet er på 20 og trehetsmomentet til motorens rotor er  $250 * 10^{-8}\text{kgm}^2$  [45]. Følgende er utregningen for trehetsmomentsforholdet med innsatte verdier i likning Ve-Tek-Mat.45:

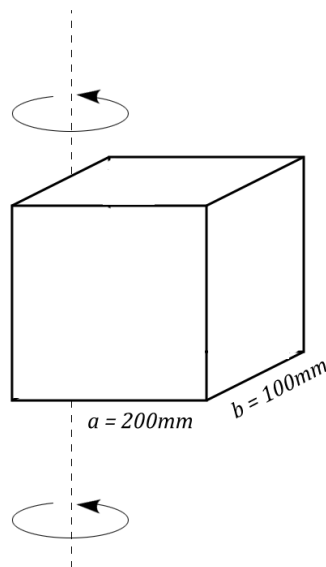
$$\text{forhold}_{pitch} = (I_L/n^2)/I_m = (0,01923\text{kgm}^2/20^2)/250 * 10^{-8}\text{kgm}^2 = 19,23$$

(Ve-Tek-Mat.51)

Dette forholdet resulterer i at dette motorvalget vil fungere basert på disse analysene.

### Ve-Tek.6.8 Dimensjonering av akse 2: Yaw

I dette kapittelet vil motordimensjonering og beregninger for akse 2 (Yaw) presenteres. Dette er den nest nederste akselen og dens funksjon er å rotere kniven (inkludert pitch-motor og festemekanismer) om den vertikale Z-aksen. Siden dette er en rotasjonsakse er man igjen avhengig av massen som roteres og dens trehetsmoment om rotasjonsaksen. Som for pitch ble et preliminært motorvalg foretatt basert på antagelser om legemets størrelse og masse. Disse antagelsene presenteres nedenfor, før endelig verdi for trehetsmomentet presenteres basert på endelig Solidworks-modell.



**Ve-Tek-Fig.54:** Rotasjonsakse for trehetsmoment, akse 2, yaw

For å estimere trehetsmomentet ble det tatt utgangspunkt i at legemet er en kube (som for pitch), slik som i Ve-Tek-Fig.54. Rotasjonsaksen er her vertikal, som resulterer i at tyngdekraften ikke har noen påvirkning på rotasjonsbevegelsen.

Målene  $a$ ,  $b$  og  $d$  for dette legemet ble funnet med nåværende Solidworks-modell. Massen ble estimert til 6kg, og inkluderer kniv og motorer for den nederste aksene, samt festemekanismer, ledninger osv.

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{1}{12}M(a^2 + b^2) + Md^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 6kg [(0,20m)^2 + (0,100m)^2] + 6kg (0,04m)^2 && \text{(Ve-Tek-Mat.52)} \\ &= 0,0346kgm^2 \end{aligned}$$

Treghetsmomentet som ble funnet med endelig Solidworks-modell er  $0,06kgm^2$ . Denne gangen var det ikke nødvendig å tilnærme dette som en punktmasse ettersom tyngdekraften ikke vil ha noen innvirkning på bevegelsen.

Det mekaniske systemet ble igjen definert i Sizer til å være en roterende enhet. Denne gangen med en vinkel på  $180^\circ$  slik at det som roterer henger under aksene. Bevegelsen og tidene for denne aksene ble satt inn i følgende figur basert på tall fra seksjonene Ve-Tek.6.2 og Ve-Tek.6.3.

		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13
Entries		$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	$\varphi, t \rightarrow \alpha \dots$	$p (= \text{pause})$	
Direction		Forward, ...		Backwar...		Forward, ...		Backwar...		Forward, ...		Backward,...		
<b>Default values</b>														
Traversing angle	deg »	90,00		90,00		90,00		90,00		90,00		90,00		
Travel time	s »	0,39600		0,17500		0,17500		0,18700		0,23700		0,20900		
Acceleration time	s »													
Deceleration time	s »													
Pause time	s »		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000	
Velocity	rad/s »													
Acceleration	1/s <sup>2</sup> »													
Deceleration	1/s <sup>2</sup> »													
<b>Load values</b>														
Additional torque	Nm »													
Additional inertia	kg m <sup>2</sup> »													
Additional only for constan...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brake during pause		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Angle of add. mass point	deg »													
Clearance to the add. mas...	m »													
Mass of add. mass point	kg »													
<b>Attained values</b>														
Max. velocity	rad/s »	7,933		17,952		17,952		16,800		13,256		15,032		
Max. acceleration	1/s <sup>2</sup> »	6,38		32,65		32,65		28,60		17,80		22,89		
Max. deceleration	1/s <sup>2</sup> »	6,38		32,65		32,65		28,60		17,80		22,89		
Travel time	s »	0,39600		0,17500		0,17500		0,18700		0,23700		0,20900		
~ Acceleration	s »	0,19800		0,08750		0,08750		0,09350		0,11850		0,10450		
~ Constant speed	s »	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		
~ Deceleration	s »	0,19800		0,08750		0,08750		0,09350		0,11850		0,10450		

Ve-Tek-Fig.55: Definert bevegelse for yaw i Sizer

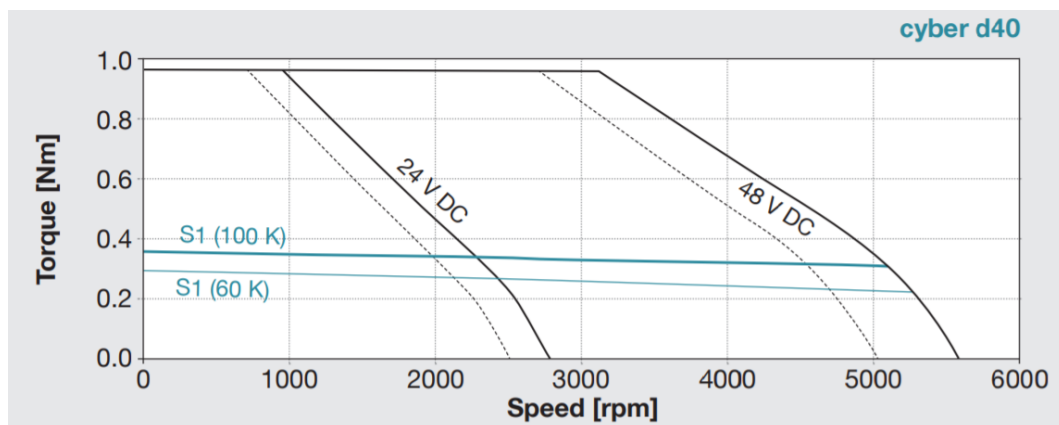
Resulterende akselerasjon for Yaw-aksen ble da:

$$\alpha_{yaw} = 205 \text{ rad/s}^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.53})$$

Det neste steget var å velge girutveksling og få motorparametre. Uten ekstern girutveksling ble de resulterende parametrene:

$$\begin{aligned} \tau_{effective,yaw} &= 7,30 \text{ Nm} \\ \omega_{mean,yaw} &= 45,48 \text{ rpm} \\ \tau_{peak,yaw} &= 13,68 \text{ Nm} \\ \text{at } \omega_{peak,yaw} &= 171,43 \text{ rpm} \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.54})$$

Valgt motor for å drive yaw er "Cyber d40" fra produsent Wittenstein [45] som er samme motor som for pitch, se bilde i figur Ve-Tek-Fig.53. En av fordelene med dette er at det vil kunne bestilles tre slike motorer per aksystem i stedet for å måtte bestille fra ulike produsenter. For denne aksen er det nødvendig å benytte to slike motorer for å drive aksen. Disse har et maksimalt dreiemoment på  $8 \text{ Nm}$  og i den verste delen av bevegelsen krever systemet et dreiemoment på  $13,68 \text{ Nm}$  ved  $171,43 \text{ rpm}$ . Dette vil ikke være veldig overdimensjonert, men tallene er basert på maksimalt utslag for denne aksen mellom hver flekk. Som kan sees i Ve-Tek-Fig.56 synker ikke dreiemomentet nevneverdig med økende rotasjonshastighet. Det er derfor rimelig å anta at disse motorene vil fungere ved antatt tilfelle.



Ve-Tek-Fig.56: Operasjonsgraf for Cyber d40 [43]

Figuren viser operasjonsgrafen uten påmontert girutveksling. Dreiemomentene og rotasjonshastighetene på aksene må derfor skaleres i henhold til girutvekslingen.

Trehetsmomentet til lasten er  $0,06kgm^2$ , girforholdet er på 20 og trehetsmomentet til motorenes rotor er  $250 * 10^{-8}kgm^2$  [45]. Følgende er utregningen for trehetsmomentsforholdet med innsatte verdier i likning Ve-Tek-Mat.45:

$$forhold_{yaw} = (I_L/n^2)/I_m = (0,06kgm^2/20^2)/2 * 250 * 10^{-8}kgm^2 = 30$$

(Ve-Tek-Mat.55)

Trehetsmomentet til motoren er doblet ettersom det er to motorer som driver samme akse. Forholdet er innenfor rimelighetens grenser. Dette forholdet resulterer i at dette motorvalget vil fungere basert på disse analysene.

### Ve-Tek.6.9 Dimensjonering av akse 3: X

I dette kapittelet vil motordimensjonering for akse 3 (X) presenteres. Dette er den innerste av de lineære aksene, og dens funksjon er å drive løperen frem og tilbake langs rullebåndets retning. Løperen inneholder hele mekanismen for pitch og yaw, samt selve løperen med hjul etc. Dette er ikke en rotasjonsakse. For å definere det fysiske systemet i Sizer er det derfor ikke nødvendig å beregne trehetsmomenter. Det er massen til løperen og alt som er festet på denne som har betydning for bevegelsen. Løperen drives med bånddrift, der motoren er plassert på den ene enden av en skinne. Motoren vil ikke være med på denne aksens bevegelse. Løperen vil rulle frem og tilbake langs en skinne. Med antagelsen om at drivhjulet har en diameter på  $80mm$  kan dette systemet defineres i Sizer. Vekten på det som flyttes er satt til  $18kg$  med tall fra Solidworks-modellen. Intern masse i båndet er antatt til  $1kg$  for å være på den sikre siden.

Bevegelsen og tidene for denne aksen er som definert i Ve-Tek.6.2 og Ve-Tek.6.3. Dette er satt inn i Sizer som følgende.



		Section 1	Section 2
Entries		s, t -> a ...	t, v, ab, a...
Direction		Backwar...	Forward, ...
<b>Default values</b>			
Traversing distance	m »	0,610000	0,064111
Travel time	s »	0,36800	0,15600
Acceleration time	s »		
Deceleration time	s »		
Pause time	s »		0,00000
Velocity	m/s »		0,500
Acceleration	m/s <sup>2</sup> »		18,00000
Deceleration	m/s <sup>2</sup> »		18,00000
<b>Load values</b>			
Additional force	N »		0,000
Additional mass	kg »		0,000
Additional only for constan...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brake during pause		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Attained values</b>			
Max. velocity	m/s »	3,315	0,500
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup> »	18,01749	18,00000
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup> »	18,01749	18,00000
Travel time	s »	0,36800	0,15600
~ Acceleration	s »	0,18400	0,02778
~ Constant speed	s »	0,00000	0,10044
~ Deceleration	s »	0,18400	0,02778
<b>Jerk limitation</b>			
Max. accel. jerk	m/s <sup>3</sup> »		
Max. decel. jerk	m/s <sup>3</sup> »		
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup> »		
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup> »		

Ve-Tek-Fig.57: Definert bevegelse for X-aksen i Sizer

Som nevnt i Ve-Tek.6.3 kan ikke X-aksebevegelsen enkelt defineres. Det er derfor tatt utgangspunkt i det tilfellet der systemet må ha maksimal akselerasjon/dreiemoment ved toppfarten siden det er dette som er den begrensende faktoren for en elektrisk motor [46].

Akselerasjonen for X-aksen er

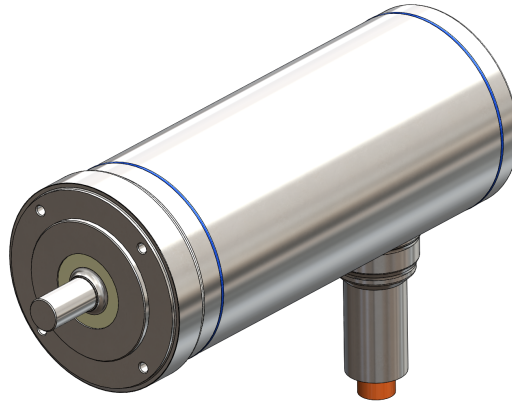
$$a_x = 18m/s^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.56})$$

som funnet i seksjon Ve-Tek.6.1.

Det neste steget var å velge girutveksling. Uten gir måtte motoren kunnet levere 15,21Nm ved 791,45rpm. Det er enklere å finne hygieniske motorer som kan levere en høyere rotasjonshastighet og lavere dreiemoment. Girutvekslingen vil derfor gire opp dreiemomentet og ned rotasjonshastigheten fra en eventuell motor.

Med et girforhold på 5:1 blir motorkravene:

$$\begin{aligned}\tau_{effective,x} &= 2,49Nm \\ \omega_{mean,x} &= 1535,61rpm \\ \tau_{peak,x} &= 3,04Nm \\ \text{at } \omega_{peak,x} &= 3957,25rpm\end{aligned}\quad (\text{Ve-Tek-Mat.57})$$



**Ve-Tek-Fig.58:** Kollmorgen AKMH32

Valgt motor for å drive X-aksen er "AKMH32E - CNWNGFXK" fra produsent Kollmorgen [47] som vist i figur Ve-Tek-Fig.58. Denne motoren har kapslingsgraden IP69K som tilfredsstiller kravet. Motoren har et maksimalt dreiemoment på  $8,24Nm$ . "Rated-verdi" for dreiemomentet kan bli en del lavere enn dette ved de hastighetene som motoren skal operere med. Motoren kan levere godt over det dreiemomentet som kreves ved korte intervaller. Tilfellet der X-aksen når sin topphastighet er kun når den starter på den ene siden av arbeidsområdet og mellom inflekken på den andre siden. Dette er et tilfelle som i praksis sjeldent vil oppstå. Motoren regnes derfor for å være tilstrekkelig for å drive denne aksen. Valgt gir er "AQT-060-005-0-MMR-725". Vekt på motoren er  $5,4kg$  med "face-mounting", og giret veier  $2,4kg$ . Total vekt for X-akse motoren blir da  $7.8kg$

Treghetsmomentet til lasten består at treghetsmomentet til drivhjulet for beltet, i tillegg til det treghetsmomentet lasten som er festet på beltet påvirker drivhjulet med. Det er gjort en tilnærming der massen  $M = 18kg$  til det som forflyttes er festet som en punktmasse på toppen av drivhjulet. Med en radius på  $80mm/2 = 40mm$  for drivhjulet blir treghetsmomentet til lasten:

$$I_L = I_{drivhjul} + Mr^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.58})$$

Siden treghetsmomentet til drivhjulet er ekstremt lite i forhold til treghetsmomentet som oppstår grunnet massen blir denne neglisjert som følgende:

$$I_L = Mr^2 = 18kg * (0,04)^2 = 0,0288kgm^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.59})$$

Treghetsmomentet til motorens rotor er  $5,9 * 10^{-5}kgm^2$  [47]. Med et girforhold på 5 og lasttreghetsmomentet beregnet ovenfor blir treghetsmomentsforholdet som følgende med innsatte verdier i likning Ve-Tek-Mat.45:

$$forhold_x = (I_L/n^2)/I_m = (0,0288kgm^2/5^2)/5,9 * 10^{-5}kgm^2 = 19,5 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.60})$$

Siden beltet både er stivt, solid og stramt antas systemet som rigid nok til at dette forholdet kan godtas selv om det i utgangspunktet er relativt [91].

Med høye girforhold er det også mulig å benytte motordriveren (AKD i dette tilfellet) for å stille inn (tune) systemet. Systemet må stilles inn på en slik måte at forsterkningsmarginen og fasemarginen blir så stor at systemet ikke blir ustabil selv med et girforhold som i utgangspunktet er for høyt [92]. Når systemer analyseres basert på frekvensrespons er det fasemarginen og forsterkningsmarginen som har betydning for om systemet er stabilt eller ikke [62]. For å stille inn systemet kan det benyttes programvare fra Kollmorgen, "Performance Servo Tuner", med fremgangsmetoden som beskrevet på deres nettside [93].

**Ve-Tek.6.10 Dimensjonering av akse 4: Y**

I dette kapitlet vil motordimensjonering for akse 4 (Y) presenteres. Dette er den nest ytterste aksene, og dens funksjon er å flytte verktøyet på tvers av rullebåndet. Denne aksene må flytte skinnen som løperen for X-aksene ruller langs i tillegg til selve løperen og alt som er fastmontert på denne. Som for X-aksene er dette ikke en rotasjonsakse. Det fysiske systemet er definert som en lineær akse, der diameteren på drivhjulet som er montert på motorens rotor er på  $80\text{mm}$ . Vekten på det fysiske systemet er definert til å være på  $64\text{kg}$  med tall fra Solidworks-modellen. Dette inkluderer løperen med alt som er fastmontert i tillegg til skinnene som X-aksene løper langs og motoren som driver X-aksene. Intern masse i drivløsningen er satt til  $1\text{kg}$ .

Bevegelsen og tidene for denne aksene er som definert i Ve-Tek.6.2 og Ve-Tek.6.3. Dette er satt inn i Sizer som følgende.

		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12
Entries		s, t → a ...	p (= pause)	s, t → a ...	p (= pause)	s, t → a ...	p (= pause)	s, t → a ...	p (= pause)	s, t → a ...	p (= pause)	s, t → a (...)	p (= pause)
Direction		Forward, ...		Backwar...		Forward, ...		Backwar...		Forward, ...		Backward...	
<b>Default values</b>													
Traversing distance	m »	0,300000		0,300000		0,300000		0,300000		0,300000		0,300000	
Travel time	s »	0,39600		0,17500		0,17500		0,18700		0,23700		0,20900	
Acceleration time	s »												
Deceleration time	s »												
Pause time	s »		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000		0,10000
Velocity	m/s »												
Acceleration	m/s <sup>2</sup> »												
Deceleration	m/s <sup>2</sup> »												
<b>Load values</b>													
Additional force	N »												
Additional mass	kg »												
Additional only for constan...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brake during pause		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Attained values</b>													
Max. velocity	m/s »	1,515		3,429		3,429		3,209		2,532		2,871	
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup> »	7,65228		39,18367		39,18367		34,31611		21,36410		27,47190	
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup> »	7,65228		39,18367		39,18367		34,31611		21,36410		27,47190	
Travel time	s »	0,39600		0,17500		0,17500		0,18700		0,23700		0,20900	
~ Acceleration	s »	0,19800		0,08750		0,08750		0,09350		0,11850		0,10450	
~ Constant speed	s »	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
~ Deceleration	s »	0,19800		0,08750		0,08750		0,09350		0,11850		0,10450	
<b>Jerk limitation</b>													
Max. accel. jerk	m/s <sup>3</sup> »												
Max. decel. jerk	m/s <sup>3</sup> »												
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup> »												
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup> »												

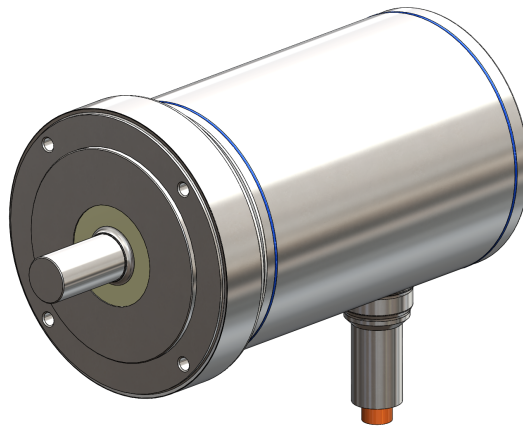
Ve-Tek-Fig.59: Defineret bevegelse for Y-aksen i Sizer

Resulterende akselerasjon for Y-aksen ble da:

$$a_y = 39m/s^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.61})$$

Det neste steget var å velge girutveksling. Uten gir måtte motoren(e) kunnet levere 113,20Nm ved 818,51rpm til sammen. Dette er et veldig høyt dreiemoment for hva som eksisterer av hygieniske motorer. Det er derfor valgt å bruke en girutveksling på 5:1 i girforhold. Da blir motorkravene:

$$\begin{aligned} \tau_{effective,y} &= 12,09Nm \\ \omega_{mean,y} &= 1085,70rpm \\ \tau_{peak,y} &= 22,64Nm \\ \text{at } \omega_{peak,y} &= 4092,56rpm \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.62})$$



**Ve-Tek-Fig.60:** Kollmorgen AKMH52

Valgt motor for å drive Y-aksen er: "AKMH52H - CNWNGFXK" fra produsent Kollmorgen [48] som vist i figur Ve-Tek-Fig.60. Denne motoren har kapslingsgraden IP69K. Det er valgt å benytte to stykker for å oppnå høyt nok dreiemoment (kravet per motor kan halveres når det benyttes to motorer). Kravet til effektivt dreiemoment per motor blir da  $12,09Nm/2 = 6,045Nm$  ved 1085,70rpm. Disse motorene kan levere et nominelt dreiemoment på 5,32Nm ved 1800rpm. Ved de rotasjonshastighetene systemet normalt skal operere med vil disse motorene være tilstrekkelige. Over kortere intervaller kan motorene levere helt opp mot 29,1Nm.

Tilfellet for bevegelsen som det tas utgangspunkt i er regnet som tidligere diskutert regnet som worst-case for Y-aksen basert på tidene gitt av X-bevegelsen. Det er derfor lite sannsynlig at systemet må operere som definert i Ve-Tek-Fig.59 kontinuerlig over tid. Disse motorene blir derfor regnet for å være tilstrekkelige for å drive systemet.

De valgte motorene veier  $13,6\text{kg}$  med "face-mounting" per stykk. Valgt gir er "AQT-120-005-0-MMR-727" som har en utveksling på 5:1. Hvert gir veier  $12\text{kg}$ . Total vekt for disse motorene blir  $51,2\text{kg}$

Tilnærminger for treghetsmomentet lasten påvirker motorens rotor med er gjort tilsvarende som i forrige seksjon for X-aksen. Tilnærmingen for massen som forflyttes er igjen utført med antagelsen om at den er en punktmasse som påvirker treghetsmomentet til lasten. Massen er satt til  $64\text{kg}$  med tall fra Solidworks-modellen. Med en radius på drivhjulet på  $80\text{mm}/2 = 40\text{mm}$  blir treghetsmomentet til lasten:

$$I_L = Mr^2 = 64\text{kg} * (0,04)^2 = 0,1024\text{kgm}^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.63})$$

Siden det er to motorer som driver Y-aksen blir denne lasten fordelt på to motorer. Per motor blir lasttreghetsmomentet da  $0,1024\text{kgm}^2/2 = 0,0512\text{kgm}^2$ .

Treghetsmomentet til motorens rotor er  $6,22 * 10^{-4}\text{kgm}^2$  [47]. Med et girforhold på 5 og lasttreghetsmomentet per motor som beregnet ovenfor blir treghetsmomentsforholdet som følgende med innsatte verdier i likning Ve-Tek-Mat.45:

$$\text{forhold}_y = (I_L/n^2)/I_m = (0,0512\text{kgm}^2/5^2)/6,22 * 10^{-4}\text{kgm}^2 = 3,3 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.64})$$

Dette forholdet er tilnærmet ideelt.

### Ve-Tek.6.11 Dimensjonering av akse 5: Z

I dette kapitlet vil motordimensjonering for akse 5 (Z) presenteres. Dette er den ytterste aksene, og dens funksjon er å flytte systemet opp og ned. Denne aksene må flytte alle de andre aksene. Motorene for Z-aksene skal være stillestående og det er derfor mulig for disse motorene å ha ganske høy masse, og dermed også høyt dreiemoment. Som for både X- og Y-aksene er dette en lineær akse. Det fysiske systemet ble definert som et system med lineær bevegelse der drivhjulsdiameteren er  $120\text{mm}$ .

Massen til det fysiske systemet ble definert til å være på 200,248kg med verdier fra Solidworks-modellen. Massen inkluderer alle de indre aksene inkludert motorer, festemekanismer osv. for disse. Intern masse i bånddriften ble satt til 1,5kg. Et ekstra treghetsmoment fra stengene som motorene er festet på ble satt til 0,036kgm<sup>2</sup> basert på verdier fra Solidworks-modellen. Systemet ble satt til å være vertikalt, slik at gravitasjonsens påvirkning på massen også tas med i betraktningen.

Bevegelsen og tidene for Z-aksen er som definert i Ve-Tek.6.2 og Ve-Tek.6.3. Dette er satt inn i Sizer som følgende.

		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8
Entries		s, t -> a ...	p (= pause)	s, t -> a ...	s, t -> a ...	p (= pause)	s, t -> a ...	s, t -> a ...	p (= pause)
Direction		Backwar...		Forward, ...	Backwar...		Forward, ...	Backwar...	
<b>Default values</b>									
Traversing distance	m »	0,090000		0,090000	0,090000		0,090000	0,090000	
Travel time	s »	0,39600		0,08750	0,08750		0,08750	0,08750	
Acceleration time	s »								
Deceleration time	s »								
Pause time	s »		0,10000			0,10000			0,10000
Velocity	m/min »								
Acceleration	m/s <sup>2</sup> »								
Deceleration	m/s <sup>2</sup> »								
<b>Load values</b>									
Additional force	N »								
Additional mass	kg »								
Additional only for constan...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brake during pause		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Attained values</b>									
Max. velocity	m/min »	27,27		123,43	123,43		123,43	123,43	
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup> »	2,29568		47,02041	47,02041		47,02041	47,02041	
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup> »	2,29568		47,02041	47,02041		47,02041	47,02041	
Travel time	s »	0,39600		0,08750	0,08750		0,08750	0,08750	
~ Acceleration	s »	0,19800		0,04375	0,04375		0,04375	0,04375	
~ Constant speed	s »	0,00000		0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	
~ Deceleration	s »	0,19800		0,04375	0,04375		0,04375	0,04375	
<b>Jerk limitation</b>									
Max. accel. jerk	m/s <sup>3</sup> »								
Max. decel. jerk	m/s <sup>3</sup> »								
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup> »								
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup> »								

Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13	Section 14	Section 15	Section 16	Section 17
s, t -> a ...	s, t -> a (...)	p (= pause)	s, t -> a (...)	s, t -> a (...)	p (= pause)	s, t -> a (...)	s, t -> a (...)	p (= pause)
Forward, ...	Backward, ...		Forward, up	Backward, ...		Forward, up	Backward, ...	
0,090000	0,090000		0,090000	0,090000		0,090000	0,090000	
0,09350	0,09350		0,11850	0,11850		0,10450	0,10450	
		0,10000			0,10000			0,10000
115,51	115,51		91,14	91,14		103,35	103,35	
41,17933	41,17933		25,63692	25,63692		32,96628	32,96628	
41,17933	41,17933		25,63692	25,63692		32,96628	32,96628	
0,09350	0,09350		0,11850	0,11850		0,10450	0,10450	
0,04675	0,04675		0,05925	0,05925		0,05225	0,05225	
0,00000	0,00000		0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	
0,04675	0,04675		0,05925	0,05925		0,05225	0,05225	

Ve-Tek-Fig.61: Definert bevegelse for Z-aksen i Sizer

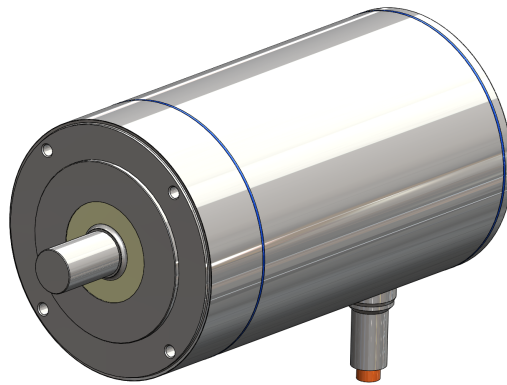


Resulterende akselerasjon for Z-aksen ble da:

$$a_z = 47m/s^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.65})$$

Det neste var igjen å velge girutveksling. Uten gir måtte motoren(e) kunnet levere  $795,66Nm$  ved  $327,40rpm$ . Det er derfor valgt å innføre en girutveksling på 5:1. Da blir kravene:

$$\begin{aligned} \tau_{effective,z} &= 74,23Nm \\ \omega_{mean,z} &= 398,09rpm \\ \tau_{peak,z} &= 159,13Nm \\ \text{at } \omega_{peak,z} &= 1637,02rpm \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.66})$$



**Ve-Tek-Fig.62:** Kollmorgen AKMH64

Valgt motor for drive Z-aksen er da: "AKMH64K - CNW2GFXK" fra produsent Kollmorgen [48] som vist i figur Ve-Tek-Fig.62. Denne motoren har også kapslingsgraden IP69K. Det er valgt å benytte fire stykker for å oppnå høyt nok dreiemoment. Kravet til effektivt dreiemoment per motor blir da  $74,23Nm/4 = 18,56Nm$  ved  $398,09rpm$ . Disse motorene kan levere et nominelt dreiemoment på  $17,1Nm$  ved  $1200rpm$ . Ved den lavere rotasjonshastigheten systemet effektivt må arbeide ved vil motorene være tilstrekkelige (som nevnt tidligere blir dreiemomentet større ved lavere hastigheter [46]) Over kortere intervaller kan motorene levere helt opp mot  $75,1Nm$ . Det er lite sannsynlig at systemet må operere som definert i Ve-Tek-Fig.61 kontinuerlig over tid, men motorene kan altså levere mer enn nok dreiemoment ved kortere intervaller dersom dette kreves.

De valgte motorene veier  $29,2\text{kg}$  per motor (med face-mounting). Valgt gir er "AQT-160-005-0-MMR-728" som har en utveksling på 5:1. Hvert gir veier  $24,8\text{kg}$ . Siden denne akselen er vertikal er det valgt å bruke "holding brake". Dette er et bremsesystem som holder systemet på plass mens det står stille [49]. Dette brukes på den vertikale Z-aksen for at denne skal kunne holdes på plass i en høyde uten å falle ned. Hver brems veier  $3,5\text{kg}$ . Total vekt for disse fire motorene blir da  $230\text{kg}$ . Denne vekten kan i utgangspunktet høres veldig mye ut, men som tidligere nevnt vil disse motorene stå fastmontert. Disse vil derfor ikke påvirke hvor store krefter som må brukes for å drive systemet.

Igjen blir treghetsmomentsforholdet regnet ut som for X- og Y-aksene. Massen er nå satt til  $200,248\text{kg}$ . Med en radius på drivhjulet på  $120\text{mm}/2 = 60\text{mm}$  blir treghetsmomentet til lasten:

$$I_L = Mr^2 = 200,248\text{kg} * (0,06)^2 = 0,721\text{kgm}^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.67})$$

Siden det er to motorer som driver Z-aksen blir denne lasten også fordelt på to motorer. Per motor blir lasttreghetsmomentet da  $0,721\text{kgm}^2/4 = 0,180\text{kgm}^2$ .

Treghetsmomentet til motorens rotor er  $3,16 * 10^{-3}\text{kgm}^2$  [47]. Med et girforhold på 5 og lasttreghetsmomentet per motor som beregnet ovenfor blir treghetsmomentsforholdet som følgende med insatte verdier i likning Ve-Tek-Mat.45:

$$\text{forhold}_z = (I_L/n^2)/I_m = (0,180\text{kgm}^2/5^2)/3,16 * 10^{-3}\text{kgm}^2 = 2,3. \quad (\text{Ve-Tek-Mat.68})$$

Dette forholdet er tilnærmet ideelt.

### **Ve-Tek.6.12 Motorvalg med tanke på hygienisk design**

I dette kapittelet vil motorvalgene diskuteres med tanke på hygienisk design.

Det er valgt å begrense antallet produsenter for valgte motorer. Dette vil være en fordel med tanke på bestilling for å gjøre dette enklere. Cyber-serien til Wittenstein er en fordel å benytte der små og lette motorer er ønskelig. Disse ble derfor benyttet for de to innerste rotasjonsaksene. AKMH-serien til Kollmorgen er både større, tyngre og kan levere høyere dreiemomenter ved de hastighetene systemet skal operere ved enn Cyber-motorene. Det er derfor valgt å benytte motorer fra denne serien for å drive de tre kartesiske aksene som må flytte mer masse enn rotasjonsaksene.

Alle motorene som er valgt for systemet har kapslingsgraden IP69K. Ifølge kravspesifikasjonen kunne IP67-motorer ha blitt benyttet. AKM-serien til Kollmorgen har kapslingsgraden IP67 og disse er både washdown- og foodgrade-godkjent [50]. Motorene i AKM-serien har en mye lavere vekt enn tilsvarende kraftige motorer i AKMH-serien. Det kunne derfor tenkes at disse motorene hadde passet bedre til et system som skal bevege seg med de akselerasjonene som RoboTrim skal operere med. Et av problemene med AKM-serien er at disse har et epoxy-belegg. Dette belegget kan teoretisk skalle av etter høytrykksvask. Dette måtte derfor ha blitt spesifisert i vaskeprosedyrene for systemet (AKM-motorene kunne ikke blitt vasket med 80BAR vanntrykk som IP69K motorer kan).

Det kunne likevel tenkes at AKM-motorene kunne ha blitt benyttet på steder i systemet der motorene ikke trenger å være plassert direkte over maten. Dette kunne f.eks. vært en løsning for Y- og Z-aksene. Det har likevel vist seg å være vanskelig å finne hygieniske girutvekslinger som passet til disse motorene. Valget falt derfor likevel på AKMH-serien til Kollmorgen. Bakdelen med disse er at vekten øker, som igjen øker kravet til dreiemoment for motorene som kommer utenfor disse. Fordelen er at alle motorene, og det elektriske utstyret som er montert på aksesystemet har kapslingsgraden IP69K. Dette er den høyeste kapslingsgraden, og hele systemet vil derfor kunne vaskes etter normal IP69K-prosedyre.

Det er likevel mulig at fremtidig arbeid kan være å designe hygieniske girutvekslinger som passer til AKM-motorene. Dette kan redusere massen som er i bevegelse, samt den totale massen til systemet. Dersom AKM-motorene velges må det

derfor som nevnt spesifiseres i vaskeprosedyrene at disse motorene ikke kan vaskes med høytrykksvask som resten av systemet.

Det er valgt å kun bruke brems (holding-brake) på Z-aksen. En slik brems er ikke egnet for nødstopp av systemet, de er kun beregnet på å holde systemet i en gitt posisjon når motorene står stille eller er slått av [49]. Z-aksen er en vertikal akse. Det er dette som er grunnen til at det er valgt å bruke holding brake på denne. Når systemet skal vaskes er det nødt til å kunne beveges mens vasken pågår. Dette er for at delene med kontaktoverflater skal kunne flyttes for å komme til med vasking. For at Z-aksen skal kunne holdes på plass i en annen posisjon enn bunnposisjonen er det nødt til å brukes slike bremsere. Når systemet skal vaskes må derfor denne aksen f.eks. først stå i bunnposisjon når den øvre delen vaskes, og i en høyere posisjon for å vaske den nedre delen.

### Ve-Tek.6.13 Oversikt over valgte motorer

Tabellen er splittet for å passe på siden.

<b>Motorer og viktige parametre</b>			
<b>Akse</b>	<b>Pitch</b>	<b>Yaw</b>	<b>X</b>
<b>Motor</b>	Cyber d40	Cyber d40	AKMH32E
<b>Kode</b>	N/A	N/A	CNWNGFXK
<b>Produsent</b>	Wittenstein	Wittenstein	Kollmorgen
<b>Gir</b>	Innebygget	Innebygget	AQT-060-005-0-MMR-725
<b>Girforhold</b>	20:1	20:1	5:1
<b>Brems (holding)</b>	Nei	Nei	Nei
<b>Masse per enhet</b>	0,8kg	0,8kg	7,8kg
<b>IP-grad</b>	69K	69K	69K
<b>Antall</b>	1	2	1

**Ve-Tek-Tab.9:** Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.

<b>Motorer og viktige parametre</b>		
<b>Akse</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Motor</b>	AKMH52H	AKMH64K
<b>Kode</b>	CNWNGFXK	CNW2GFXK
<b>Produsent</b>	Kollmorgen	Kollmorgen
<b>Gir</b>	AQT-120-005-0-MMR-727	AQT-160-005-0-MMR-728
<b>Girforhold</b>	5:1	5:1
<b>Brems (holding)</b>	Nei	Ja
<b>Masse per enhet</b>	25,6kg	57,5kg
<b>IP-grad</b>	69K	69K
<b>Antall</b>	2	4

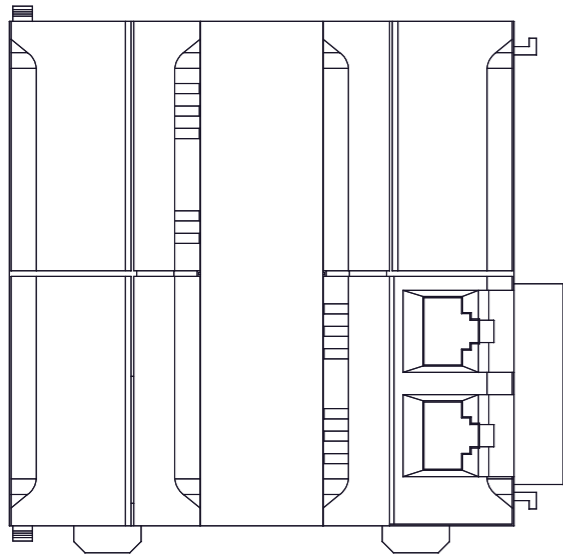
**Ve-Tek-Tab.10:** Tabell med valgte motorer og viktige parametre for disse.

**Ve-Tek.7 Oppkoblingsdiagram**

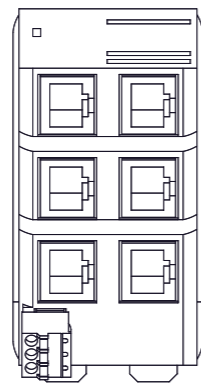
<b>Tegningnr.</b>	<b>Tittel</b>
1	Front layout 1
2	Front layout 2
3	EthernetIP/EtherCAT
4	Strømforsyning
5	PLS og HUB
6	Pitch
7	Yaw
8	X-akse
9	Y-akse
10	Z-akse 1
11	Z-akse 2

**Ve-Tek-Tab.11:** Oversikt: Oppkoblingsdiagram

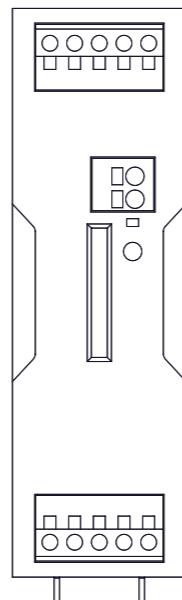
Omron NJ501-1300 (P2)



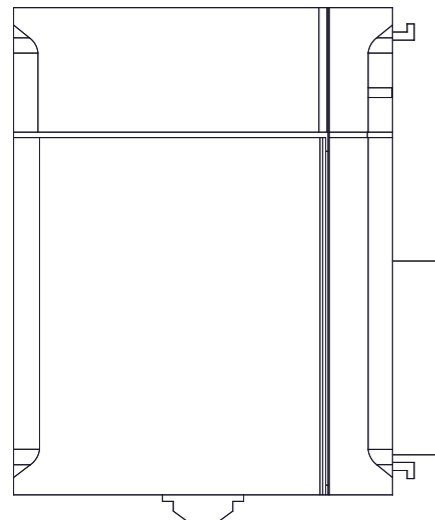
Omron GX-JC06 (S1)



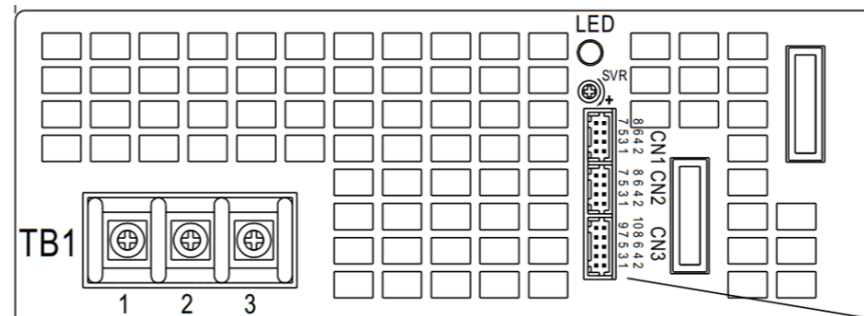
Omron S8VK-S24024 (U2)




Omron NJ-PA3001 (U1)



Mean Well RPS-3000-48 (U3)



Identifikator	Beskrivelse
P2	PLS
S1	HUB
U1	Forsyning 5V
U2	Forsyning 24V
U3	Forsyning 48V

Tegnet av: ØJCÅ	Godkjent av: TSV	Dato: 09.05.18
Tegningnr.: 1	Tegningstittel: Front_layout_1	

4

3

2

1

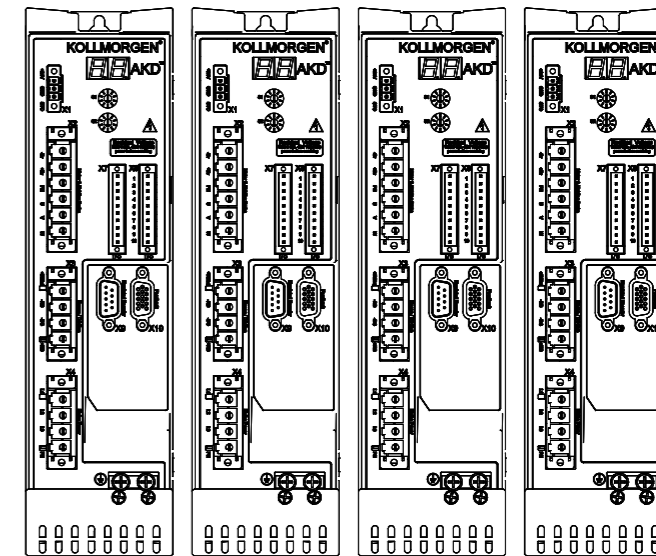
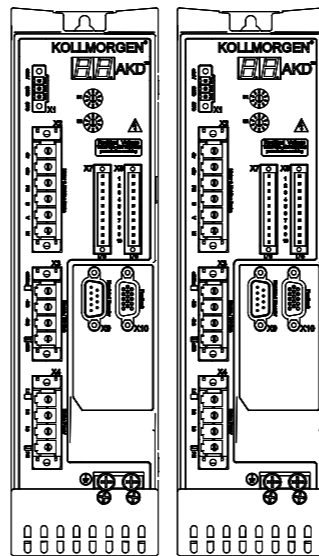
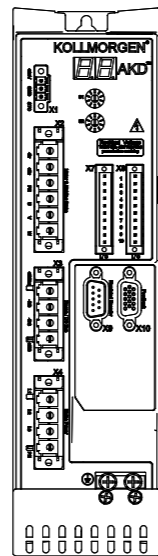
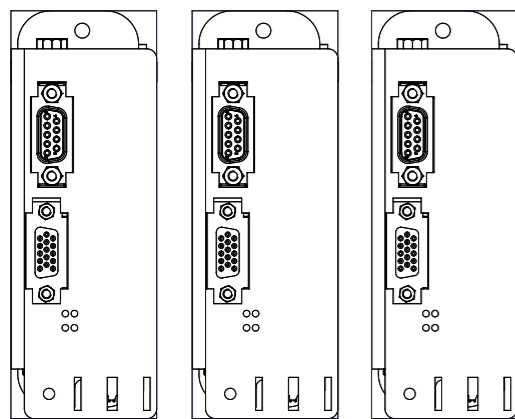
Wittenstein SIMCO SIM2010D-C (D1, D2, D3)

Kollmorgen AKD-P00607 (D4)

Kollmorgen AKD-P01207 (D5, D6)

Kollmorgen AKD-P02407 (D7, D8, D9, D10)

D



D

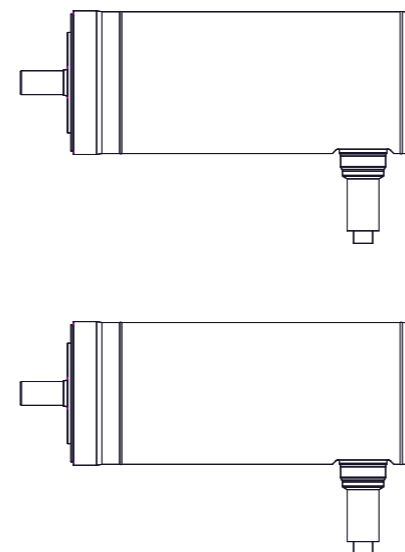
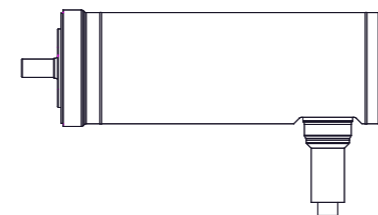
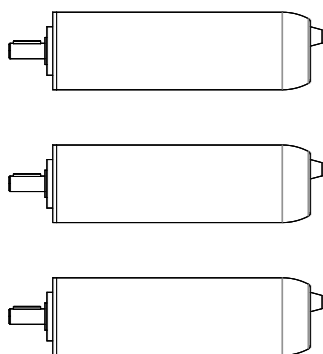
C

Wittenstein Cyber d40 (M1, M2, M3)

Kollmorgen AKMH32E (M4)

Kollmorgen AKMH52H (M5, M6)

C

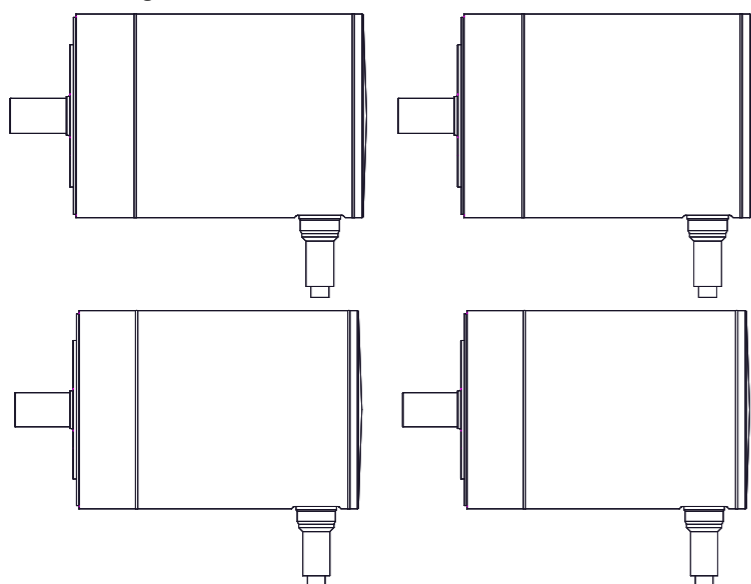


B

B

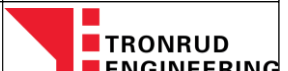
Kollmorgen AKMH64K (M7, M8, M9, M10)

A



A

Identifikator	Beskrivelse
D1-D3	Servodrive
D4	Servodrive
D5, D6	Servodrive
D7-D10	Servodrive
M1-M3	Servomotor
M4	Servomotor
M5, M6	Servomotor
M7-M10	Servomotor

Tegnet av: ØJCA	Godkjent av: TSV	Dato: 09.05.18
Tegningnr.: 2	Tegningstittel: Front_layout_2	

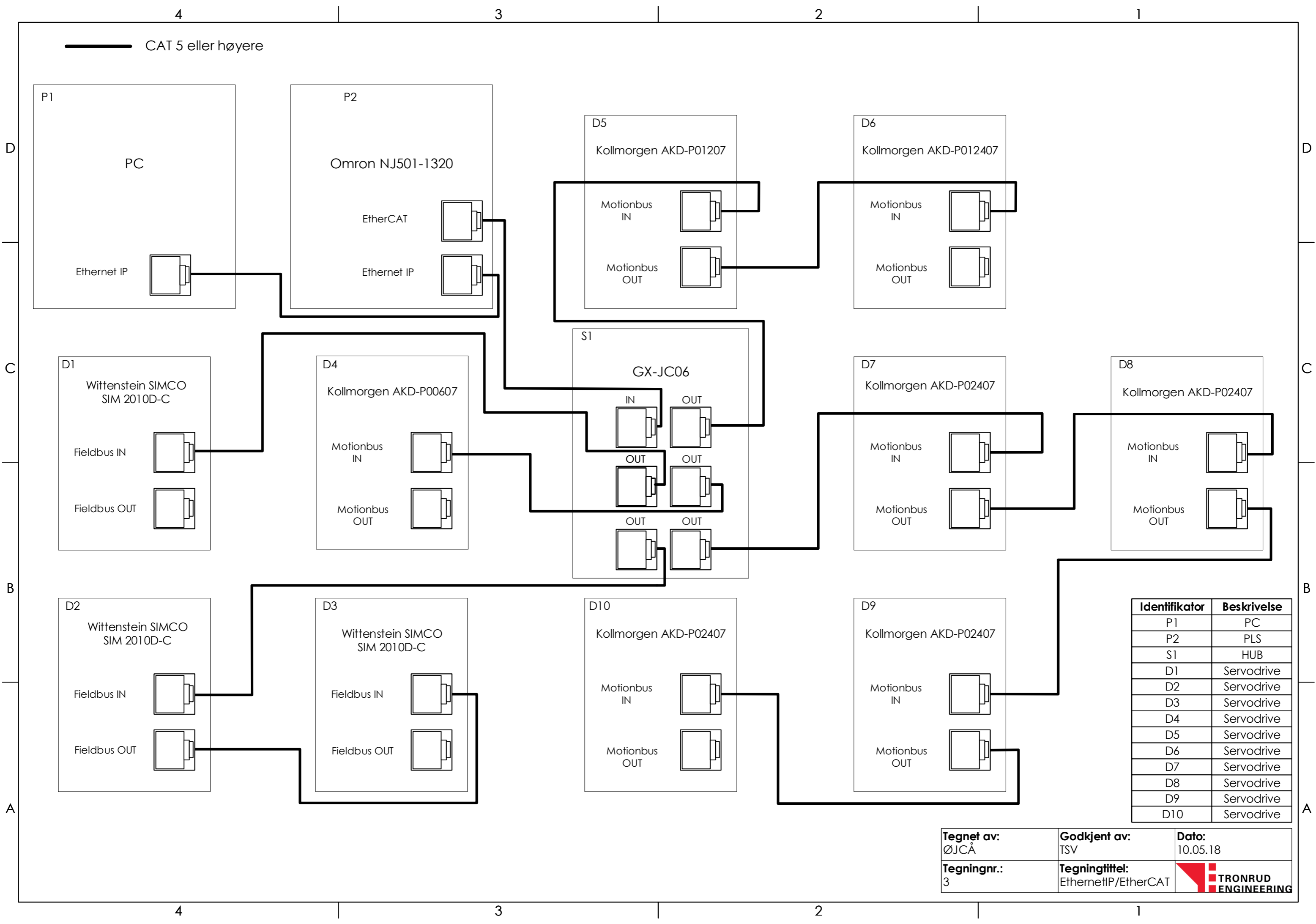
4

3

2

1





P1

PC

Ethernet IP

P2

Omron NJ501-1320

EtherCAT

Ethernet IP

D5

Kollmorgen AKD-P01207

Motionbus IN

Motionbus OUT

D6

Kollmorgen AKD-P012407

Motionbus IN

Motionbus OUT

D1

Wittenstein SIMCO SIM 2010D-C

Fieldbus IN

Fieldbus OUT

D4

Kollmorgen AKD-P00607

Motionbus IN

Motionbus OUT

S1

GX-JC06

IN

OUT

OUT

OUT

D7

Kollmorgen AKD-P02407

Motionbus IN

Motionbus OUT

D8

Kollmorgen AKD-P02407

Motionbus IN

Motionbus OUT

D2

Wittenstein SIMCO SIM 2010D-C

Fieldbus IN

Fieldbus OUT

D3

Wittenstein SIMCO SIM 2010D-C

Fieldbus IN

Fieldbus OUT

D10

Kollmorgen AKD-P02407

Motionbus IN

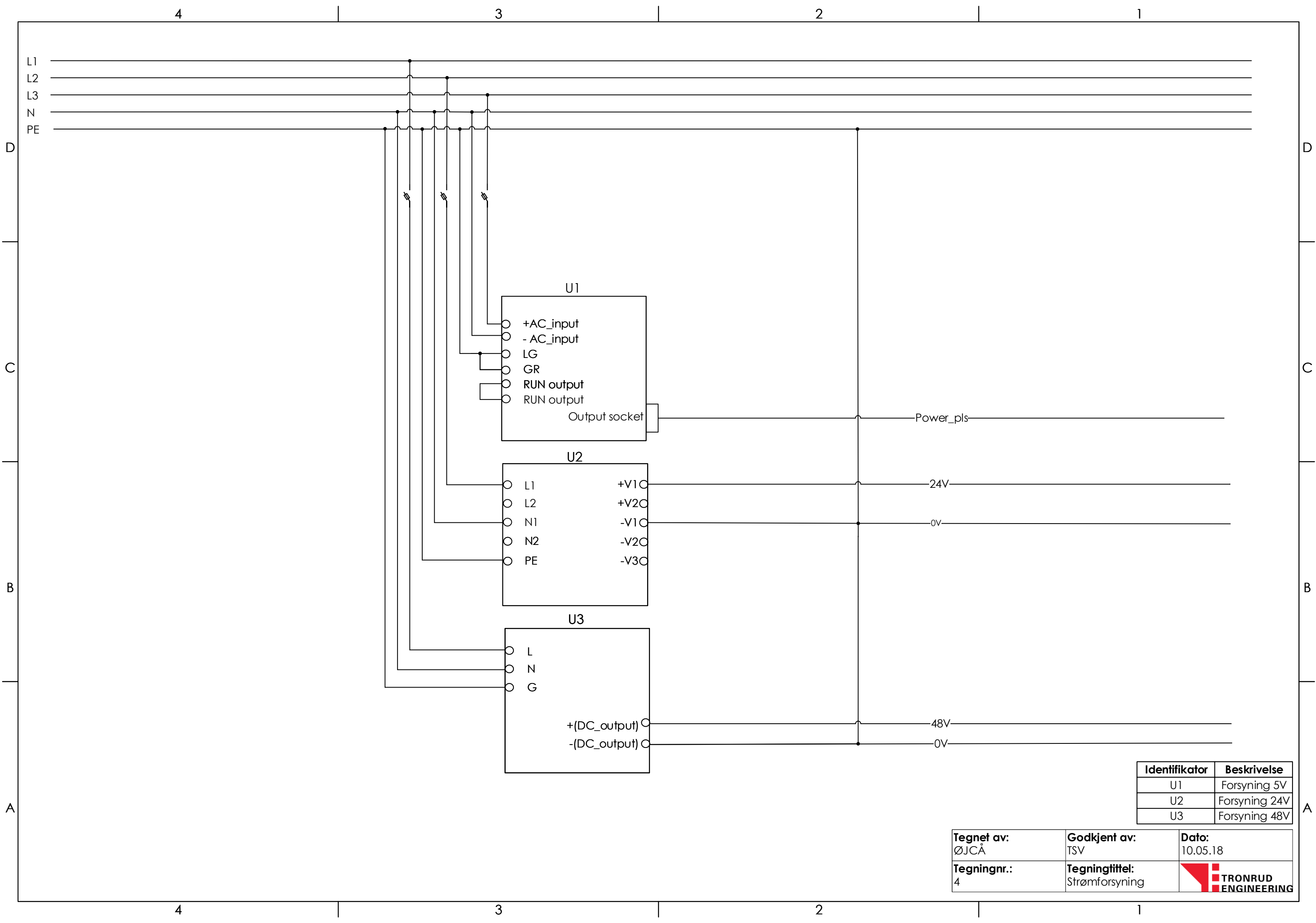
Motionbus OUT

D9

Kollmorgen AKD-P02407

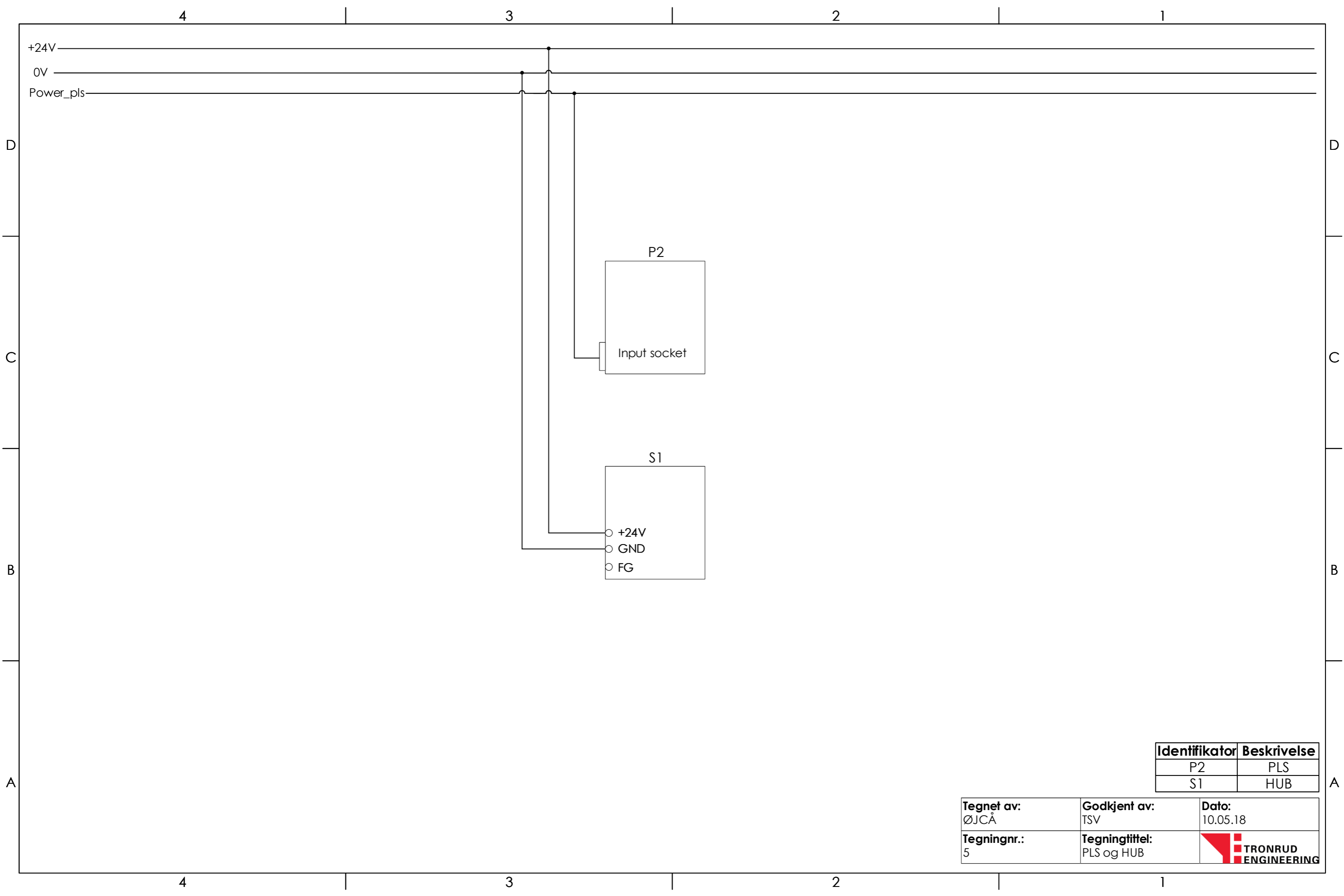
Motionbus IN

Motionbus OUT




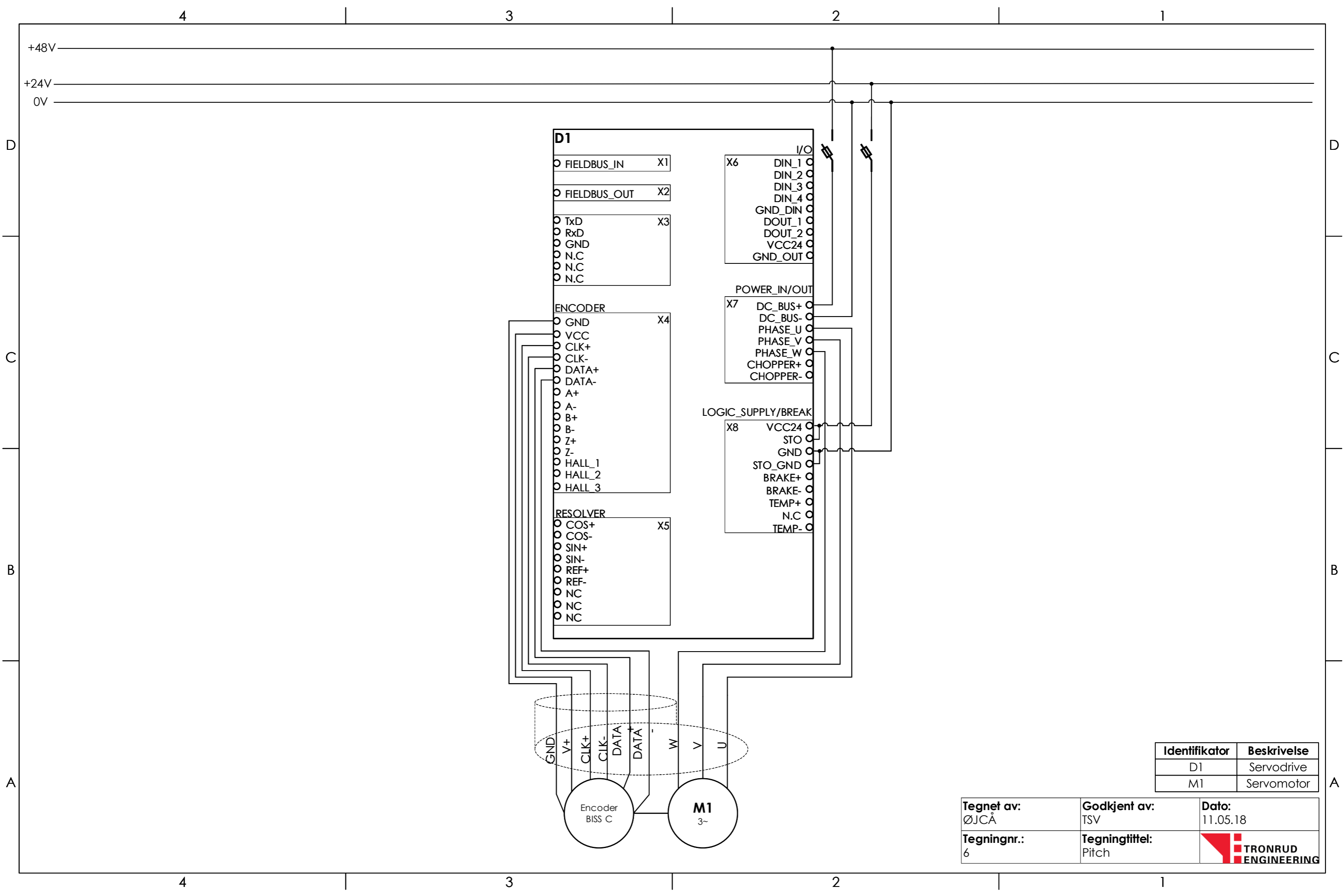
Identifikator	Beskrivelse
U1	Forsyning 5V
U2	Forsyning 24V
U3	Forsyning 48V

<b>Tegnet av:</b> ØJCA	<b>Godkjent av:</b> TSV	<b>Dato:</b> 10.05.18
<b>Tegningnr.:</b> 4	<b>Tegningstittel:</b> Strømforsyning	




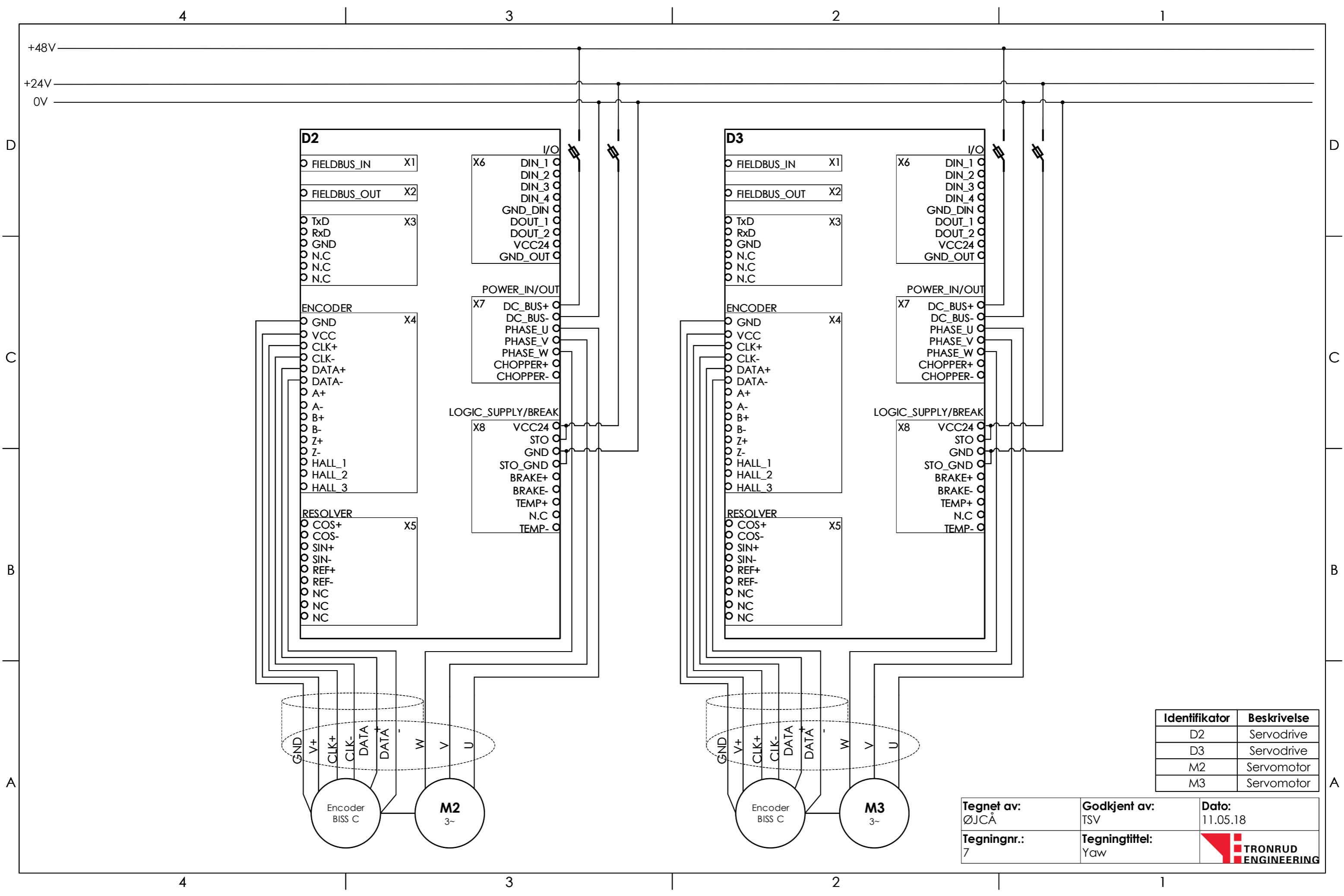
Identifikator	Beskrivelse
P2	PLS
S1	HUB

<b>Tegnet av:</b> ØJCÅ	<b>Godkjent av:</b> TSV	<b>Dato:</b> 10.05.18
<b>Tegningnr.:</b> 5	<b>Tegningstittel:</b> PLS og HUB	




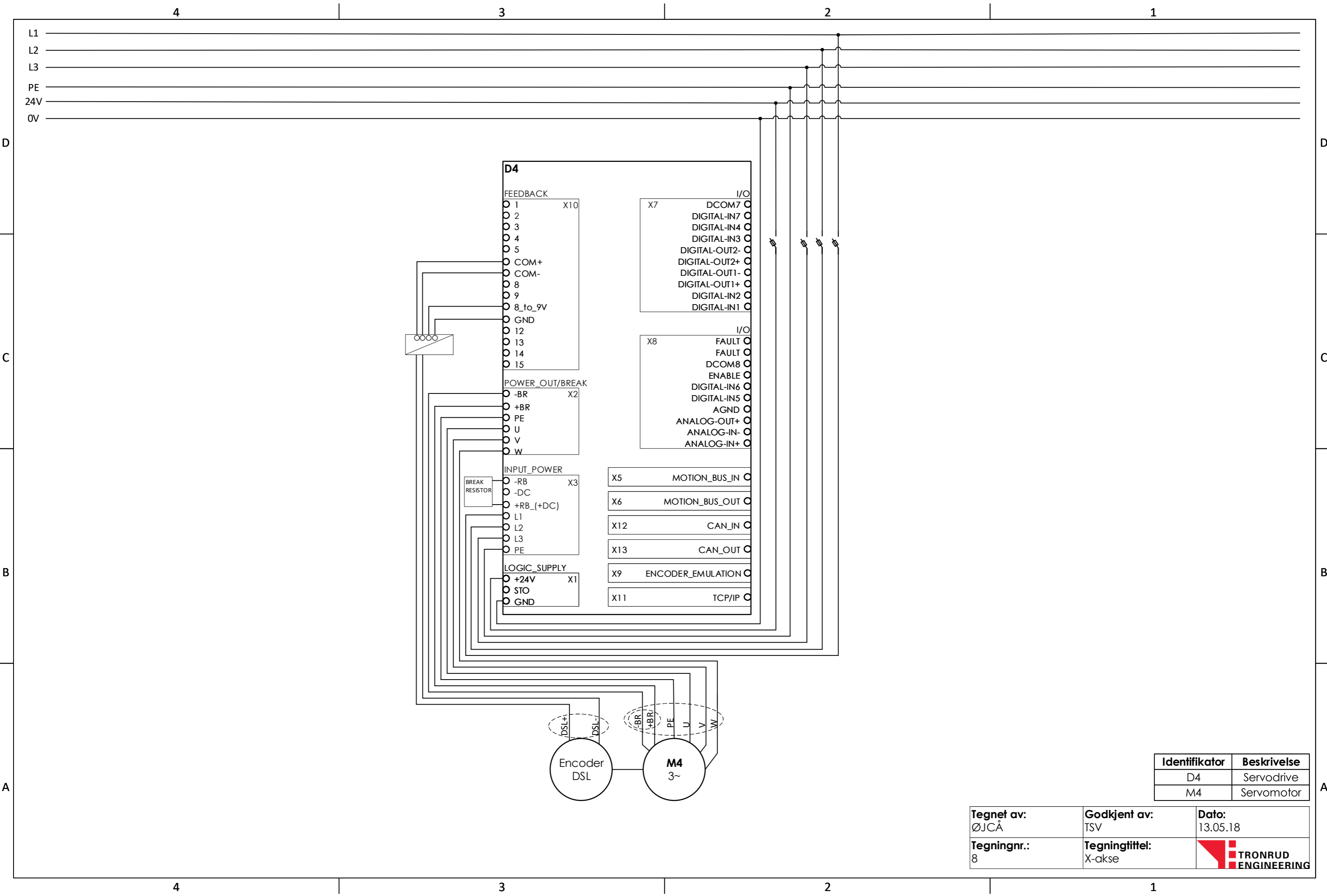
Identifikator	Beskrivelse
D1	Servodrive
M1	Servomotor

<b>Tegnet av:</b> ØJCA	<b>Godkjent av:</b> TSV	<b>Dato:</b> 11.05.18
<b>Tegningnr.:</b> 6	<b>Tegningstittel:</b> Pitch	




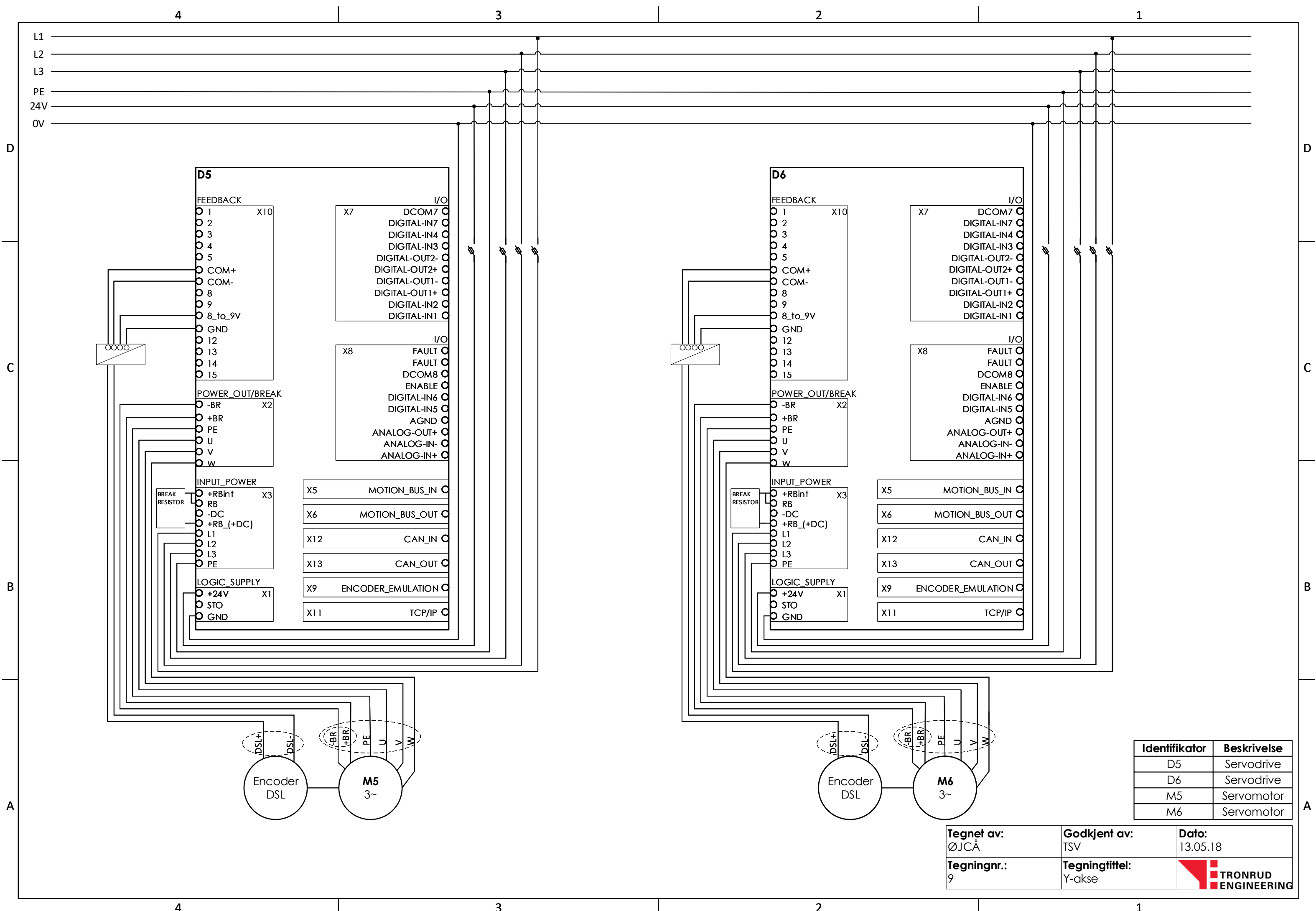
Identifikator	Beskrivelse
D2	Servodrive
D3	Servodrive
M2	Servomotor
M3	Servomotor

Tegnet av: ØJCA	Godkjent av: TSV	Dato: 11.05.18
Tegningnr.: 7	Tegningstittel: Yaw	




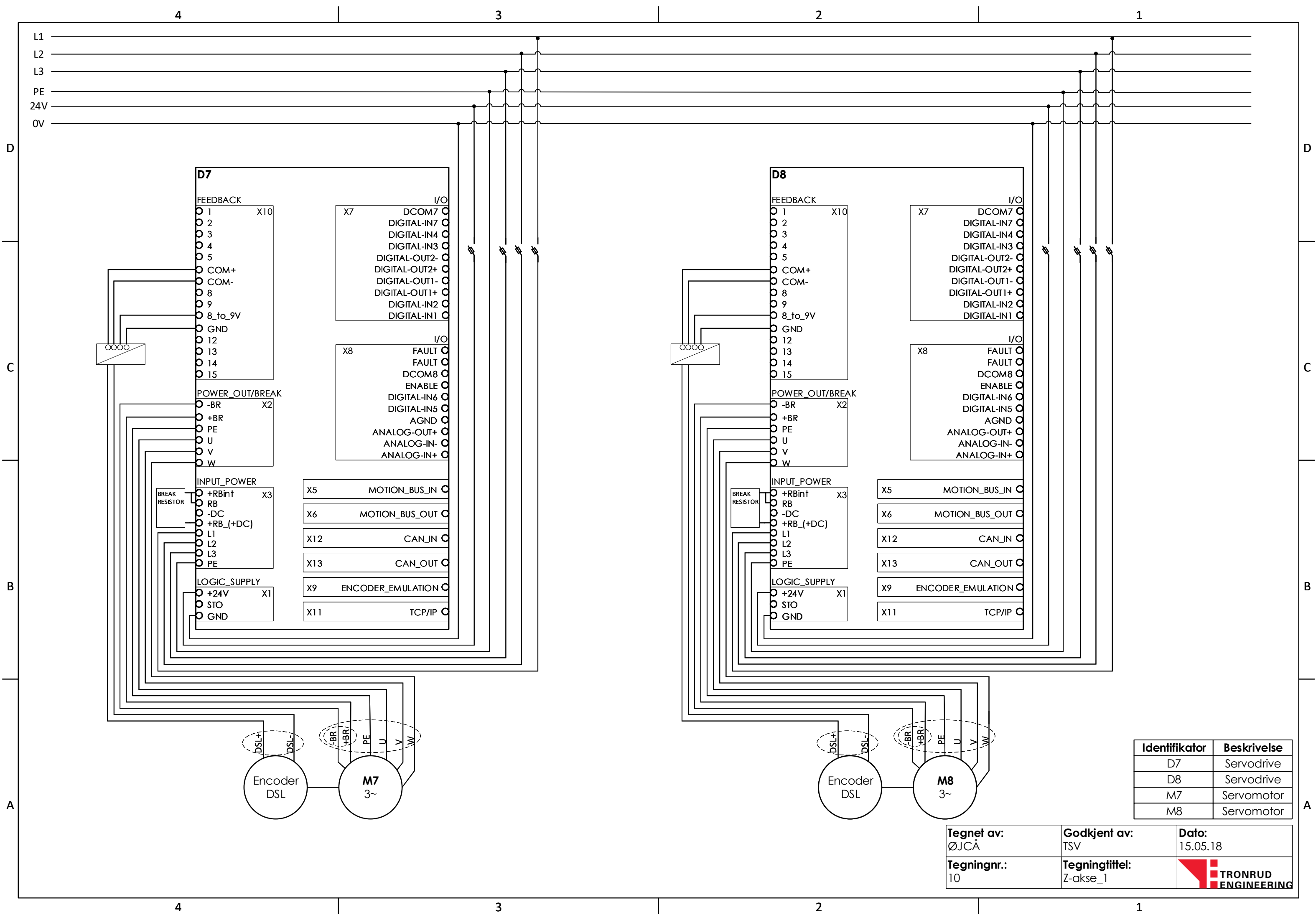
Identifikator	Beskrivelse
D4	Servodrive
M4	Servomotor


Tegnet av: ØJCA	Godkjent av: TSV	Dato: 13.05.18
Tegningnr.: 8	Tegningstittel: X-akse	



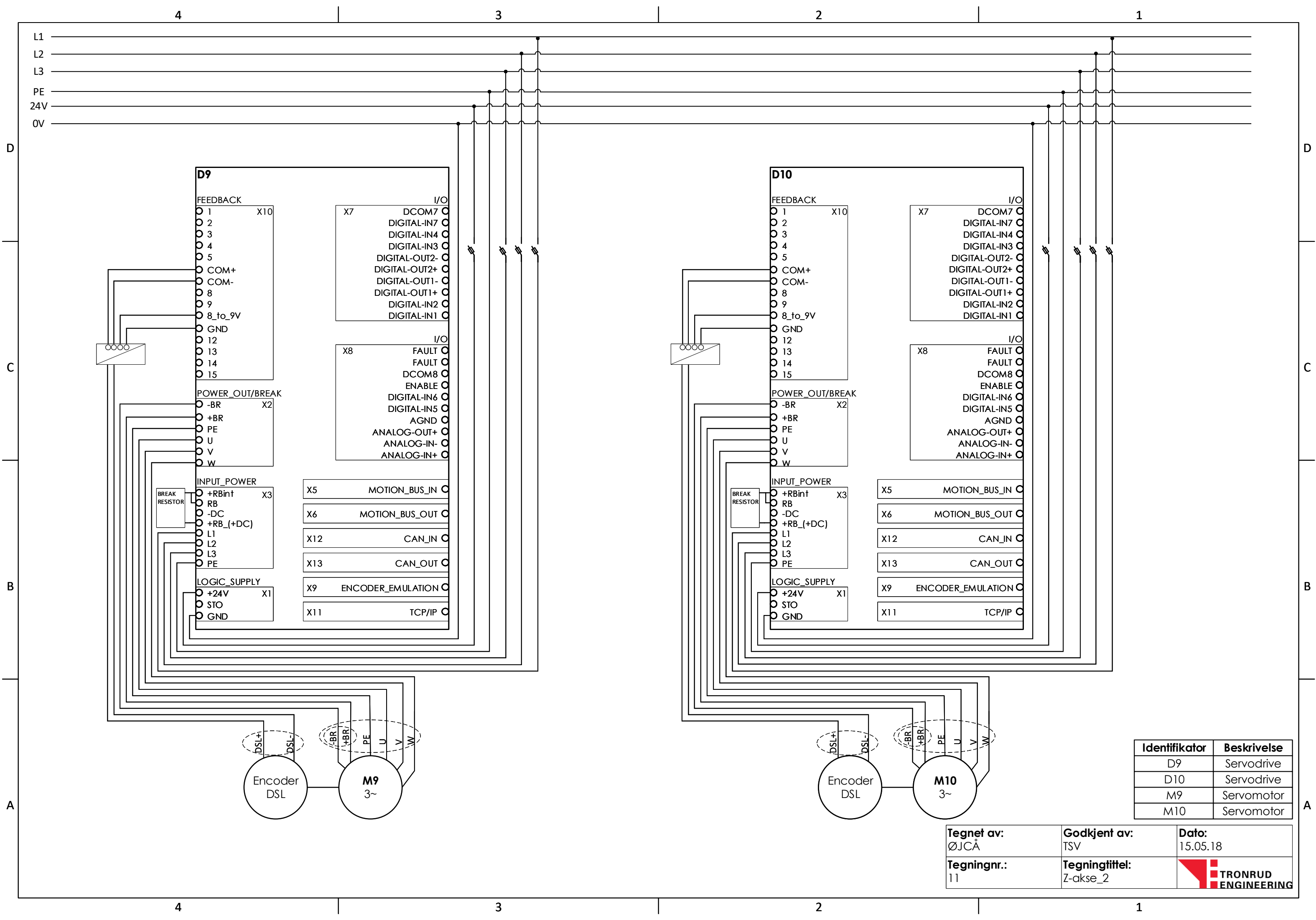
Identifikator	Beskrivelse
D5	Servodrive
D6	Servodrive
M5	Servomotor
M6	Servomotor

Tegnet av: ØJCA	Godkjent av: TSV	Dato: 13.05.18
Tegningnr.: 9	Tegningstittel: Y-akse	




Tegnet av: ØJCA	Godkjent av: TSV	Dato: 15.05.18
Tegningnr.: 10	Tegningstittel: Z-akse_1	

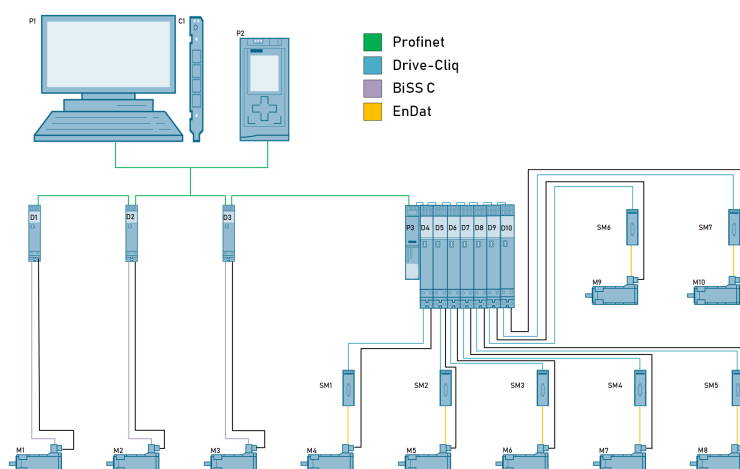




Identifikator	Beskrivelse
D9	Servodrive
D10	Servodrive
M9	Servomotor
M10	Servomotor

Tegnet av: ØJCA	Godkjent av: TSV	Dato: 15.05.18
Tegningnr.: 11	Tegningstittel: Z-akse_2	

## Ve-Tek.8 Hardwarekonfigurasjon: PLS fra Siemens



**Ve-Tek-Fig.63:** Topologiskisse. Siemens.

Identifikator	Beskrivelse	Komponentnavn
<b>P1, C1</b>	PC og Kommunikasjonssprosessor	PC og Siemens Communication Processor CP1616
<b>P2</b>	PLS	Siemens Simatic S7-1500. CPU 1516T-3 PN/DP
<b>P3</b>	Kontrollenhet	Siemens Sinamics Control Unit CU320-2 PN
<b>D1-D3</b>	Servodrive	Wittenstein SIMCO SIM2010D-C
<b>D4-D10</b>	Servodrive	Siemens Sinamics S120
<b>SM1-SM7</b>	Sensormodul	Siemens SMC20
<b>M1-M3</b>	Servomotor	Wittenstein Cyber d40
<b>M4</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH32E
<b>M5, M6</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH52H
<b>M7-M10</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH64K

**Ve-Tek-Tab.12:** Elektriske komponenter brukt i topologiskisse med Siemens PLS

### Ve-Tek.8.1 Kommunikasjon

Kommunikasjonsprotokollen som Siemens PLS-er anvender er Profinet. Om en Siemens PLS hadde blitt valgt som kontroller for aksesystemet ville all kommunikasjon gått over **Profinet**. Denne kommunikasjonsprotokollen er spesielt utviklet for å dekke behov innenfor kommunikasjon over Ethernet i industrianlegg. Profinet er leverandøruavhengig, noe som vil si at produkter fra en rekke leverandører kan integreres i Profinet-kommunikasjonen - så lenge de er Profinet-kompatible [94].

Profinet er delt inn i to hovedtyper, henholdsvis Profinet IO for kommunikasjon med I/O-moduler og Profinet Component Based Automation (heretter Profinet CBA) for kommunikasjon mellom kontrollere.

**Profinet CBA** er skreddersydd for datautveksling mellom kontrollere. Tanken bak Profinet CBA er at systemet kan implementeres ved å integrere flere intelligente og autonome delsystemer som kommuniserer med hverandre gjennom kontrollere, såkalt *kontroller-kontroller-kommunikasjon* [95].



Ve-Tek-Fig.64: Profinet

**Profinet IO** består av to konsepter: Profinet RT og Profinet IRT - i tillegg til normal syklisk henting av data via TCP/IP.

*Profinet RT*: Kommunikasjonen starter ved at en kontroller setter opp en link mot enheter den skal kommunisere med over TCP/IP. Enhetene sender så telegrammene syklisk tilbake til kontrolleren som har satt opp linkene. Telegrammene sendes med prioritet *seks* (på en skala fra én til syv). Dette fører til at telegrammene ikke stoppes av høy belastning grunnet annen kommunikasjon på nettet. Responstiden til Profinet RT ligger på omlag 10 ms [96].

*Profinet IRT*: Er spesielt utviklet for applikasjoner med høye krav til informasjons-

flyt, noe vår applikasjon krever. Konseptet baserer seg på at det settes opp en link mellom prosessmodulene (driverne) og IRT-kontrolleren (PLS-en). Kommunikasjonen foregår over standard TCP/IP. Med Profinet IRT kan man få syklustider på mindre enn 1 ms, noe som gjør Profinet IRT **ideell** for applikasjoner som krever ”motion control” [97].

### **Ve-Tek.8.1.1 Kommunikasjon mellom servodriverne og servomotorene**

Dersom aksesystemet skal utvikles med en Siemens PLS, vil kommunikasjonen mellom servodriverne og -motorene foregå via BiSS-C (for Wittenstein Simco SIM2010D og Wittenstein Cyber d40-kombinasjonen) og Drive-Cliq (for Siemens S120 og Kollmorgen AKMH-kombinasjonen). AKD-drivene fra Kollmorgen har kun én Profinet-port. I følge instruksjonsmanualen tilhørende Kollmorgen AKD-driven, fra Oktober 2017 [58] støtter driven kun Profinet RT. Dette er ikke tilstrekkelig for vår applikasjon, dermed må servodrivere fra Siemens anvendes.

Wittenstein Cyber d40-motoren finnes kun med én type enkoder, en innebygget 12-bits-absoluttenkoder med BiSS-C-interface. Servodriveren valgt for denne motoren er av typen Wittenstein SIMCO SIM2010D.



**Ve-Tek-Fig.65:** Siemens SMC20

Når det gjelder Kollmorgen AKMH-motorene finnes det en rekke valgmuligheter for feedback-enhet, blant annet multi- og singleturn absoluttenkodere med EnDat-interface [98]. Sinamics S120-driven fra Siemens ble sett på som mulighet, bakdelen med å gå for en drive fra Siemens sammen med en AKMH-motor uten mulighet for drive-cliq-interface er at man må koble en ekstra modul mellom driven

og enkodersignalet, for å omgjøre det til Drive-Cliq-format. En mulighet er at enkoder-tilbakekoblingen kan kobles via en sensormodul, som vist i Ve-Tek-Fig.65 som omgjør signalet fra EnDat til Drive-Cliq-format, slik at signalet kan kobles tilbake til Sinamics S120-driven. En mulig løsning her er å gå for AKMH-motorer med EnDat-enkoder som kobles via en sensormodul av typen Siemens SMC20 tilbake til Siemens Sinamics S120-driver. Sensormodulen omgjør EnDat til Drive-Cliq [99].

## Ve-Tek.8.2 PLS

Det er i all hovedsak to forskjellige kontrollere fra Siemens som har blitt evaluert: Siemens Simatic S7-1500 og Siemens Simotion.



Ve-Tek-Fig.66: Simatic S7-1500

**SIMATIC S7-1500** er i følge Siemens deres *raskeste kontroller for automatisering*, med prosesseringstider på ned mot 1 ns [100]. Den har tre kommunikasjonsporter hvorav én Profinet IRT-port, én Profinet RT-port og én Profibus-port og den innehar dermed funksjonalitet til å kommunisere både med PC-en og servodriverene valgt, over den valgte kommunikasjonsprotokollen. I Simatic S7-1500-serien er det en rekke valgmuligheter, man kan velge blant en rekke compatible moduler (I/O-moduler, strømforsyninger osv.) med ulike spesifikasjoner - alt etter ønsket applikasjon.

Det finnes CPU-er som er utviklet til forskjellige formål, Siemens har blant annet utviklet såkalte Technology CPU-er (heretter T-CPU) med ekstra motion-kontroll-funksjoner, hvorav disse blant annet kan interpolere opptil fire akser og synkronisere akser [101]. En T-CPU av typen 1516T/TF kan passe vår applikasjon bra. For HW-konfigurasjon som er valgt, vil kalkulasjon foregå i det ROS-baserte styresystemet, noe som vil lette belastningen på CPU-en.



**Ve-Tek-Fig.67:** Simotion C240P

**Simotion** er den ideelle platformen for produksjonsmaskiner der bevegelse må kontrolleres, og er Siemens' flaggskip når det kommer til "motion controllers" [102]. Simotion kommer i tre forskjellige varianter:

- SIMOTION D, der kontrolleren er integrert i en SINAMICS S120-drive.
- SIMOTION P, som er PC-basert.
- SIMOTION C som er PLS-basert [103].

Kontrolleren innehar funksjonalitet til å kalkulere avansert "motion control" som baneinterpolasjon. Simotion C kommer i to forskjellige varianter der kommunikasjonsmulighetene er det som skiller dem. De to kontrollerene heter Simotion C240 og Simotion C240 PN, hvorav PN-kontrolleren kan kommunisere over Profinet. Enheten er kompatibel med driverne, og er den enheten Siemens anbefaler når kinematiske funksjoner skal synkroniseres med et rullebånd - noe som er nødvendig for vår applikasjon [101]. Denne kontrolleren vil være den foretrukne om systemet skulle utvikles med én frittstående kontroller (altså uten PC).

### Ve-Tek.8.3 Servodrivere og servomotorer

Motoren valgt for pitch-aksen er av typen Wittenstein Cyber d40, utstyrt med en 12-bits-absoluttenkoder (BiSS C) og en innebygget girutveksling på 20:1. Servodriveren som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver pitch-aksen er SIMCO SIM2010D-CCSA-EC00-0000-0000. Driveren er produsert av Wittenstein og er spesielt utviklet for bruk i Wittensteins "Industrial small servo drive system" der motoren Cyber d40 også inngår. Den leverer maksimalt strømtrekk på 20A i 5 sekunder, og er kompatibel med Siemens S7-1500 over Profinet. Det trengs kun én kabel fra drive til motor, da ledningene som kreves for at enkoderen kommuniserer med driveren er "integret" i forsyningskabelen. Driveren har to kommunikasjonsbusser [57].



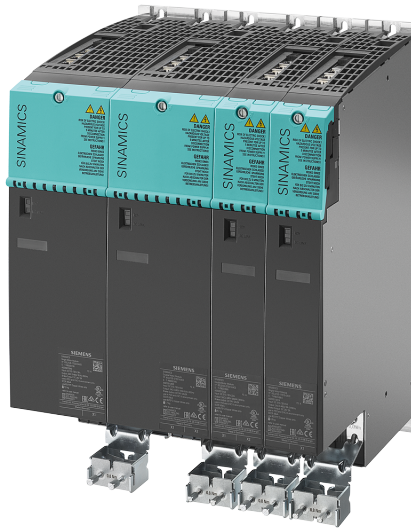
Ve-Tek-Fig.68: Wittenstein Small servo drive system

#### Ve-Tek.8.3.1 Yaw-akse

Motorene (to stk) valgt for pitch-aksen er av typen Wittenstein Cyber d40, utstyrt med 12-bits absoluttenkoder (BiSS C) og innebyggede girutvekslinger på 20:1. Servodriverene valgt for disse motorene er, som for pitch-aksen, Wittenstein SIMCO SIM2010D-CCSA-EC00-0000-0000.

### Ve-Tek.8.3.2 X-akse

Motoren valgt for X-aksen er av typen Kollmorgen AKMH32E-CNWNGFXK, denne har et maksimalt strømtrekk på 14,1 A [104]. Servodriften som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver X-aksen er Sinamics S120, spesifikk type må dimensjoneres etter maksimalt strømtrekk. Servodriften er kompatibel med Siemens S7-1500 og med Kollmorgen AKMH-motorer hvis enkodersignalet (EnDat) kobles via en sensormodul av typen SMC20.



Ve-Tek-Fig.69: Siemens SINAMICS S120 Booksize

### Ve-Tek.8.3.3 Y-akse

Motorene (to stk) valgt for Y-aksen er av typen Kollmorgen AKMH52H-CNWNGFXK, disse har et maksimalt strømtrekk på 29,5 A [104]. Servodriften som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver Y-aksen er Sinamics S120, spesifikk type må dimensjoneres etter maksimalt strømtrekk. Servodriften er kompatibel med Siemens S7-1500 og med Kollmorgen AKMH-motorer hvis enkodersignalet (EnDat) kobles via en sensormodul av typen SMC20.



#### **Ve-Tek.8.3.4 Z-akse**

Motorene (fire stk) valgt for Z-aksen er av typen Kollmorgen AKMH64K-CNW2GFXK, disse har et maksimalt strømtrekk på 46 A [104]. Servodriften som skal omforme kontrollsignalet til motoren som driver Y-aksen er Sinamics S120, spesifikk type må dimensjoneres etter maksimalt strømtrekk. Servodriften er kompatibel med Siemens S7-1500 og med Kollmorgen AKMH-motorer hvis enkodersignalet (EnDat) kobles via en sensormodul av typen SMC20.

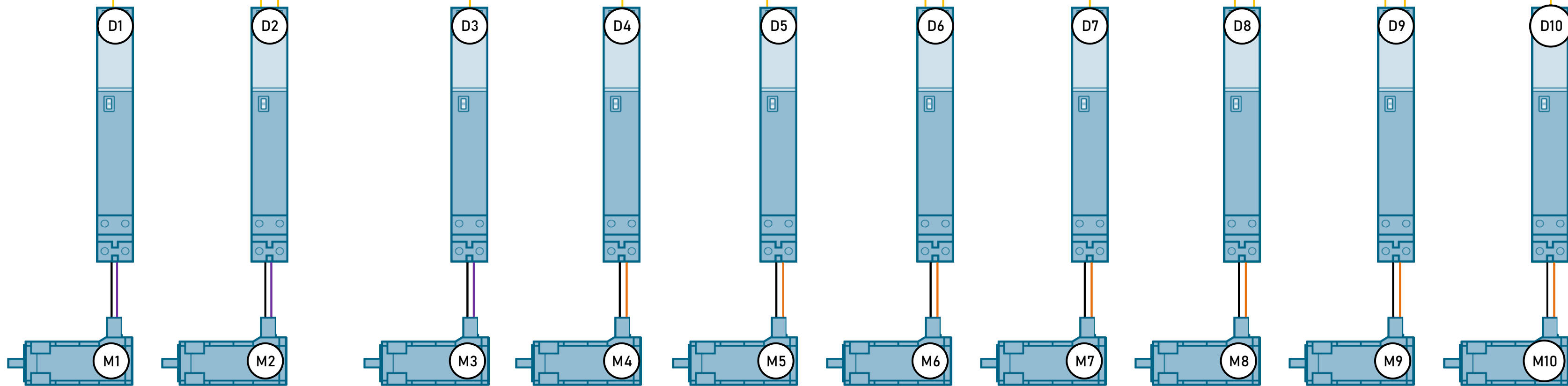
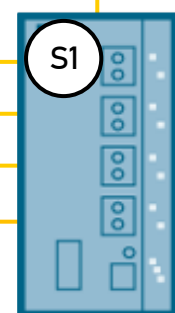
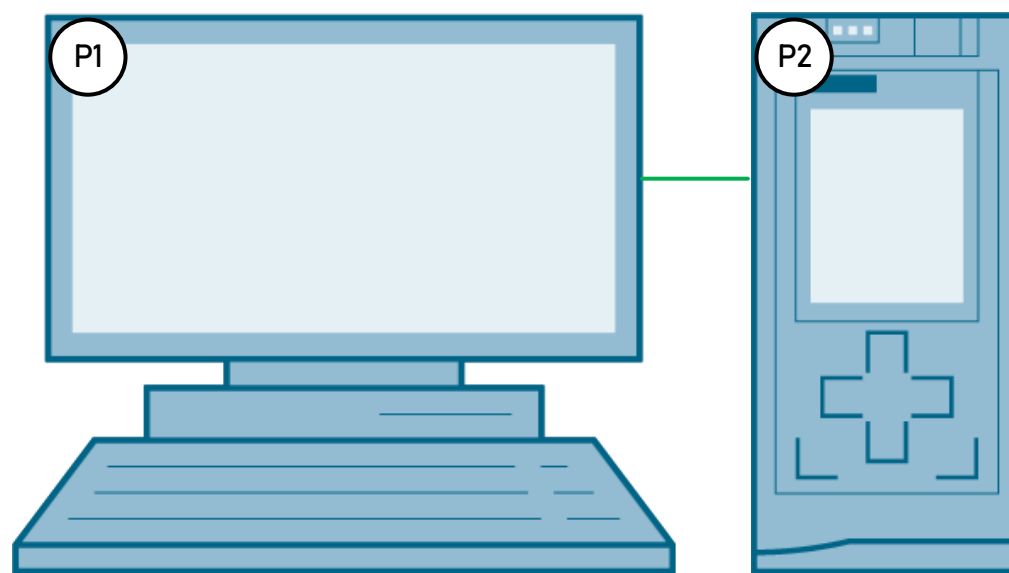
## Ve-Tek.9 Topologiskisser

<b>Tegningnr.</b>	<b>Tittel</b>
2	Hardwaretopologi med Omron PLS
3	Hardwaretopolgi med Siemens PLS

**Ve-Tek-Tab.13:** Oversikt: Topologiskisser

2

- EtherCAT
- EthernetIP
- BiSS C
- Hiperface DSL



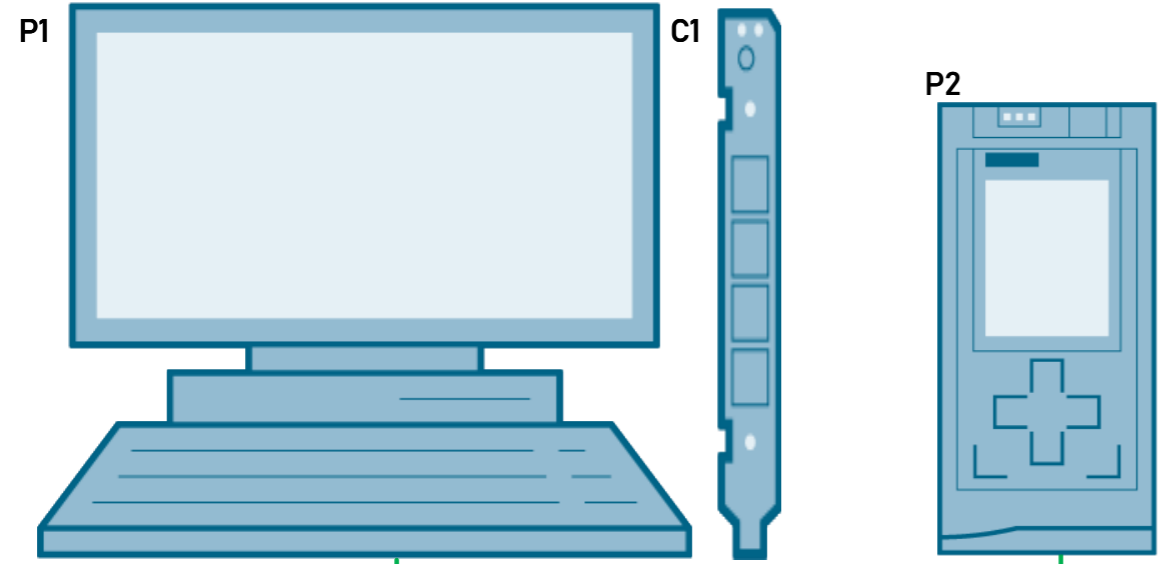
**Ve-Tek.9.1 Hardwarekonfigurasjon: Omron PLS**

<b>Identifikator</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Komponentnavn</b>
<b>P1</b>	PC	PC med RJ-45-tilkobling
<b>P2</b>	PLS	Omron NJ501-1300
<b>S1</b>	HUB	Omron GX-JC06
<b>D1-D3</b>	Servodrive	Wittenstein SIMCO SIM2010D-C
<b>D4</b>	Servodrive	Kollmorgen AKD-P00607
<b>D5, D6</b>	Servodrive	Kollmorgen AKD-P01207
<b>D7-D10</b>	Servodrive	Kollmorgen AKD-P02407
<b>M1-M3</b>	Servomotor	Wittenstein Cyber d40
<b>M4</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH32E
<b>M5, M6</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH52H
<b>M7-M10</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH64K

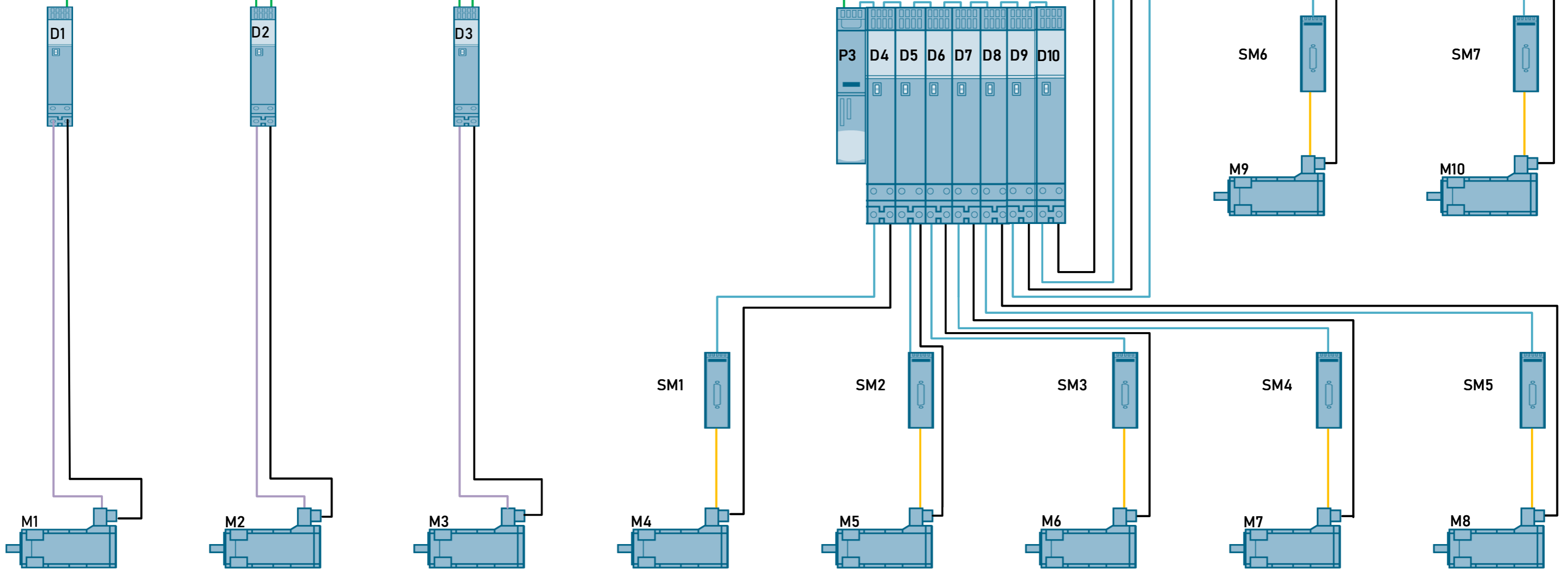
**Ve-Tek-Tab.14:** Hardwarekonfigurasjon, topologiskisse med Omron-PLS

Hardwarekonfigurasjonen med PLS fra Omron er som vist i Ve-Tek-Tab.14.

3



- Profinet
- Drive-Cliq
- BiSS C
- EnDat



**Ve-Tek.9.2 Hardwarekonfigurasjon: Siemens PLS**

<b>Identifikator</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Komponentnavn</b>
<b>P1, C1</b>	PC og Kommunikasjonsprosessor	PC og Siemens Communication Processor CP1616
<b>P2</b>	PLS	Siemens Simatic S7-1500. CPU 1516T-3 PN/DP
<b>P3</b>	Kontrollenhet	Siemens Sinamics Control Unit CU320-2 PN
<b>D1-D3</b>	Servodrive	Wittenstein SIMCO SIM2010D-C
<b>D4-D10</b>	Servodrive	Siemens Sinamics S120
<b>SM1-SM7</b>	Sensormodul	Siemens SMC20
<b>M1-M3</b>	Servomotor	Wittenstein Cyber d40
<b>M4</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH32E
<b>M5, M6</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH52H
<b>M7-M10</b>	Servomotor	Kollmorgen AKMH64K

**Ve-Tek-Tab.15:** Hardwarekonfigurasjon, topologiskisse med Siemens-PLS

Hardwarekonfigurasjonen med PLS fra Siemens er som vist i Ve-Tek-Tab.15.

## Ve-Tek.10 Reguleringsystemet

Variabel	Beskrivelse	Enhet
$r$	Radius	m
$\theta$	Rotorvinkel	rad
$b$	Buelengde	m
$n$	Girforhold	N/A
$t$	Tid	s
$s$	Laplace-derivator	N/A
$T(t)$	Dreiemoment	Nm
$K$	Konstant brukt i mellomregning	N/A
$v(t)$	Påført elektrisk spenning	V
$m$	stalltorque/no-load speed	Nm/rad/s
$I$	Treghetsmoment	$kgm^2$
$B$	Viskøs friksjonskoeffisient	Nm/rad/s
$L$	Laplace-transform	N/A
$V(s)$	Påført spenning i frekvensdomenet	V
$\Theta(s)$	Rotorvinkel i frekvensdomenet	rad
$K_m$	Motorkonstanten	$Nm/\sqrt{W}$
$\tau$	Tidskonstanten for motor	N/A
$K_t$	Dreiemomentkonstanten	Nm/A
$K_v$	Spenningskonstanten	V/rad/s
$R$	Elektrisk motstant	$\Omega$

**Ve-Tek-Tab.16:** Variabler og symboler brukt i denne seksjonen

I dette vedlegget vil grunnarbeidet for reguleringssystemet presenteres. Dette inkluderer beregninger, antagelser og parametre.

### **Ve-Tek.10.1 Beregning av referansevinkler basert på inputkoordinater**

Pitch- og yaw-vinkler kommer direkte fra styresystemet. Disse trenger ikke å oversettes til vinkelutslag for motorene siden disse allerede er ønskede vinkler. Den eneste omregningen som er nødvendig å utføre er å skalere referansen basert på girforholdet. Dette utføres i seksjon Ve-Tek.10.2.

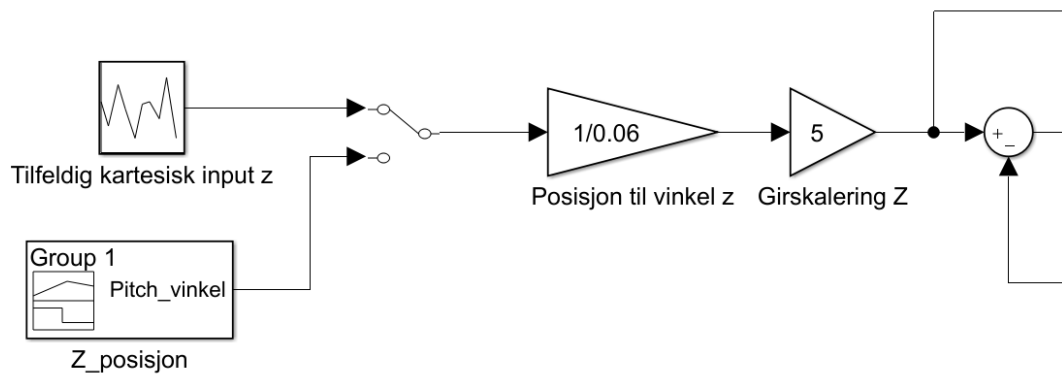
Referansesignalene for X-, Y- og Z-aksene kommer som kartesiske koordinater. Disse må oversettes til vinkler for motorene som driver disse aksene. Hver vinkel må ganges med et bestemt forholdstall for å regne om fra kartesisk koordinat til en vinkel for motorens rotor.

Hver av motorene som driver de kartesiske aksene i systemet har påmonterte drivhjul med diameter på  $80\text{mm}$  for X og Y aksene og  $120\text{mm}$  for Z-aksen. Omkretsen til dette drivhjulet avgjør hvor lang forflytningen langs de lineære aksene er. Omkretsen kan sees på som en buelengde. Buelengden vil tilsvare hvor lang den lineære forflytningen er. Formelen for å regne mellom radianer og buelengde er  $\theta = \frac{b}{r}$  der  $\theta$  er vinkelen i radianer,  $b$  er buelengden og  $r$  er radius. Skaleringsfaktoren for å regne om fra kartesisk input-koordinat til vinkel i radianer blir derfor:

$$\text{skalering} = \frac{1}{r} = \frac{1}{0,04} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.69})$$

Måten skaleringen er implementert vises i følgende figur. Blokkene til venstre representerer referansesignaler som går gjennom en manuell bryter. Trekantene er forsterkninger som representerer skaleringsfaktorer.





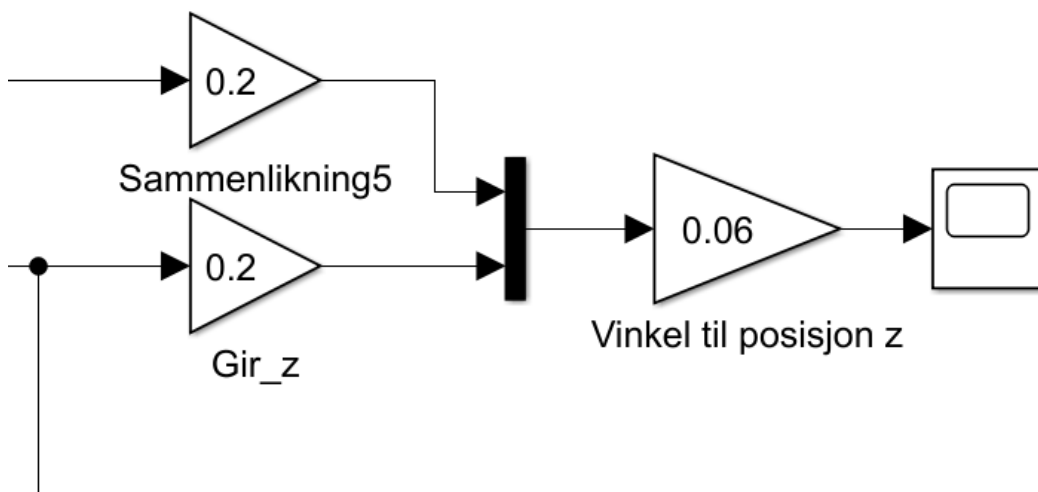
**Ve-Tek-Fig.70:** Eksempel på skaleringsfaktorer for referansesignalene.

Skaleringsfaktoren basert på girforholdet vises også i denne figuren. Dette skal diskuteres i seksjon Ve-Tek.10.2.

For å regne tilbake til kartesisk lengde (som er ønskelig når signalene sendes tilbake til ROS) blir da:

$$\text{skalering} = \frac{1}{\frac{1}{r}} = r = 0,04 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.70})$$

Denne faktoren er satt inn som vist i følgende figur. Trekanstene er forsterkninger som representerer skaleringsfaktorer og blokken til høyre er et scope. Dette kan brukes som display for signaler.



**Ve-Tek-Fig.71:** Eksempel på skaleringsfaktorer for utgangssignalene.

Her er også skaleringen basert på girforholdet satt inn, som skal diskuteres i seksjon Ve-Tek.10.2.

### Ve-Tek.10.2 Skalering basert på girforhold

Girforholdet påvirker hvordan referansesignalet må skaleres. Med eksempelvis et girforhold på 20:1 vil 20 rotasjoner for motoren resultere i én rotasjon for rotoren ut av giret. Dersom det f.eks. er ønskelig at akselen skal bevege seg til vinkel  $2\pi$  må motoren da bevege seg  $20 * 2\pi$ . Ut i fra dette kan det sees at hvert referansesignal må skaleres tilsvarende girforholdet. Skaleringene basert på girforholdene kan sees i figur Ve-Tek-Fig.70.

For å sende signaler tilbake til ROS/styreprogrammet blir motorutslagene også skalert tilbake basert på girforholdene igjen. Årsaken til dette er at det ikke er ønskelig å sende selve motorposisjonene tilbake til ROS, men posisjonen ut av girutvekslingen. Dersom hvert girforhold er  $n$  blir denne skaleringen  $1/n$ . Dette kan sees i figur Ve-Tek-Fig.71 hvor girforholdet var 5:  $1/n = 1/5 = 0,2$

### Ve-Tek.10.3 Transferfunksjon for motorene

Siden dette kun er et teoretisk mulighetsstudie har det ikke vært tilgang på de fysiske motorene under dette prosjektet. Motorene må derfor beskrives matematisk for å kunne implementere reguleringssystemet for disse. En AC-motor kan beskrives fysisk med differensiallikninger som presenteres nedenfor. Likingingen for motordreiemoment er beskrevet ved [105]:

$$T(t) = Kv(t) - m \frac{d}{dt} \theta \quad (\text{Ve-Tek-Mat.71})$$

Her er  $T$  utviklet dreiemoment i motoren,  $K$  er en motorkonstant,  $v$  er spenningen motoren påføres,  $\theta$  er vinkelposisjonen til motorens rotor og  $m$  er beskrevet ved følgende likning [105]:

$$m = \frac{\text{stall torque}}{\text{no - load speed}} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.72})$$

”Stall torque” er dreiemomentet som motoren kan levere ved stillstand og ”no-load speed” er rotasjonshastigheten til rotoren når dreiemomentet er null [46]. Dreiemomentet kan også beskrives med følgende likning [105]:

$$T(t) = I \frac{d^2}{dt^2} \theta + B \frac{d}{dt} \theta \quad (\text{Ve-Tek-Mat.73})$$

Her er  $I$  treghetsmomentet til motorens rotor og  $B$  er viskøs-friksjonskoeffisient. Ved å sette disse likningene lik hverandre (ved å eliminere dreiemomentet  $T$  fra likningssettet) og ta Laplace-transformen av den nye likningen kan transferfunksjonen for motoren finnes:

$$\begin{aligned}
 Kv(t) - m \frac{d}{dt} \theta &= I \frac{d^2}{dt^2} \theta + B \frac{d}{dt} \theta \\
 L\{Kv(t) - m \frac{d}{dt} \theta\} &= L\{I \frac{d^2}{dt^2} \theta + B \frac{d}{dt} \theta\} \\
 KV(s) - m\Theta(s)s &= I\Theta(s)s^2 + B\Theta(s)s \quad (\text{Ve-Tek-Mat.74}) \\
 V(s)[K] &= \Theta(s)[Is^2 + Bs + ms] \\
 \frac{\Theta(s)}{V(s)} &= \frac{K}{Is^2 + (m+B)s}
 \end{aligned}$$

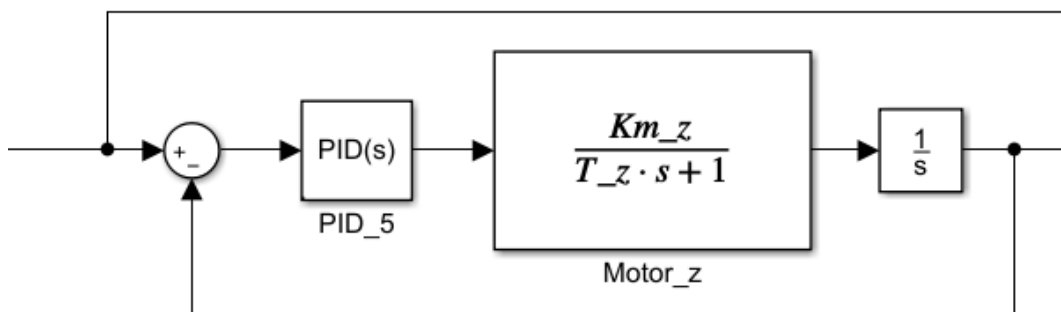
Deretter ganges det med  $1/(m+B)$  i både teller og får [105]:

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K}{m+B}}{\frac{I}{m+B}s^2 + 1} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.75})$$

Resultatet blir transferfunksjonen for AC-motoren [105]:

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m}{\tau s^2 + 1} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.76})$$

En transferfunksjon er et forhold i frekvensdomenet (Laplace) som gir systemets output-verdier basert på alle input-verdier til systemet [62]. Transferfunksjonene for motorene er satt inn som vist i følgende figur. Den runde blokken er en summeringsblokk. Blokken i midten er transferfunksjonen for motoren, mens  $1/s$  blokken er en Laplace integrator som regner om rotasjonshastighet til vinkelposisjon.



**Ve-Tek-Fig.72:** Motorens transferfunksjons posisjon i reguleringsystemet, her med Z-aksen som eksempel.

I likning Ve-Tek-Mat.76 er

$$K_m = \frac{K}{m + B} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.77})$$

kalt motorkonstanten [106]. I tillegg er

$$\tau = \frac{I}{m + B} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.78})$$

som er tidskonstanten til motoren. Dette er tiden det tar systemet å nå 63,2% av sin maksverdi ved sprangrespons [46]. For AKMH-motorene er motorkonstanten oppgitt i datablad som skal presenteres i Ve-Tek.10.4. For motorer der denne konstanten ikke er kjent kan den regnes ut med Ve-Tek-Mat.77 eller følgende formel [106]:

$$K_m = \frac{K_t}{\sqrt{R}} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.79})$$

Her er  $K_t$  dreiemomentkonstanten og  $R$  er den elektriske motstanden i feltviklingene i motoren [46].  $K_t = K_v$  i SI-enheter [46]. Til vanlig blir omregningen til SI-enheter gjort ved å regne om fra *rpm* til *rad/s*.  $K_v$  kan finnes ved å bruke formelen [106]:

$$K_v = \frac{V_{peak}}{\omega_{no-load}} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.80})$$

Siden motorene i systemet har påmonterte gir vil ikke lasten som er koblet på ha like stor innvirkning på treghetsmomentet  $I$  som ved direkte drift [107]. Med en last "sett gjennom" giret blir det totale treghetsmomentet i Ve-Tek-Mat.78 [107]:

$$I_t = \frac{I_{last}}{n^2} + I_m \quad (\text{Ve-Tek-Mat.81})$$

Her er  $I_t$  det totale treghetsmomentet,  $I_{last}$  treghetsmomentet til lasten,  $n$  er girforholdet mellom motor og last og  $I_m$  er treghetsmomentet til motorens rotor.

For å simulere motorene i Simulink trengs det altså kun to konstanter  $K_m$  og  $\tau$  som vist i transferfunksjonen Ve-Tek-Mat.76. Som det skal presenteres i Ve-Tek.10.4 er det disse som skal regnes ut ved hjelp av hittil presenterte likninger og motorparametre.

### Ve-Tek.10.4 Motorparametre

Motorparametrene er konstantene som bestemmer det fysiske for motorene. Disse er enten oppgitt i datablad, målt eksperimentelt, utregnet eller antatt/tilnærmet. Motorparametrene som presenteres nedenfor er skrevet inn i et Matlab-script som må kjøres før Simulink-simuleringen starter. Dette er som nevnt for å deklare variablene for simuleringen. Motorparametrene som det kommes frem til i denne seksjonen finnes i Matlab-script ”*Motorparametre\_RoboTrim.m*” som finnes på Bitbucket Tek-Da.3.

#### Ve-Tek.10.4.1 Motorparametre for pitch

Motoren for pitch er Cyber d40. Verdier oppgitt i datablad [45]:

$$\begin{aligned} V_{peak} &= 48V \\ \omega_{no-load} &= 5575rpm = 583,81rad/s \\ stall\ torque &= 0,35Nm \\ I &= 250 * 10^{-8}kgm^2 \end{aligned} \tag{Ve-Tek-Mat.82}$$

Andre parametre

$$\begin{aligned} n &= 20 \\ I_{last,pitch} &= 1.923 * 10^{-2} \end{aligned} \tag{Ve-Tek-Mat.83}$$

Her er n girforholdet.

Antatte verdier som ikke er oppgitt i datablad:

$$\begin{aligned} R &= 5\Omega \\ B &= 2,86 * 10^{-5}Nm/rad/s \end{aligned} \tag{Ve-Tek-Mat.84}$$

Disse verdiene må måles eksperimentelt når motorene er innkjøpt, verdiene over er kun antagelser for å kunne designe og simulere reguleringsystemet.

Resulterende motorkonstant og tidskonstant blir:

$$\begin{aligned} K_{m,d40} &= 0,0368rad/s/\sqrt{\Omega} \\ \tau_{d40,pitch} &= 0,0805kgm^2/Nm/rad/s \end{aligned} \tag{Ve-Tek-Mat.85}$$

**Ve-Tek.10.4.2 Motorparametre for yaw**

Motoren for yaw er Cyber d40. Verdier oppgitt i datablad [45]:

$$\begin{aligned} V_{peak} &= 48V \\ \omega_{no-load} &= 5575rpm = 583,81rad/s \\ stall_{torque} &= 0,35Nm \\ I &= 250 * 10^{-8}kgm^2 \end{aligned} \quad \text{(Ve-Tek-Mat.86)}$$

Andre parametre

$$\begin{aligned} n &= 20 \\ I_{last,yaw} &= 6 * 10^{-2}kgm^2 \end{aligned} \quad \text{(Ve-Tek-Mat.87)}$$

Her er n girforholdet.

Antatte verdier som ikke er oppgitt i datablad:

$$\begin{aligned} R &= 5\Omega \\ B &= 2,86 * 10^{-5}Nm/rad/s \end{aligned} \quad \text{(Ve-Tek-Mat.88)}$$

Disse verdiene må måles eksperimentelt når motorene er innkjøpt, verdiene over er kun antagelser for å kunne designe og simulere reguleringsystemet.

Resulterende motorkonstant og tidskonstant blir:

$$\begin{aligned} K_{m,d40} &= 0,0368rad/s/\sqrt{\Omega} \\ \tau_{d40,yaw} &= 0,2428kgm^2/Nm/rad/s \end{aligned} \quad \text{(Ve-Tek-Mat.89)}$$

**Ve-Tek.10.4.3 Motorparametre for x**

Motoren for X er AKMH32E. Verdier oppgitt i datablad [48]:

$$\begin{aligned} \omega_{no-load} &= 8000rpm = 837,76rad/s \\ stall\ torque &= 1,77Nm \\ I &= 5,9 * 10^{-5}kgm^2 \\ B &= 2,86 * 10^{-5}Nm/rad/s \end{aligned} \quad \text{(Ve-Tek-Mat.90)}$$

Andre parametre

$$n = 5$$

(Ve-Tek-Mat.91)

$$I_{last,x} = 0,0304kgm^2$$

Her er n girforholdet.

Motorkonstanten er også oppgitt i datablad [48]:

$$K_{m,x} = 0,24rad/s/\sqrt{\Omega}$$

(Ve-Tek-Mat.92)

Resulterende tidskonstant blir:

$$\tau_x = 0,5954kgm^2/Nm/rad/s$$

(Ve-Tek-Mat.93)

#### Ve-Tek.10.4.4 Motorparametre for y

Motorene for Y er AKMH52H. Verdier oppgitt i datablad [48]:

$$\omega_{no-load} = 6000rpm = 628,32rad/s$$

$$stall\ torque = 6,29Nm$$

(Ve-Tek-Mat.94)

$$I = 6,22 * 10^{-4}kgm^2$$

$$B = 4,01 * 10^{-4}Nm/rad/s$$

Andre parametre

$$n = 5$$

(Ve-Tek-Mat.95)

$$I_{last,y} = 0,104kgm^2$$

Her er n girforholdet.

Motorkonstanten er også oppgitt i datablad [48]:

$$K_{m,y} = 0,76rad/s/\sqrt{\Omega}$$

(Ve-Tek-Mat.96)

Resulterende tidskonstant blir:

$$\tau_y = 0,2595kgm^2/Nm/rad/s$$

(Ve-Tek-Mat.97)

**Ve-Tek.10.4.5 Motorparametre for z**

Motorene for Z er AKMH64K. Verdier oppgitt i datablad [48]:

$$\begin{aligned}\omega_{no-load} &= 6000rpm = 628,32rad/s \\ stall\ torque &= 18,7Nm \\ I &= 3,16 * 10^{-3}kgm^2 \\ B &= 7,64 * 10^{-4}Nm/rad/s\end{aligned}\tag{Ve-Tek-Mat.98}$$

Andre parametre

$$\begin{aligned}n &= 5 \\ I_{last,z} &= 0,189kgm^2\end{aligned}\tag{Ve-Tek-Mat.99}$$

Her er n girforholdet.

Motorkonstanten er også oppgitt i datablad [48]:

$$K_{m,z} = 1,6rad/s/\sqrt{\Omega}\tag{Ve-Tek-Mat.100}$$

Resulterende tidskonstant blir:

$$\tau_z = 0,3512kgm^2/Nm/rad/s\tag{Ve-Tek-Mat.101}$$

**Ve-Tek.10.5 PID-tuning**

En PID-regulator må ”tunes”, altså stilles inn for å gi ønsket respons [62]. Det er forsterkningsverdiene  $K_p$ ,  $K_i$  og  $K_d$  som endres for å få dette til. Input til PID-regulatoren er ”errorfunksjonen” som er differansen mellom ønsket og målt verdi. Den er altså forskjellen mellom referansesignalet og det signalet som i praksis blir målt av enkopderen. Transferfunksjonen for en PID-regulator er [62]:

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\tag{Ve-Tek-Mat.102}$$

$K_p$  regulerer pådraget direkte basert på errorfunksjonen,  $K_i$  regulerer pådraget basert på integralet av errorfunksjonen og  $K_d$  regulerer pådraget basert på den deriverte av errorfunksjonen. Det totale pådraget til motoren er summen av disse tre bidragene.



For å stille inn disse forsterkningsverdiene ble ”tune-funksjonen” i Simulink-diagrammet benyttet. Hver regulator ble stilt inn individuelt for å få rask respons og lite oversving. ”Tune-funksjonen” lar brukeren automatisk stille inn forsterkningsverdiene basert på i hvilken grad det er ønsket både rask responstid og et robust system. Flere av verdiene ble til slutt manipulert manuelt for å endre responsen.

Som det kan sees over er flere av forsterkningsverdiene ganske høye. Alle regulatorene må uansett stilles inn på nytt ved et senere tidspunkt når motorene er anskaffet og dette kan gjøres praktisk. I denne omgang er motorparametrene og PID-regulatorenes hensikt mest å vise funksjonalitet, men PID-verdier som er benyttet i simuleringen kan finnes sammen med Simulink-diagrammet på Bitbucket <https://bitbucket.org/erlend0610/matlab/src/master/>.

### Ve-Tek.10.6 Alternativt reguleringsystem ved bruk av estimator og tilstandstilbakekobling

Reguleringsystemet som presentert over tar ikke hensyn til eventuelle tidsforsinkelser forårsaket av girutvekslingen og eventuelt andre ukjente fysiske parametre. En mulig forbedring av systemet kan derfor være å implementere transferfunksjonen for girutveksling i reguleringsystemet. Tidsforsinkelsene som kommer av girutvekslingene kommer av det ”ekvivalente” treghetsmomentet og friksjonskoeffisienten/dempingsfaktor gjennom giret. Transferfunksjonen for giret er gitt av følgende formel [62].

$$\frac{\Theta_2(s)}{T(s)} = \frac{n}{I_{eq}s^2 + b_{eq}s} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.103})$$

Her er  $\Theta_2$  vinkelposisjonen ut av giret ( $\Theta_2$  hadde vært vinkelposisjonen ut av motoren, inn på giret),  $T$  er dreiemomentet levert av motoren (inn på giret),  $n$  er girutvekslingen,  $I_{eq}$  er ekvivalent treghetsmoment og  $b_{eq}$  er ekvivalent friksjonskoeffisient/dempingsfaktor. Disse er gitt ved formlene [62]:

$$I_{eq} = I_2 + J_1 n^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.104})$$

$$b_{eq} = b_2 + b_1 n^2 \quad (\text{Ve-Tek-Mat.105})$$

Her er  $I_1$  treghetsmomentet til motor-rotoren mens  $I_2$  er treghetsmomentet til lasten som er koblet på giret.  $b_1$  er dempingsfaktoren til motoren mens  $b_2$  er dempingsfaktoren til lasten, og  $n$  er girforholdet.

Transferfunksjonen for giret krever dreiemoment-input fra motor-transferfunksjonen. Transferfunksjonen som ble presentert i likning Ve-Tek-Mat.76 tar spenning inn og gir motorvinkel  $\Theta_1$  ut. Denne må derfor omgjøres slik at den gir dreiemoment ut. Det startes med de samme differensiallikningene for AC-motoren som presentert i Ve-Tek.10.3. Her er disse presentert etter at Laplace-transformen er utført på begge.

$$T(s) = KV(s) - m\Theta_1(s)s \quad (\text{Ve-Tek-Mat.106})$$

$$T(s) = I\Theta_1(s)s^2 + B\Theta_1(s)s \quad (\text{Ve-Tek-Mat.107})$$

Legg merke til at der det tidligere stod  $\Theta$  er det satt inn  $\Theta_1$  for å illustrere at det er vinkelen ut av motoren. Likningene skrives om slik at  $\Theta_1$  isoleres i begge likningene, disse kan dermed settes like hverandre.

$$\Theta_1(s) = \frac{KV(s) - T(s)}{ms} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.108})$$

$$\Theta_1(s) = \frac{T(s)}{Is^2 + Bs} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.109})$$

Satt like hverandre blir resultatet som følger.

$$\frac{T(s)}{Is^2 + Bs} = \frac{KV(s) - T(s)}{ms}$$

$$T(s)ms = (KV(s) - T(s))(Is^2 + Bs)$$

$$T(s)ms = KV(s)Is^2 + KV(s)Bs - T(s)Is^2 - T(s)Bs$$

$$T(s)ms + T(s)Is^2 + T(s)Bs = KV(s)Is^2 + KV(s)Bs$$

$$T(s)[ms + Is^2 + Bs] = V(s)[KIs^2 + KBs]$$

$$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{KIs^2 + KBs}{ms + Is^2 + Bs} = \frac{KIs + KB}{Is + m + B}$$

(Ve-Tek-Mat.110)

Ved å gjøre slik som tidligere (gange med  $1/(m+B)$  over og under brøkstreken) blir resultatet som følger.

$$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K}{m+B}Is + \frac{K}{m+B}B}{\frac{I}{m+B}s + 1} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.111})$$

Ved å sette inn for  $K_m$  og  $\tau$  som i seksjon Ve-Tek.10.3 blir transferfunksjonen for AC-motorene med spenningsinput og dreiemoment-output som følger.

$$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{K_m Is + K_m B}{\tau s + 1} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.112})$$

Denne transferfunksjonen har ønsket output, slik at denne er kompatibel med transferfunksjonen for giret som i likning Ve-Tek-Mat.103. Når disse to transferfunksjonene ganges med hverandre blir resultatet en transferfunksjon som tar inn spenning,  $V(s)$ , og gir ut posisjon ut av giret  $\Theta_2$ . Denne transferfunksjonen blir som følger.

$$\frac{\Theta_2(s)}{V(s)} = \frac{K_m I_n s + K_m B n}{\tau I_{eq} s^3 + (\tau b_{eq} + I_{eq}) s^2 + b_{eq} s} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.113})$$

Som vist i en forskningsrapport [108] skrevet ved "Universidad Militar Nueva Granada" kan en slik transferfunksjon (med  $s^3$ -ledd) føre til uønsket oscillasjon ved bestemte tilfeller når det benyttes PID-regulering. En mulig løsning på dette er derfor presentert i rapporten som å benytte tilstandstilbakekobling og tilstandsestimator, såkalt "moderne regulering". Systemet må da omgjøres til tilstandsromformen [62]. Dette er en matriserepresentasjon av systemet. Først skrives transferfunksjonen om slik at  $s^3$ -leddet står uten noen koeffisient. Dette gjøres ved å gange med  $1/\tau I_{eq}$  over og under brøkstreken.

$$\frac{\Theta_2(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K_m I_n}{\tau I_{eq}} s + \frac{K_m B n}{\tau I_{eq}}}{s^3 + \frac{\tau b_{eq} + I_{eq}}{\tau I_{eq}} s^2 + \frac{b_{eq}}{\tau I_{eq}} s} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.114})$$

Med formler som presentert i "Feedback Control of Dynamic Systems" [62] blir matrisene som representerer systemet på "control canonical form" som følger.

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\tau b_{eq} + I_{eq}}{\tau I_{eq}} & -\frac{b_{eq}}{\tau I_{eq}} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.115})$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & \frac{K_m I_n}{\tau I_{eq}} & \frac{K_m B n}{\tau I_{eq}} \end{bmatrix}$$

$$D = 0$$

Systemet kan da beskrives med følgende likningssett [62].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.116})$$

Hvor  $x$  er en vektor som inneholder alle tilstandsvariablene i systemet,  $\dot{x}$  er den deriverte av  $x$ -vektoren,  $u$  er pådraget,  $y$  er utgangssignalet og  $A$ ,  $B$ ,  $C$  og  $D$  er gitt som i likningssettet Ve-Tek-Mat.115. Videre vil det presenteres hvordan et slikt reguleringsystem kan se ut, Y-aksen benyttes som eksempel.

Parametrene for systemet føres inn i et Matlab-script. Her kan systemets egenskaper enkelt undersøkes. Først undersøkes det som systemet er styrbart. Dersom et system er styrbart betyr dette at det er mulig å kontrollere alle polene i systemet og plassere disse som ønsket [62]. Et systems poler representerer områder i frekvensplanet der systemet har uendelig forsterkning [62]. Ved å endre polenes plassering kan systemets respons endres. Et system er styrbart dersom styrbarhetsmatrisen har uavhengige kolonner. Dette utføres som følgende.

$$\text{Controllability matrix} = \begin{bmatrix} B & AB & A^2B \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.117})$$

Det undersøkes om styrbarhetsmatrisa har uavhengige kolonner med funksjonen "rank(Controllability matrix)" i matlab. Resultatet blir at systemet har  $rank = 3$ , som er likt antall tilstandsvariable. Systemet har altså uavhengige kolonner og systemet er styrbart.

Neste steg er å definere ønsket polplassering for systemets poler og designe en "control-law". Dette er en tilbakekoblingsvektor som "tvinger" systemets poler til å plasseres på ønsket lokasjon [62]. Denne har formen (når systemet har tre tilstandsvariable):

$$K = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.118})$$

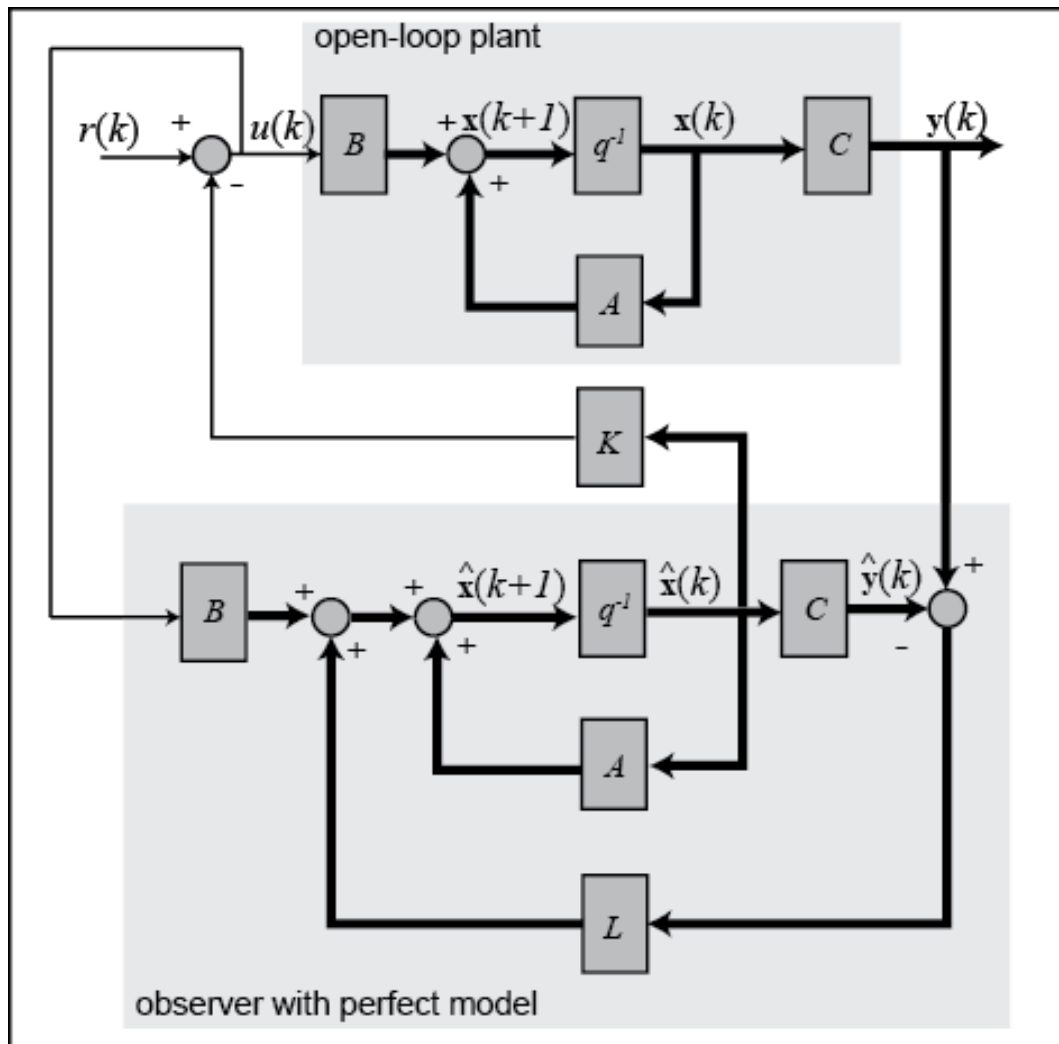
Denne vektoren kan finnes ved å lage karakteristisk likning med ønsket polplassering, sette denne lik det opprinnelige systemets karakteristiske likning og regne ut verdiene for  $K_1$ ,  $K_2$  og  $K_3$ . I Matlab kan dette gjøres enkelt ved å benytte  $place(A, B, p)$  der  $p$  er en vektor som inneholder de nye polene til systemet. For å oppnå rask respons kan polene flyttes langt til venstre i  $s$ -planet. Det er satt inn et forslag som følgende.

$$p = \begin{bmatrix} -100 & -101 & -102 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.119})$$

Da blir tilbakekoblingsvektoren som følgende.

$$K = \begin{bmatrix} 300 & 30600 & 1030200 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.120})$$

Det er også valgt å implementere en observer med systemet. Denne estimerer verdien av alle tilstandene i systemet kun basert på en måling av systemets utgang [62]. Som presentert i [79] kan både "control-law" og observer implementeres for systemet som vist i figuren under.



**Ve-Tek-Fig.73:** Eksempel på hvordan "control-law" og observer kan implementeres for et system på tilstandsromformen [79]

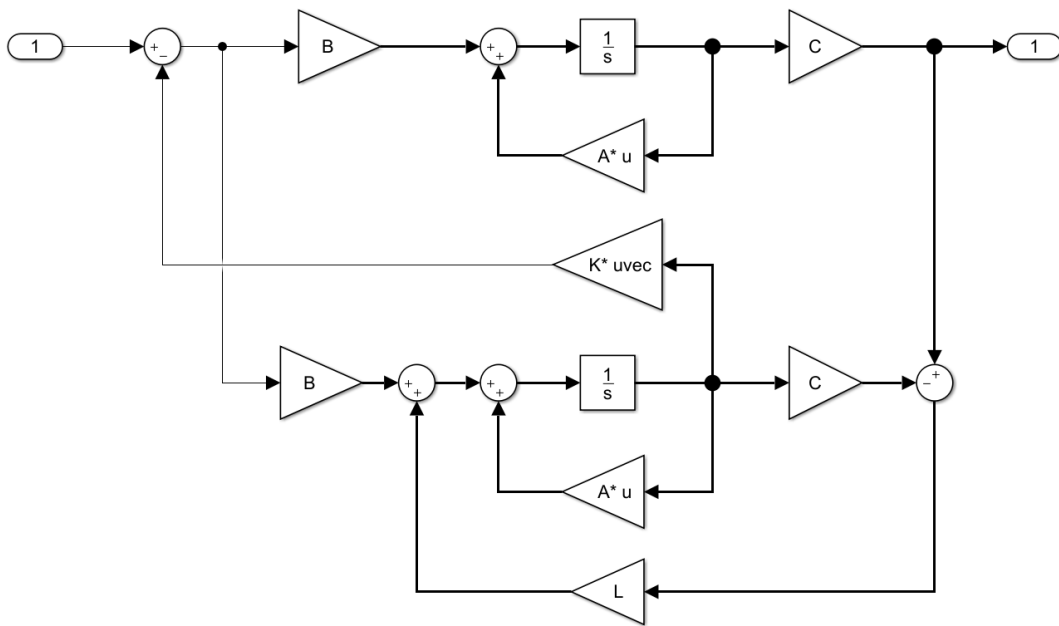
Som for  $K$ -vektoren må det finnes en  $L$ -vektor som implementeres i observeren. Denne finnes på samme måte som  $K$ -vektoren over. Det er vanlig å plassere polene for denne fem ganger så langt til venstre som i  $K$ -vektoren [62]. Polene blir da:

$$p = \begin{bmatrix} -500 & -505 & -510 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.121})$$

Da blir resulterende L-vektor i dette eksempelet som følgende.

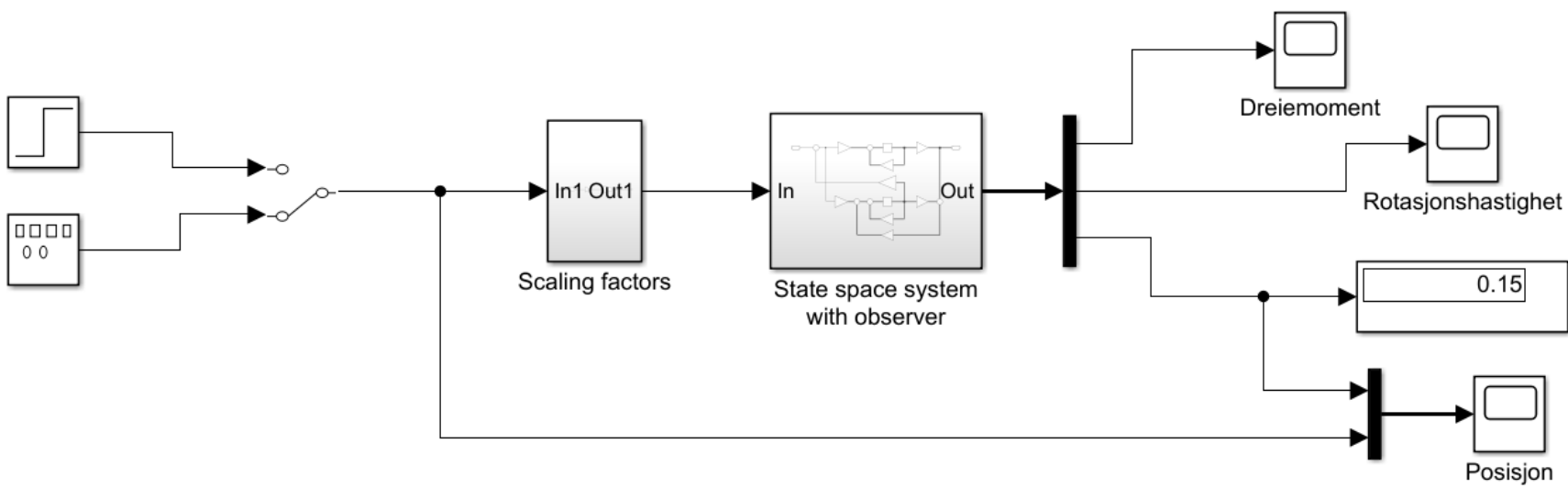
$$L = \begin{bmatrix} 1515 & 765000 & 128775000 \end{bmatrix} \quad (\text{Ve-Tek-Mat.122})$$

Dette systemet er implementert i Simulink som vist i figuren under. Tykk linje representerer at signalet er en vektor. A, B, C, og D er matrisene som definert i Ve-Tek-Mat.115.  $1/s$ -blokkene er Laplace integratorer. De runde blokkene er summeringsblokker og de ovale blokkene representerer input og output.



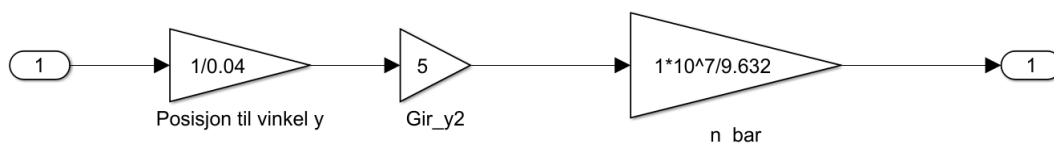
**Ve-Tek-Fig.74:** Eksempel på hvordan "control-law" og observer kan implementeres i Simulink for et system på tilstandsromformen.

Denne modellen av systemet med tilstandstilbakekobling og observer/estimator er lagt inn som et "subsystem" i simulinkmodellen som vist i figuren under. Blokkene til venstre er referansesignaler som kan velges med en manuell bryter. Deretter kommer en blokk som inneholder skaleringsfaktorer, en som inneholder systemet med observer som vist i figur Ve-Tek-Fig.74. Til høyre er det ulike display for å vise signalene.



**Ve-Tek-Fig.75:** Eksempel på hvordan systemet er implementert med referansesignal i Simulink.

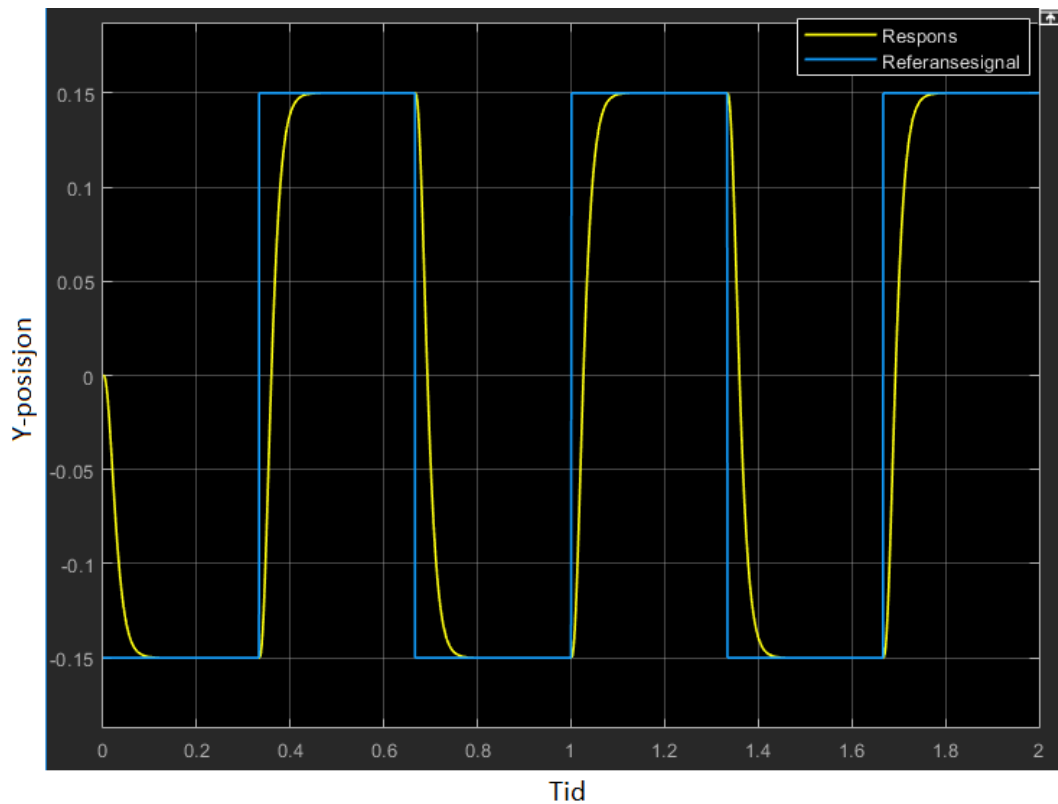
Blokken "State space system with observer" inneholder altså blokkdiagrammet vist i figur Ve-Tek-Fig.74. Blokken "Scaling factors" inneholder skaleringsfaktorer basert på girforhold som for PID-regulatoren, samt en skalering av referansen. I et reguleringsystem på tilstandsromformen ender det stort sett opp med å være en DC forsterkning gjennom reguleringsystemet [62]. Dette kan kompenseres for med å sette inn en skalering av referansen. Ved å skalere referansesignalet lik  $\frac{1}{DC-gain}$  så vil steady-state feilen (avviket mellom referanse- og utgangssignalet etter lang tid) alltid elimineres [62]. Skaleringsfaktorene er presentert i figuren under. Her er det lagt inn skalering basert på girforhold, omregning fra lineært utslag til rotasjon for motor og skalering av referansen for å minske "steady-state" feil som beskrevet over. Hver blokk representerer forsterkning som regner om signalet fra posisjon til vinkel, girforhold og undertrykkelse av stasjonæravvik.



**Ve-Tek-Fig.76:** Skaleringsfaktorer for referansesignalet.

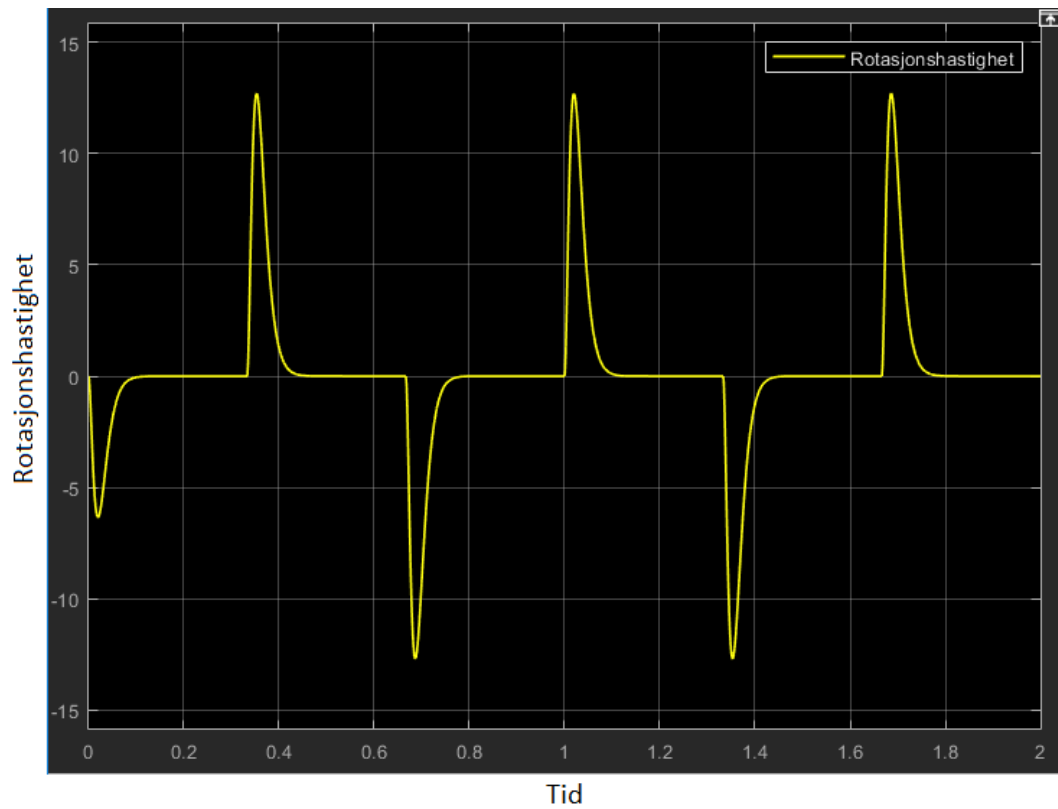
Referansesignalene i figur Ve-Tek-Fig.75 kan svitsje mellom et enhetsprangsignal eller et firkantsignal. Siden det er benyttet motorparametre for Y-aksen som eksempel er det valgt å sette inn et firkantsignal som går mellom -0,15 og 0,15 som tilsvarer posisjoner fra 0m til 0,3m på tvers av rullebåndet med startposisjon i midten. Utgangssignalet fra subsystemet er en vektor med størrelse tre. Her er det lagt inn et "display" og et "scope" som viser posisjonen til systemet. Displayet viser tallverdien, mens "scope" kan brukes til å studere hvordan utgangssignalet følger inngangssignalet som vist i figuren under.



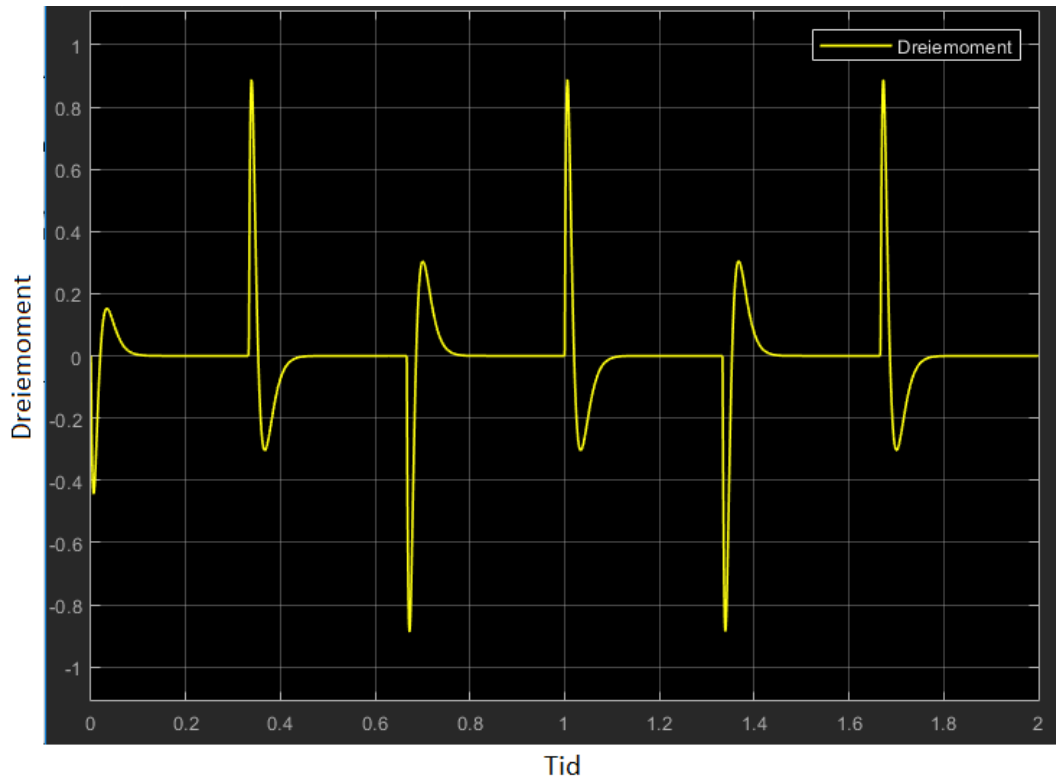


**Ve-Tek-Fig.77:** Responsen til systemets posisjon med firkantsignal som referanse.

Det er også lagt inn "scope" som viser de andre tilstandene i systemet, dreiemomentet og rotasjonshastigheten til motoren. Responsen til disse er vist i figurene under.



**Ve-Tek-Fig.78:** Responsen til systemets rotasjonshastighet med firkantsignal som referanse.



**Ve-Tek-Fig.79:** Responsen til systemets dreiemoment med firkantsignal som referanse.

Dette illustrerer også godt en av fordelene ved denne typen regulering. Det er mulig å få oversikt og ha kontroll over alle tilstandene i systemet til enhver tid. Dreiemomentet og motorens rotasjonshastighet er interne tilstander i systemet, men disse kan leses av på utgangen sammen med utgangsposisjon (ut av giret). Dersom det i fremtiden også er ønskelig å implementere kraftregulering (dreiemoment) for systemet kan dette også være mulig med regulering på tilstandsromformen. I tillegg til disse fordelene er det som tidligere diskutert mulig å få bedre kontroll over hele systemet og dets polplassering.

# Ve-Re - Research-vedlegg

---

Vedlegg: research, HS-RoboTrim 2018.

---

## Innholdsfortegnelse

### Ve-Re **Ve-Re**

Ve-Re.1	<b>Konseptvalg</b>	<b>1</b>
Ve-Re.1.1	Kartlegging av parametere og egenskaper	2
Ve-Re.1.2	Research på eksisterende robottyper	3
Ve-Re.1.3	CAD av konsepter	13
Ve-Re.2	<b>Valg av motortype</b>	<b>19</b>
Ve-Re.2.1	Steppermotor	19
Ve-Re.2.2	Servomotor	20
Ve-Re.2.3	Lineæraktuator	21
Ve-Re.2.4	Konklusjon	22
Ve-Re.2.5	Oppdatering	22
Ve-Re.3	<b>Hygieniske servomotorer</b>	<b>23</b>
Ve-Re.4	<b>Hygieniske lineæraktuatorer</b>	<b>23</b>
Ve-Re.4.1	Hygiensiske girbokser	23
Ve-Re.4.2	Konklusjon	23
Ve-Re.5	<b>Valg av sensorer</b>	<b>24</b>
Ve-Re.5.1	Enkoder	24

Ve-Re.5.2	Konklusjon	27
Ve-Re.6	<b>Force- og torquesensor</b>	<b>28</b>
Ve-Re.6.1	Hva er en force- og torquesensor?	28
Ve-Re.6.2	Bruk av FT-sensorer i robotindustrien	28
Ve-Re.6.3	Konklusjon	29
Ve-Re.7	<b>Regulatortype</b>	<b>30</b>
Ve-Re.7.1	Kontinuerlig regulator	31
Ve-Re.7.2	Diskret regulator	32
Ve-Re.7.3	Konklusjon	32
Ve-Re.7.4	Oppdatering	32
Ve-Re.8	<b>Kinematikk</b>	<b>33</b>
Ve-Re.8.1	Ledd og lenker	33
Ve-Re.8.2	Konfigurasjonsområde	34
Ve-Re.8.3	Arbeidsområde	34
Ve-Re.8.4	Kinematisk analyse	34

---

## Liste over figurer

Ve-Re-Fig.2	Typisk SCARA-robot [109]	5
Ve-Re-Fig.3	Dual-arm robot ABB YuMi [110]	7
Ve-Re-Fig.4	Deltarobot ABB FlexPicker <sup>TM</sup> [111]	9
Ve-Re-Fig.5	Fanuc LR Mate 200ID 45H [112]	11
Ve-Re-Fig.6	Konsept 1	13
Ve-Re-Fig.7	Konsept 2	14
Ve-Re-Fig.8	Konsept 3.	15
Ve-Re-Fig.9	Konsept 4.	16
Ve-Re-Fig.10	Konsept 5.	17
Ve-Re-Fig.11	Konsept 6.	17
Ve-Re-Fig.12	Konsept 7.	18
Ve-Re-Fig.13	Oversikt over servoer med tilfredstillende kapslingsgrad	23
Ve-Re-Fig.14	Inkrementell-enkoder [113]	25
Ve-Re-Fig.15	Absolutt-enkoder [114]	26
Ve-Re-Fig.16	Plassering av FT-sensor på robotarm [115]	28
Ve-Re-Fig.17	Simulinkdiagram der en diskret og en analog regulator sammenliknes	30





---

## Liste over tabeller

Ve-Re-Tab.1	Parametre i henhold til krav	2
Ve-Re-Tab.2	Research gjort på kartesisk robot	4
Ve-Re-Tab.3	Research gjort på SCARA	6
Ve-Re-Tab.5	Tabell over hastighet på SCARA-roboter [116]	6
Ve-Re-Tab.6	Research gjort på Dual-arm	8
Ve-Re-Tab.7	Research gjort på Delta	10
Ve-Re-Tab.8	Research gjort på Artikulær-robot	12
Ve-Re-Tab.9	Konsepter for RoboTrim	13

## Ve-Re.1 Konseptvalg

Konseptvalget er en beslutning som påvirker oppbygning, resultat og måloppnåelse av prosjektet. Det har med bakgrunn i dette vært viktig for prosjektgruppen å foreta et godt begrunnet valg som tilfredstiller ønskene til alle parter involvert i prosjektet. Prosessen for konseptvalg ble opprinnelig planlagt i fem steg:

- *Kartlegging av parametre og egenskaper*
- *Research*
- *CAD av konsepter*
- *Validering av konsepter*
- *Konseptvalg*

### Ve-Re.1.1 Kartlegging av parametere og egenskaper

Med bakgrunn i kravene fremstilt av TE, ble parametre og egenskaper for konseptet identifisert. Hovedformålet med researchen som ble gjort var å gi bedre innsikt i roboter benyttet i industrien. Samtidig var det viktig for vår egen konseptutvikling at vi hadde en pekepinn på hvilke løsninger som brukes for å håndtere utfordringer med hygienisk design. Parameterne og egenskapene det ferdigstilte designet baseres på er fremstilt i Ve-Re-Tab.6.

Parameter	Stammer fra krav	Begrunnelse for parameter
Hastighet	KR-05 KR-06 KR-08 KR-09	
Bevegelsesområde	KR-01 KR-02	
Nyttelast	KR-12	
Akser	KR-01 KR-02 KR-03 KR-04	
Nøyaktighet	Ikke direkte av krav	God nøyaktighet vil være viktig for å redusere svinn.
Hygienisk design	KR-01 KR-17 KR-28 Hygienisk designdokument	

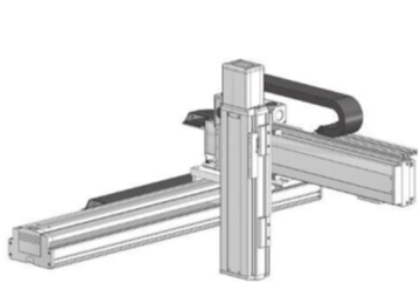
**Ve-Re-Tab.1:** Parametre i henhold til krav

## Ve-Re.1.2 Research på eksisterende robottyper

For å opparbeide kompetanse på allerede eksisterende systemer har det blitt utført research på de følgende robottypene: *Kartesisk-koordinat*, *SCARA*, *Dual-arm*, *Delta* og *Artikulær 5-akset*. For å få et reelt innblikk i roboter brukt i lignende industrier som vårt prosjekt, ble det lagt spesielt fokus på løsninger som allerede er i bruk i matindustrien.

### Ve-Re.1.2.1 Kartesisk-koordinat-robot

Denne typen aksesystem er ofte brukt til å tilvirke materialer, stabling og flytting av tunge komponenter. En type kartesisk-koordinat-robot er *gantry-robot*. Den har til forskjell fra "vanlig" kartesisk robot en ramme som er montert på begge sider [117].



(a) Kartesisk robot [118]



(b) Gantry-robot [119]

Funn gjort gjennom research på kartesiske-koordinat-roboter vises i Ve-Re-Tab.2.

<b>Kartesisk robot</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Funn</b>
Hastighet	Eksisterende robot som tilfredstiller krav om hastighet er <i>ICSB3-BK HB3</i> produsert av "IAI". Hastighetene er oppgitt langs X- og Y-aksen til $2400\text{mm/s}$ , og langs Z-aksen til $1200\text{mm/s}$ . En annen robot fra IAI, <i>ICSPA4-B2L1H</i> er en Gantry-type, som kan oppnå en hastighet på $2500\text{mm/s}$ langs x-aksen, og tilnærmet lik hastighet langs y- og z-akse som <i>ICSB3-BK HB3</i> [120].
Bevegelsesområde	Arbeidsområdet til en kartesisk robot er avhengig av lengdene på de forskjellige aksene, og er formet som en kube eller et rett prisme (kartesisk koordinatsystem) [121].
Nyttelast	Nyttelasten kartesiske roboter kan håndtere er proporsjonal med systemets vekt.
Akser	Kartesiske roboter er montert på skinner som tillater systemet å vandre i de tre lineære aksene.
Nøyaktighet	Fra <i>ICSB3-BK High-Precision Specification</i> fra IAI [120]: x-akse: $\pm 0.01\text{mm}$ y-akse: $\pm 0.005\text{mm}$ z-akse: $\pm 0.005\text{mm}$
Hygienisk design	Hygienisk design kunne bli problematisk pga. skinner og innsnevring i designet som generelt ikke tillates i hygieniske områder. Det ble gjort et funn der YAMAHA hadde laget en 1-akset skinne som skulle være tiltenkt matindustrien [122]. Videre research har vist at det er svært få kartesiske roboter som er brukt i matindustrien. Ettersom hygienisk design er et erfaringsbasert tema, trengte prosjektgruppen veiledning for å undersøke dette videre.

**Ve-Re-Tab.2:** Research gjort på kartesisk robot

**Materialvalg** *ICSB3-BK HB3* er hovedsakelig laget av aluminium.

**Annet** For ICSB3-BK High-Precision Specification fra IAI oppgir motorer på:

- X-retning: 600W
- Y-retning: 400W
- Z-retning: 200W

### Ve-Re.1.2.2 SCARA

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm eller Selective Compliance Articulated Robot Arm). SCARA er ofte brukt til ”pick and place”-operasjoner. For sammenligning brukte prosjektgruppen ABB sine SCARA-roboter [116][117].



**Ve-Re-Fig.2:** Typisk SCARA-robot [109]

<b>SCARA</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Funn</b>
Hastighet	Noen hastigheter for forskjellige robottyper til IRB er vist i Ve-Re-Tab.5.
Bevegelsesområde	Bevegelsesområdet til robottypen er sirkulært rundt første aksen. Med bevegelse langs Z-aksen gir dette et sylindrisk bevegelsesområde.
Nyttelast	SCARA er ikke ment for å håndtere tunge nyttelaster. Siden nyttelasten i vårt system skal holdes så lav som mulig, er kanskje nyttelasten til SCARA stor nok [117].
Akser	SCARA-roboter blir ofte sammenliknet med en menneskelig arm og er bygd opp av ledd i X- og Y-aksen. Ved å implementere et bevegelsesledd som kan bevege seg i Z-aksen, kan dette bli en 4-akset robot. Den er ofte brukt i matindustrien.
Nøyaktighet	SCARA-roboten har tilstrekkelig nøyaktighet. Repeterbarheten ligger på $\pm 0.01$ .
Hygienisk design	Denne roboten er ofte brukt i matindustrien. Implementering av hygiensisk design burde derfor ikke være et problem [123].

**Ve-Re-Tab.3:** Research gjort på SCARA

<b>Robottype</b>	<b>Akse 1</b>	<b>Akse 2</b>	<b>Akse 3</b>	<b>Akse 4</b>
IRB 910SC-3/0.45	415°/s	659°/s	1m/s	2400°/s
IRB 910SC-3/0.55	415°/s	659°/s	1m/s	2400°/s
IRB 910SC-3/0.65	415°/s	659°/s	1m/s	2400°/s

**Ve-Re-Tab.5:** Tabell over hastighet på SCARA-roboter [116]

**Ve-Re.1.2.3 Dual-arm**

En dobbelarmet robot er et system med to robotarmer som styres av samme programvare. Dette er en robottype som er ment for å jobbe ved siden av mennesker, og har stort fokus på sikkerhet. Den er laget for presisjon og håndtering av små komponenter. Slagordet til denne roboten er "medarbeider". For sammenligning ble ABB sin "YuMi" brukt [110].



**Ve-Re-Fig.3:** Dual-arm robot ABB YuMi [110]



<b>Dual-arm</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Funn</b>
Hastighet	Dual-arm robot har generelt lavere hastighet enn tidligere nevnt [124].
Bevegelsesområde	YuMi har et bevegelsesområde på 559mm. Dette er for lite for bevegelsesområdet påkrevd for vårt system.
Nyttelast	ABB YuMi er oppgitt med nyttelast på 0.5kg noe som er for lite i forhold til påkrevd nyttelast.
Akser	Denne robottypen har flere akser enn kravet fra oppdragsgiver.
Nøyaktighet	Roboten har en repeterbarhet på 0,02mm
Hygienisk design	Med bakgrunn i ABB YuMi kan hygienisk design implementeres.

**Ve-Re-Tab.6:** Research gjort på Dual-arm

**Annet** YuMi har et magnesiumskjelett som tillater god styrke. Skjelettet er isolert noe som fører til at det absorberer vibrasjon og skjermer roboten mot korrosjon og evt. kontamineringer.

Roboten har også sensorer som gjør menneskelig interaksjon med roboten mulig uten fare for skade [110].

**Ve-Re.1.2.4 Delta**

Deltaroboten er en type parallellrobot som vanligvis er utstyrt med tre motorer som er koblet til armer. Disse er videre koblet via universalledd, noe som tillater end-effectoren å bevege seg [125] .



**Ve-Re-Fig.4:** Deltarobot ABB FlexPicker™[111]

<b>Delta</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Funn</b>
Hastighet	Kawasaki YF03N er oppgitt med lineær hastighet på 10 000 mm/s som impliserer en akselerasjon på minimum $76\text{mm/s}^2$
Bevegelsesområde	Robotene av denne typen har et sylindrisk bevegelsesområde. Kawasaki YF03N har oppgitt bevegelsesområde:  Diameter: $1300\text{mm}$ Bevegelse i Z-akse: $300\text{mm}$
Nyttelast	Kawasaki YF03N oppgir en nyttelast på $3\text{kg}$ , andre kommersielle systemer er laget for å håndtere en nyttelast opptil $12\text{kg}$ .
Akser	Deltaroboten har i hovedsak tre akser, men den eksisterer også med bevegelsesfrihet i opptil seks akser med. Løsninger med underhengende akser under basen eksisterer også. Vanlige oppsett:  3 akser: X, Y, Z 4 akser: X, Y, Z, A (Rotasjon av verktøy på basen) 5 akser: X, Y, Z, A, B (Rotasjon om to av aksene) 6 akser: X, Y, Z, A, B, C (Rotasjon om alle aksene)
Nøyaktighet	Repetisjonsnøyaktighet på $0,02\text{mm}$
Hygienisk design	Oppgitt for Kawasaki YF03N:  Vaskbar med alkaliske og syrebaserte vaskemidler.  Laget for hygienisk design  Kan brukes med <i>food grade lubrication</i> .  Temperaturområde $0 - 45\text{C}^\circ$ .

**Ve-Re-Tab.7:** Research gjort på Delta

## Materialvalg

- Kawasaki YF03N
  - Motorer dekket med plast. *Ingen annen informasjon tilgjengelig.*

### Ve-Re.1.2.5 Artikulær 5-akset

En artikulær-robot har ofte basen plassert på en ramme, men kan også være vegg- og takmontert. Den blir brukt i mange forskjellige industrier: alt fra matvareindustri til bilproduksjon.



**Ve-Re-Fig.5:** Fanuc LR Mate 200iD 45H [112]

<b>Artikulær-robot</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Funn</b>
Hastighet	Roboter av denne typen har noe begrenset hastighet på grunn av alle aksene som må flyttes samtidig.
Bevegelsesområde	Delvis sfærisk bevegelsesområde.
Nyttelast	Nyttelasten til roboter av denne typen er sterkt variabel og kan variere fra 2-3kg til flere hundre kg avhengig av strukturell oppbygging. Dette tyder på at roboter av denne typen ikke vil ha noe problem med å håndtere nyttelasten som kreves av vårt.
Akser	Har ofte en 6. akse inkludert, som roterer om samme akse som det ytterste leddet for motordrift. Plasseringene på aksene er på de fleste robotene av denne typen plassert som figuren over viser.
Nøyaktighet	Oppgitt for ABB 1660 viser verdier som er gode nok for vårt system:  <div style="text-align: center;">           Presisjon TCP: 0,3mm            Banepresisjon: 0.05mm            Repeterbarhet: 0.02mm         </div>
Hygienisk design	Oppgitt for Kawasaki ABB1660:  <div style="text-align: center;">           Fordel med interne ledninger.            Mange ledd som må være tette er en ulempe.            Mange hygienisk designede artikulære roboter.         </div>

**Ve-Re-Tab.8:** Research gjort på Artikulær-robot

### Materialvalg

- Ofte stål eller rustfritt stål avhengig av applikasjon.

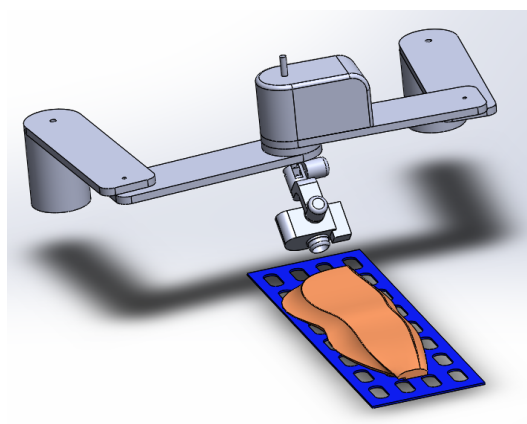
### Ve-Re.1.3 CAD av konsepter

Før konseptvalget kunne tas var det nødvendig at prosjektgruppen produserte modeller av tiltenkte konsepter i SolidWorks. Målet var her å komme frem til design som kunne svare til krav om funksjonalitet satt av TE, videre skulle konseptene presenteres til TE for å få tilbakemelding om eventuelle utbedringer. En oversikt over konseptansvarlige er fremstilt i Ve-Re-Tab.9.

Konsepter for RoboTrim	
Konseptnummer	Ansvarlig
1	SLA
2	SLA
3	OAFR
4	OAFR
5	PAS
6	PAS
7	PAS

Ve-Re-Tab.9: Konsepter for RoboTrim

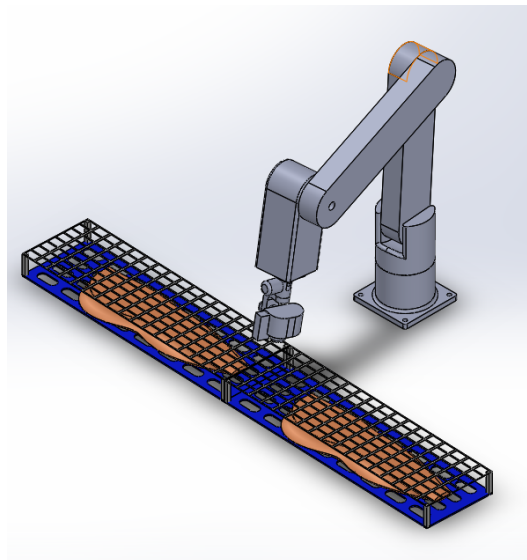
#### Ve-Re.1.3.1 Konsept 1



Ve-Re-Fig.6: Konsept 1

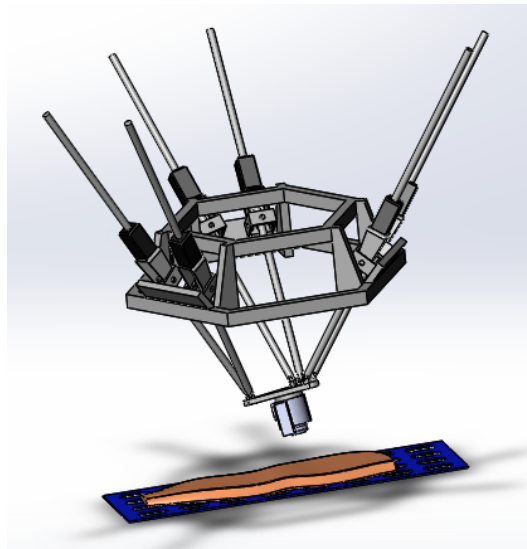
Ve-Re-Fig.6 er basert på en toarmet SCARA-robot. Til forskjell fra eksisterende systemer har dette aksesystemet mulighet til å tilte verktøyet på enden av aksesystemet. Fordelen med at den er toarmet er at vekten om senter blir redusert, noe som kan bidra til økt hastighet. De to kraftigste motorene er begge fastmontert og bidrar derfor ikke til ekstra masse som må forflyttes. Hygienisk design er som sagt mulig for SCARA-roboter. Ulempen er at det er en lukket kinematisk kjede (closed kinematic chain) ettersom end-effectoren er koblet via to armer. Dette er mer komplisert å løse/styre enn om kinematikken hadde vært åpen.

### Ve-Re.1.3.2 Konsept 2



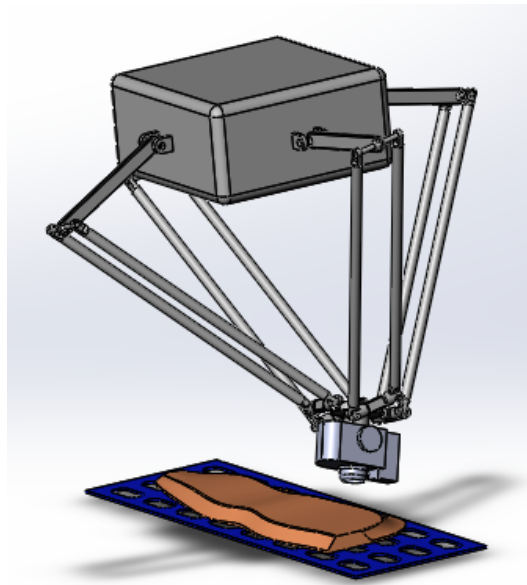
Ve-Re-Fig.7: Konsept 2

Ve-Re-Fig.7 er en artikulær 5-akset robot. Her er alle ledd av typen rotasjonsledd. Dette kan gi lettere kinematikk (dette er en åpen kinematisk kjede). Disse robotene kan ha problemer med høye hastigheter på grunn av mye vekt i bevegelse.

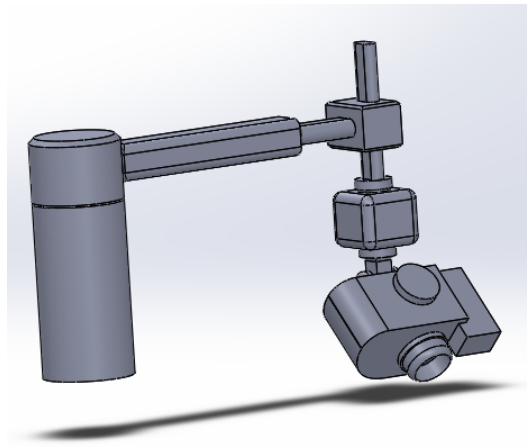
**Ve-Re.1.3.3 Konsept 3****Ve-Re-Fig.8:** Konsept 3.

Ve-Re-Fig.8 viser et konsept basert på en "Stewart platform" som bruker lineæraktuatorer til bevegelse. Denne roboten har seks frihetsgrader. Dette konseptet har plassert største del av vekten i basen. Dette er fordelaktig der dette vil kunne gi høyere hastighet for end-effectoren. Det kan bli problematisk å implementere hygienisk design på lineæraktuatorene.

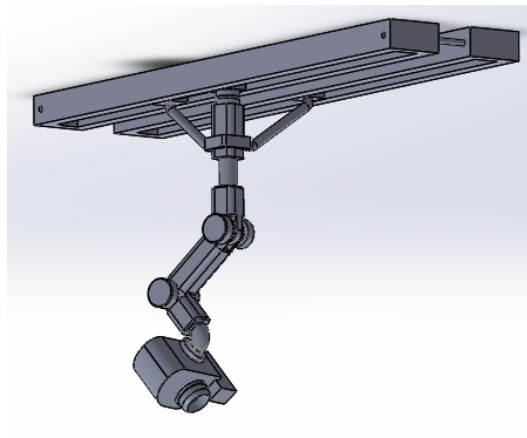


**Ve-Re.1.3.4 Konsept 4****Ve-Re-Fig.9:** Konsept 4.

Ve-Re-Fig.9 viser et konsept som er basert på en parallell-robot. Den største delen av vekten er også her plassert i basen, noe som bidrar til et hurtig system. Kinematikken til deltaroboter kunne vise seg å bli problematisk. Nyttelasten til deltaroboter er generelt ikke like høy som kartesiske og artikulære-roboter. Deltaroboter brukt i matindustrien har ofte ikke tilting av end-effectoren. Dette kan bli problematisk med tanke på matoppsamling i ledd.

**Ve-Re.1.3.5 Konsept 5****Ve-Re-Fig.10:** Konsept 5.

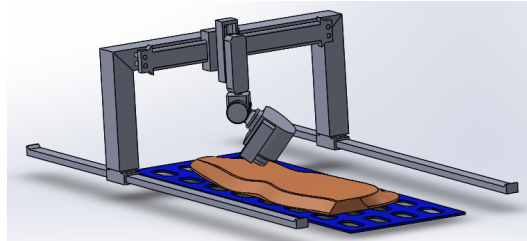
Ve-Re-Fig.10 viser et 5-akset system bestående av lineæraktuatorer med rotasjon om Z-, Y- og X-aksen. Det er fordelaktig med et enkelt design og mulighet for hygienisk design. Det er en ulempe med at mye av vekten må følge med under prosessering. I tillegg er det også ugunstig at alle aksene må være i bevegelse for å følge et punkt på fisken.

**Ve-Re.1.3.6 Konsept 6****Ve-Re-Fig.11:** Konsept 6.

Ve-Re-Fig.11 viser et 5-akset system. Dette er et design inspirert av en artikulær robot påmontert en skinne. Med nedhengende systemer som dette kan det bli prob-

lematisk med bøyemomenter som skapes av høy akselerasjon. Dette systemet var vanskelig å finne informasjon om, derfor var det vanskelig å vurdere om det kunne designes hygienisk.

### Ve-Re.1.3.7 Konsept 7



Ve-Re-Fig.12: Konsept 7.

Ve-Re-Fig.12 viser et konsept basert på en gantry-robot. Dette aksesystemet har fem akser. Mye usikkerhet rundt implementeringen av hygienisk design førte til at fokuset hovedsaklig var rettet mot bevegelsesakser istedenfor hygienisk design. Prosjektgruppen ønsket spesifikt å få tilbakemeldinger og input på om hygienisk design kunne være mulig med et slikt system.

### Ve-Re.1.3.8 Validering av konsepter

Prosjektgruppen hadde den 6.3.2018 et møte med ekstern veileder Øistein Røste for å diskutere prosjektets progresjon, samt presentere konseptene som hadde blitt utarbeidet i forkant.

Med tanke på konseptene ble det fra TE ytret størst interesse for konsept 1 og 7 hvor det av disse to ble vurdert slik at 7 ville kunne utvikles til et system i henhold til satte krav.

### **Ve-Re.1.3.9 Valg av konsept**

Konsept 1 må bevege flere ledd for å følge en rett linje, noe som kan skape begrensning for bevegelsen til systemet. Prosjektgruppen valgte derfor konsept 7. Før møtet med TE trodde prosjektgruppen at dette systemet ville bli komplisert å gjøre hygienisk. Av tilbakemeldinger fra TE viste dette seg å være løsbart. Konsept 7 oppfylte alle parameterne og egenskaper gruppen hadde satt. Dette konseptet hadde mer overkommelig kinematikk enn konsept 1. Bevegelsesområdet til konsept 7 kunne tilpasses ønsket bevegelse, der hele bevegelsesrommet kunne bli brukt.

## **Ve-Re.2 Valg av motortype**

Hensikten med dette researchdokumentet er å begrunne valget av motortype som skal brukes i videreutviklingen av aksesystemet. Motortypene som vil bli tatt i betraktning er steppermotorer og servomotorer. I tillegg til dette vil det bli foretatt en vurdering på om lineæraktuatorer er hensiktsmessige å inkludere i aksesystemet.

### **Ve-Re.2.1 Steppermotor**

En steppermotor er en rotasjonsaktuator som utfører rotasjon i steg (hvert steg har like stor vinkel), der rotoren beveger seg ett steg for hver digitale puls den mottar [46]. At motoren styres av antall digitale pulser gjør at den i mange applikasjoner kan brukes uten posisjonsfeedback.

**Fordeler:** Dreiemomentet til en steppermotor ved lav hastighet er større enn en servo av samme størrelse. Steppermotorer er relativt rimelige i forhold til servomotorer. Steppermotoren krever ingen ekstra enhet for å spore sin posisjon, ved flere applikasjoner vil dette være tilstrekkelig.

**Ulemper:** Steppermotorer mister store deler av dreiemomentet når de nærmer seg sin makshastighet [126]. Et tap på 80% av dreiemomentet ved 90% av maksimal rotasjonshastighet er ikke unormalt. Steppermotorer har i tillegg til dette den begrensningen at de ikke er like gode som servomotorer til å akselerere et system med last. Et forsøk på å akselerere en last, der steppermotoren ikke genererer nok dreiemoment til å rotere et steg før den mottar neste puls, fører til at et steg hoppes over og at rotoren ikke oppnår ønsket posisjon. Hastigheten til steppermotorer er også begrenset, og mange steppermotorer har en maksimal rotasjonshastighet på 2000 rotasjoner per minutt [126].

### **Ve-Re.2.2 Servomotor**

En servomotor er en rotasjonsaktuator som det er forholdsvis enkelt å kontrollere vinkelposisjonen til. En servomotor består av én motor som er koblet sammen med en enkoder. For at et servosystem skal være komplett trenger det også en driver/regulator. Denne driveren bruker feedback-signalet den får fra en posisjonssensor kalt *enkoder* til å kontrollere rotasjonsposisjonen til rotoren svært presist.

**Ulemper:** Servomotorer krever ved noen applikasjoner en ekstern girboks for å passe til sin tiltenkte funksjon. Motorene krever også en enkoder-enhet for å spore hvor i rotasjonen rotoren er. Servomotorer er også dyrere enn steppermotorer.

**Fordeler:** I applikasjoner som krever høy hastighet og stort dreiemoment er servomotorer i sitt ess. Som tidligere nevnt har steppermotorer ofte en maksimalhastighet på 2000 rotasjoner per minutt, mens for servomotorer er det ikke uvanlig med en maksimal rotasjonshastighet på 8000 RPM. Servomotorene opprettholder også, i mye høyere grad enn steppermotorene, sitt dreiemoment ved høye hastigheter. De kan ved korte perioder yte opp til to ganger sitt nominelle dreiemoment [126]. Servomotorer er godt egnet til bruk i matindustri, og det finnes flere produsenter som lager motorer spesifikt rettet mot miljøer som stiller strenge krav til vaskbarhet og hygienisk design.

**Ve-Re.2.3 Lineæraktuator**

En lineæraktuator er en enhet som omdanner den roterende bevegelsen til en motor til en lineær bevegelse, altså en skyve- og trekkebevegelse. En lineæraktuator består av en motor, et gir, en spindel og en mutter [127]. Dette er en kompakt løsning som med fordel kan brukes i aksesystemet for å endre end-effectorens posisjon i Z-aksen.

### **Ve-Re.2.4 Konklusjon**

Kravene for prosjektet tilsier at aktuatorene brukt i aksesystemet burde fungere godt i operasjoner som krever:

- Rask akselerasjon med last
- Forholdsvis stort dreiemoment ved høye hastigheter
- Vask med kraftige vaskemidler

Med dette er det sannsynlig at valget faller på bruk av servomotorer. I tillegg til dette kan lineæraktuatorer bli tatt i bruk.

### **Ve-Re.2.5 Oppdatering**

Ved senere ressearch er det blitt funnet ut at Kollmorgen sine hygieniske lineæraktuatorer ikke har høy nok topphastighet til å drive systemet [128]. Valget har derfor falt på å kun bruke servomotorer.

## Ve-Re.3 Hygieniske servomotorer

Hensikten med dette researchdokumentet er å avdekke motorer, lineæraktuatorer og girbokser som kan brukes i miljøer som stiller strenge krav til vaskbarhet. Dette gjøres som en forberedelse til valg av servomotorer, som vil skje senere i prosjektet.

Produsent	Produktserie	Nominelt dreiemoment [Nm]	Maksimalt dreiemoment [Nm]	Maksimal hastighet [RPM]	IP-klassifisering
Kollmorgen	AKMH	0.4 - 21	1.6 - 79	Opp til 8000	IP69K
Kollmorgen	AKM Washdown and Food Grade Servo Motors	0.48 - 22.4	1.4 - 25	Opp til 8000	IP67 (Foodgrade)
Kinetix	VPF	0.93 - 19	2.69 - 49	Opp til 8000	IP66/IP67 (Foodgrade)
Kinetix	VP Stainless Steel Motors	8.1 og 21	27.1 og 67.8	3000	IP69K
Wittenstein	Cyber d40	Ikke oppgitt	0.96	5575	IP69K
Parker	MPW	3 - 17.74	11.54 - 72.30	4947	IP69K

**Ve-Re-Fig.13:** Oversikt over servoer med tilfredstillende kapslingsgrad

## Ve-Re.4 Hygieniske lineæraktuatorer

Kollmorgen ERD er en lineæraktuator som er kompatibel med deres hygieniske servomotorer. Denne lineæraktuatoren har en kapslingsgrad på IP69K [128].

### Ve-Re.4.1 Hygiensiske girbokser

Thomson har utviklet en girboks som har kapslingsgrad IP69K. Girboksen heter *AquaTRUE<sup>TM</sup>* Hygienic IP69K Gearbox og finnes med en rekke ulike girforhold [129]. Denne girboksen passer til Kollmorgen-motorer av typen AKMH [129].

### Ve-Re.4.2 Konklusjon

Valget av motorer er foreløpig ikke tatt, dette vil bli foretatt ved en senere anledning. Valg av motorer for de to nederste aksene er allerede tatt (seksjon "Motordimensjonering"), med forbehold om endringer når modellen og vektestimeringen blir mer korrekt.



## **Ve-Re.5 Valg av sensorer**

Hensikten med dette dokumentet er å bestemme hvilke sensorer som må tas i bruk i aksesystemet, for å regulere end-effektoren til riktig posisjon.

### **Ve-Re.5.1 Enkoder**

For å kunne designe styresystemet er det avhengig av enkodere som oppdaterer regulatoren kontinuerlig på vinkelutslaget til de forskjellige motorakslingene på servomotorene.

#### **Ve-Re.5.1.1 Hva er en enkoder?**

En enkoder for servomotorer er en enhet som sender ut et digitalt signal basert på lineær- eller rotasjonsforskyvning [46]. I dette prosjektet vil rotasjons-enkodere bli tatt i bruk som posisjonssensorer og hastighetssensorer for servomotorene.

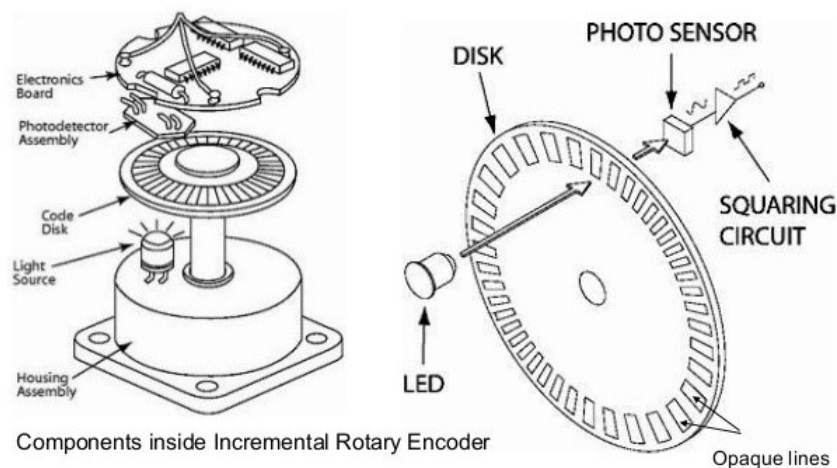
En optisk rotasjonsenkoder består av et enkoderhjul som er delt opp i mange små seksjoner. Disse seksjonene er enten ugjennomsiktige eller klare. En lyskilde gir et lys som skinner igjennom enkoderhjulet og blir registrert av en lyssensitiv sensor. Hvis enkoderhjulets vinkelposisjon er i en posisjon slik lyset går igjennom, vil den lyssensitive sensoren gi ut et høyt signal. Hvis vinkelposisjonen er i en slik posisjon at lyset ikke går igjennom, vil den lyssensitive sensoren gi ut et lavt signal. Når enkoderhjulet roterer vil enkoderen kontinuerlig sende signaler, og hvis signalene telles kan den totale vinkelforskyvningen til hjulet måles til enhver tid. På denne måten vil enkoderen spore bevegelsen til motorakslingen [130].

Enkoderene, påmontert hver enkelt servomotor, sender altså ut et digitalt signal til kontrolleren slik at den kan stedfeste hvor rotoren befinner seg i rotasjonen, og hvor raskt den roterer. Mange servomotorer kommer med innebygde enkodere – men det er også mulig å bruke eksterne enkodere eller tilbakekoblingsenheter for å kontrollere en motor. Når eksterne enkodere brukes er det essensielt at det er samsvar mellom bevegelsen akslingen utfører og bevegelsen enkoderen registrerer [131].

Det finnes i all hovedsak to hovedtyper av enkodere: inkrementelle og absolutte.

### Ve-Re.5.1.2 Inkrementell-enkoder

I Ve-Re-Fig.14 ser vi en optisk inkrementell rotasjonsenkoder som måler vinkelrotasjon. På denne type enkodere er de gjennomsiktige og ugjennomsiktige områdene på enkoderhjulet like store. Basert på at disse områdene er like store, vil de indikere en gitt rotasjonsvinkel for motorakslingen. Størrelsen på rotasjonsvinkelen avhenger av oppløsningen til enkoderen, og en høyere oppløsning vil gi en mer nøyaktig måling. En typisk inkrementell-enkoder har en oppløsning på 1024 puls per revolution (heretter ppr), noe som vil si en nøyaktighet på  $0.35^\circ$ . En inkrementell-enkoder ser kun endringen i vinkelposisjon, og den kan ikke indikere direkte hva den faktiske posisjonen er. Den kan med andre ord kun fortelle hvor mye bevegelse som er gjort, og med mindre den vet sin startposisjon kan den ikke fortelle systemet noe om den faktiske posisjonen til akslingen. I alle systemer som sporer posisjonen med inkrementell-enkodere, er det nødvendig å tilbake stille/kalibrere systemet til en forhåndsdefinert "hjemposisjon" slik at den vet sitt startpunkt. På denne måten vil regulatoren (som enkoderen oppdaterer) kunne vite vinkelposisjonen til akslingen, da den vet sitt startpunkt og endringen i vinkelposisjon.



Ve-Re-Fig.14: Inkrementell-enkoder [113]

### Fordeler

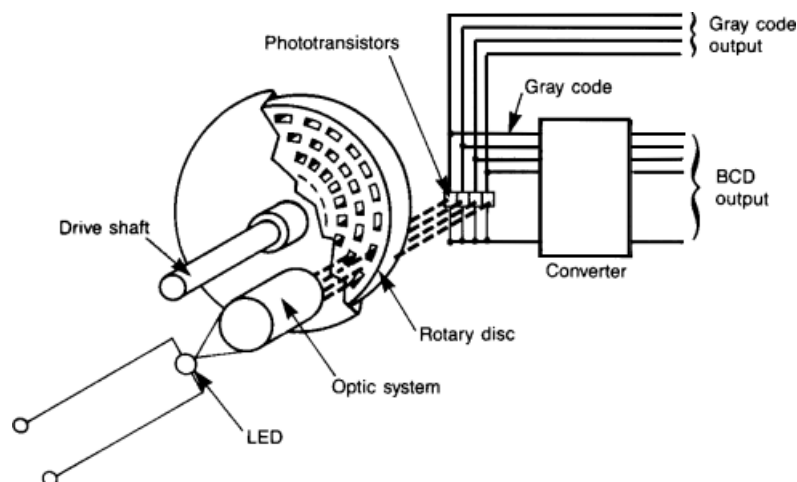
- Billigere enn absolutt-enkodere

### Ulemper

- Må kalibreres etter at den har blitt skrudd av
- Må kalibreres etter strømbrudd
- Forholdsvis lav oppløsning (opp til 10K ppr) [132]

#### Ve-Re.5.1.3 Absolutt-enkoder

Et alternativ til en inkrementell-enkoder er en absolutt-enkoder, se Ve-Re-Fig.15. Hvert steg i enkoderen består av en unik kombinasjon (binærkode eller Gray-kode) av ugjennomsiktige og klare områder som dermed vil gi ut en unik signatur for hver posisjon. Med dette vil det til enhver tid være mulig å bestemme den eksakte posisjonen til enkoder-hjulet uten et behov for å vite startpunktet til motorakslingen. På denne måten vil enkoderen vite vinkelposisjonen til motorakslingen, til enhver tid, også om det oppstår bevegelse når systemet er skrudd av. Det finnes også multi-turn-enkodere som i tillegg til å vite hvor i rotasjonen rotoren er, kan spore i hvilken rotasjon rotoren er. Slike enkodere brukes blant annet for orientering av multiakse systemer (CNC-maskiner brukt i produksjon av deler) [133].



Ve-Re-Fig.15: Absolutt-enkoder [114]

**Fordeler**

- Tilgjengelig i høyere oppløsning
- Bedre start-up-performance grunnet at den ikke trenger å kalibrere

**Ulemper**

- Dyrere enn inkrementell-enkodere
- Mer kompleks

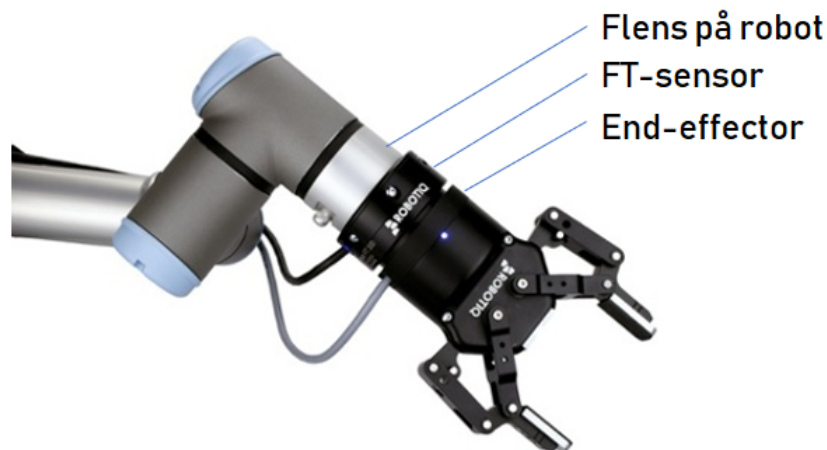
**Ve-Re.5.2 Konklusjon**

Basert på oppløsning og start-up-performance burde vi bruke absolutt-enkodere for å spore vinkelutslaget til rotoren i servomotoren til systemet. Disse er også brukt i liknende systemer, som tidligere nevnt.

## Ve-Re.6 Force- og torquesensor

### Ve-Re.6.1 Hva er en force- og torquesensor?

En force-torque-sensor (heretter FT-sensor) er en sensor som overvåker de forskjellige kreftene og dreiemomentene som påføres en robots ledd eller end-effector, i tre akser (X-, Y- og Z-akse). [134] Sensoren blir ofte brukt for å måle krefter påført i én spesiell akse, og i vårt prosjekt er det en mulighet å bruke en slik FT-sensor for å overvåke kraften end-effektoren trykker på et objekt med. FT-sensorer er hovedsakelig installert mellom flensen til den ytterste delen av robotarmen og end-effektoren, se Ve-Re-Fig.16



**Ve-Re-Fig.16:** Plassering av FT-sensor på robotarm [115]

### Ve-Re.6.2 Bruk av FT-sensorer i robotindustrien

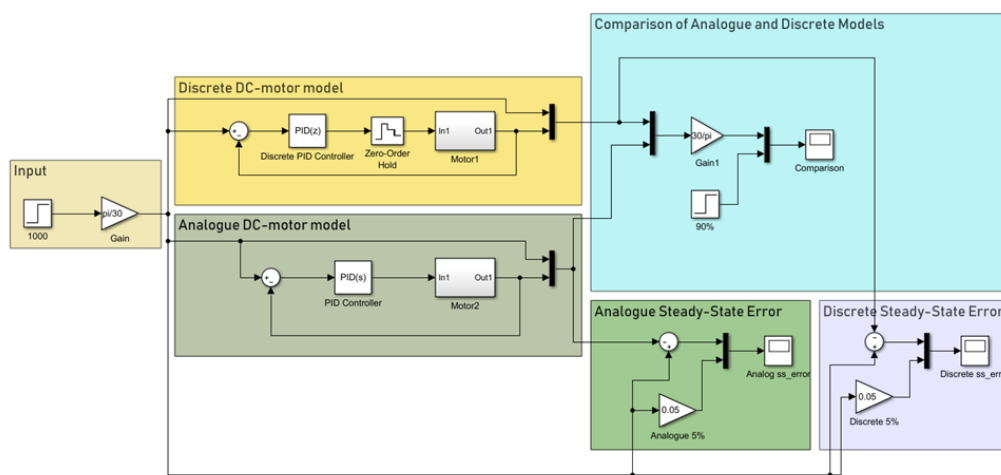
FT-sensorene brukes blant annet i polerings- og produksjonsroboter. For poleringsroboter er denne sensoren svært viktig, da man ved bruk av den kan styre hvor mye kraft end-effektoren skal påføre en bestemt del med. Dette fører til et homogent resultat der alle delene er polert med samme kraft, og derfor ser like ut.

**Ve-Re.6.3 Konklusjon**

Det ble initielt diskutert om vi skulle bruke en FT-sensor for å ha muligheten til å regulere kraften end-effectoren dyttet på fisken med. Dette ble etter dialog med TE lagt på is, da de mente at prosjektgruppen ikke burde ha dette som hovedfokus videre i prosjektutviklingen. Prosjektgruppen ser med dette på implementasjon av en force- og torquesensor som en mulig utvidelse av systemet.

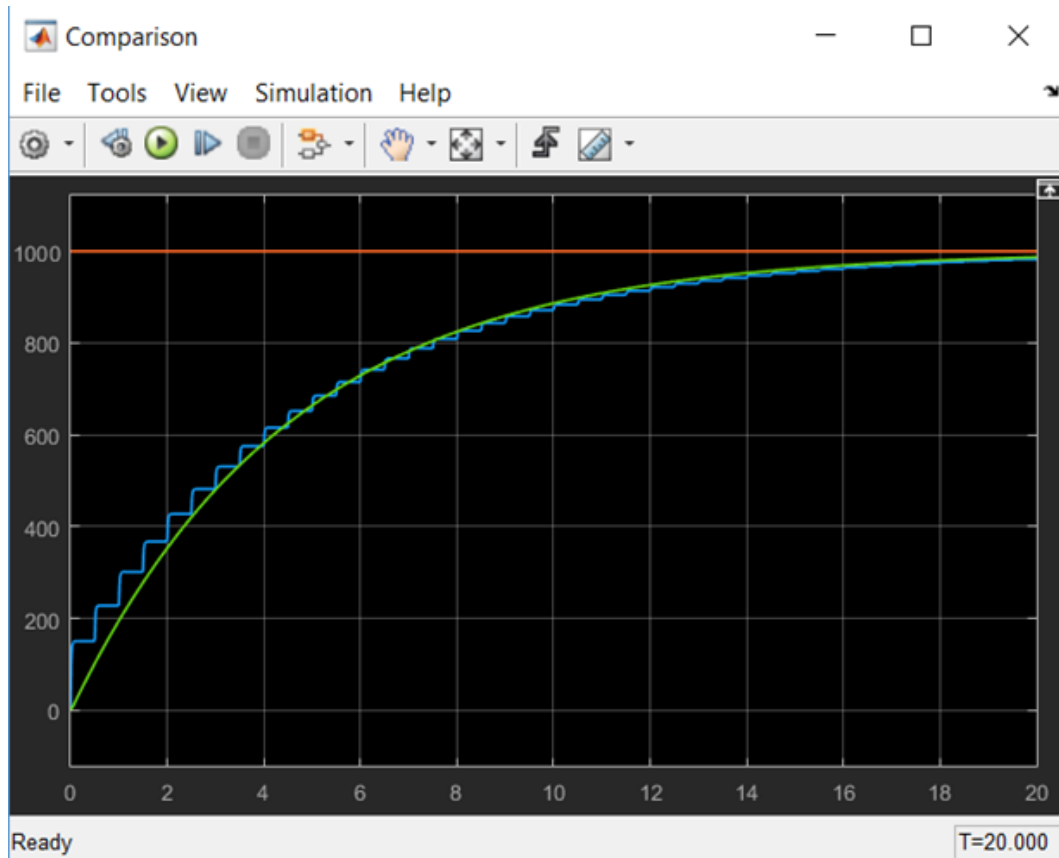
## Ve-Re.7 Regulatortype

Hensikten med dette researchdokumentet er å avgjøre hvilken regulatortype som kan tas i bruk i systemet. Det finnes i hovedsak to forskjellige regulatorer: kontinuerlige regulatorer og diskrete regulatorer. Disse vil bli sammenliknet, og det vil bli foretatt en vurdering på hvilken regulatortype som kan være det beste valget for dette systemet.



**Ve-Re-Fig.17:** Simulinkdiagram der en diskret og en analog regulator sammenliknes

Ve-Re-Fig.17 over viser et eksempel på en simulinkmodell som sammenlikner en diskret (digital) og en kontinuerlig (analog) regulator. Disse brukes for å regulere en DC-motor i dette eksempelet. DC-motorene er angitt med "Motor1" og "Motor2" og disse er antatt like. Resultatet vises i Ve-Re-Fig.18, hvorav det grønne signalet er for den kontinuerlige regulatoren, mens det blå er for den diskrete regulatoren. Figuren viser sprangresponsen til begge regulatorene som sammenliknes. Sprangresponsen vil si hvordan utgangssignalet varierer med tiden dersom det settes på et sprangsignal (et inngangssignal som går fra null og direkte til en verdi, deretter forblir signalet på denne verdien). I dette tilfellet har sprangsignalet en verdi på 1000. Det kan da sees hvordan motorenes rotasjonshastighet (rpm) øker mot denne verdien etter hvert som tiden går.



**Ve-Re-Fig.18:** Resulterende sprangrespons for simuleringen

### Ve-Re.7.1 Kontinuerlig regulator

En kontinuerlig regulator benytter analog elektronikk til å beregne et nytt pådrag til motoren. I dette tilfellet vil pådraget være et spenningsnivå som sendes til motoren for å regulere rotasjonshastigheten avhengig av hvor stort pådraget er. Den analoge elektronikken innebærer f.eks. summasjonsforsterkere som legger sammen bidragene til P-, I, og D-leddene i en PID-regulator, og ikke-inverterende forsterkere som gir en gitt "gain" eller forsterkning. Resultatet blir en kontinuerlig oppdatering av pådraget. En kontinuerlig regulator kan derfor ikke implementeres i en datamaskin som kun kan operere med digitale verdier (den kontinuerlige regulatoren i Ve-Re-Fig.17 viser kun en simulering og ikke en faktisk regulator).



### **Ve-Re.7.2 Diskret regulator**

En diskret regulator regulerer ved å beregne et nytt pådrag etter en gitt samplingstid. Dette pådraget holdes med en ZOH-funksjon (zero-order hold) til neste sample ankommer. Regulatoren på Ve-Re-Fig.17 har en samplingstid på 0.5s, som gir en oppdateringsfrekvens på 2Hz; noe som vil si at et nytt pådrag blir beregnet to ganger i sekundet. Det vises av figuren at det diskrete signalet følger det kontinuerlige signalet rimelig bra. En oppdateringsfrekvens på 2Hz er veldig lite, det er normalt å bruke en mye høyere frekvens enn dette. Som regel velges samplingstiden til å være 25 ganger høyere enn båndbredden til systemet. Med en høyere oppdateringsfrekvens ville sprangresponsene i Ve-Re-Fig.18 sett likere ut. En fordel med diskrete regulatorer er at de kan implementeres ved bruk av datamaskiner [62].

### **Ve-Re.7.3 Konklusjon**

Valget kan falle på å bruke digital regulering. Det er en fordel at disse kan implementeres med datamaskiner eller mikrokontrollere. Enkoderavlesning av motorposisjonene foregår også digitalt - og er dermed avhengig av en digital regulator. I de fleste moderne applikasjoner er motor, regulator og power converter et ferdigutviklet komplett system som f.eks. Siemens V90 systemet. Hvilket system vi velger har vi ikke tatt noen beslutning på ved dette tidspunktet.

### **Ve-Re.7.4 Oppdatering**

Ved senere research har det blitt tatt en avgjørelse på at reguleringssystemet for simuleringen sin del vil bestå av analoge PID-regulatorer. Den fysiske oppkoblingen vil foregå fra styreprogrammet i ROS via en PLS til å drive motorene.

## Ve-Re.8 Kinematikk

*Kinematikk* er vitenskapen om bevegelse hvor det ikke tas hensyn til krefter som påvirker objektet. Gjennom kinematikk studerer man posisjonen, hastigheten, akselerasjonen og alle deriverte av høyere orden med hensyn på posisjonsvariabelen [135]. Kinematikk er regnet for å være den mest fundamentale delen av robotdesign, analyse, kontroll og simulering [74].

### Ve-Re.8.1 Ledd og lenker

Et kinematisk ledd, eller joint, er en kobling mellom to legemer som begrenser deres relative bevegelse. Kinematiske ledd kan klassifiseres som enten "lower pair"-ledd eller "higher pair" ledd. "Lower-pair"-ledd er ledd hvor kontakten foregår på overflatene, mens "higher-pair"-ledd er ledd hvor kontakt kun foregår på punkter eller langs linjer [74]. Leddene på konseptet for RoboTrim er alle av typen "lower pair"-ledd, det vil derfor ikke bli presentert ytterligere materiale på "higher pair"-ledd.

En av de største fordelene med "lower pair"-ledd er at eventuell slitasje blir spredd jevnt over en overflate og smøring holder seg lettere mellom lenkene forbundet av leddet. Prinsipielt eksisterer det seks typer "lower pair"-ledd: *revolute*, *prismatisk*, *helisk*, *sylindrisk*, *sfærisk* og *planær*. På RoboTrim benyttes kun revolute- og prismatiske ledd. Revolute ledd betegnes ofte som  $R$  og prismatiske ledd som  $P$ .

#### Ve-Re.8.1.1 Revolute ledd

Revolute ledd (også kalt hengsleledd) er kinematiske par som gir en frihetsgrad, og tilfører rotasjon om en akse. Ledd av denne typen blir ofte drevet av roterende motorer.

### **Ve-Re.8.1.2 Prismatiske ledd**

Et prismatisk ledd gir en frihetsgrad og tilfører en lineær bevegelse mellom to legermer. Prismatiske ledd kan drives av forskjellige typer lineæraktuatorer, eksempelvis *hydrauliske-* eller *pneumatiske sylindere*.

### **Ve-Re.8.2 Konfigurasjonsområde**

*Konfigurasjonen* for en manipulator er en komplett spesifikasjon for lokasjonen for alle punkter på manipulatorene til en gitt tid. Et sett som inneholder alle mulige konfigurasjoner kalles *konfigurasjonsområde*. Siden en konfigurasjon består av flere punkter, fremstilles disse ofte som en vektor  $\mathbf{q}$ . En robot befinner seg i konfigurasjon  $\mathbf{q}$  når variablene for leddene antar verdiene  $q_1, \dots, q_n$  hvor  $q_i = \theta_i$  for rotasjonsledd og  $q_i = d_i$  for prismatiske ledd.

### **Ve-Re.8.3 Arbeidsområde**

Arbeidsområde for en manipulator kan beskrives som det totale volumet tilgjengelig for endestykket. Arbeidsområde kan begrenses av manipulatorens geometri og mekaniske begrensninger i ledd. For RoboTrims konsept som er et kartesisk-koordinat-system vil arbeidsområde være et rektangulært-prismatisk område.

### **Ve-Re.8.4 Kinematisk analyse**

#### **Ve-Re.8.4.1 Forward kinematics**

*Forward kinematics* omhandler å finne posisjonen og orienteringen til sluttstykke relativt til basen gitt posisjonen til alle ledd og alle geometriske parametre. I utviklingsprosessen av algoritmer for å koordinere manipulatorene er forward kinematics viktig for å kunne kalkulere posisjonene til aksene relativt til en fiksert ramme.

**Ve-Re.8.4.2 Inverse kinematics**

Hvor forward kinematics handler om å finne posisjon gitt alle ledds posisjon. Er inverskinematikk det motsatte. Altså å finne en manipulators konfigurasjon gitt ønsket posisjon av end-effectoren.



# Bibliography

- [1] PrimaNor, “Filet guide.”  
<http://primanor.com/salmon-fillet-trim-guide/> (Lest: 08.01.2018).
- [2] P. T. Aandahl, “En million tonn laks for 64,7 milliarder i 2017.”  
<https://seafood.no/aktuelt/nyheter/en-million-tonn-laks-for-647-milliarder-i-2017> (Lest: 08.01.2018),  
jan 2018.
- [3] Toreuse, “Salmon trimming machine baader 988.”  
<http://www.toreuse.com/salmon-trimming-machine-baader-988/> (Lest:  
11.01.2018), 2011.
- [4] Wikipedia, “Sintef.” <https://no.wikipedia.org/wiki/SINTEF> (lest:  
18.01.2018).
- [5] T. Engineering, “About tronrud engineering.”  
<http://www.tronrud.no/en/about/> (lest: 18.01.2018).
- [6] T. Mørkøre, “Filet av oppdrettslaks: Kvalitetsavvik og årsakssammenhenger.”  
<https://www.nofima.no/filearchive/Rapport%2017-2012.pdf> (04.2012).
- [7] m. f. Turid Mørkøre, “Mørke flekker i laksefilet.”  
<https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2368359/Rapport%2B34-2015.pdf?sequence=3> (10.2015).
- [8] NTB, “Ny rekord for norsk sjømateksport.” <http://www.hegnar.no/Nyheter/Naeringsliv/2018/01/Ny-rekord-for-norsk-sjoemateksport>  
(Lest: 08.01.18), jan 2018.

- [9] Regjeringen, “Kina senker tollsatser for sjømat.”  
[https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/kina-senker-tollsatser-for-sjomat/id2581169/?utm\\_source=www.regjeringen.no&utm\\_medium=epost&utm\\_campaign=Aktuelt+fra+N%C3%A6rings-+og+fiskeridepartementet-07.12.2017](https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/kina-senker-tollsatser-for-sjomat/id2581169/?utm_source=www.regjeringen.no&utm_medium=epost&utm_campaign=Aktuelt+fra+N%C3%A6rings-+og+fiskeridepartementet-07.12.2017) (Lest:18.01.2018), dec 2017.
- [10] H. Digre, “Lønnsom foredling av sjømat i norge,” 2014.
- [11] A. Berge, “Avhengig av polske kniver.”  
<http://ilaks.no/avhengig-av-polske-kniver-2/> (Lest: 18.01.2018), aug 2015.
- [12] Marel, “Itm2 – intelligent trimmerobot.” <https://marel.no/siste/itm2-%E2%80%93-intelligent-trimmerobot/2653>  
(Lest: 11.01.2018), aug 2013.
- [13] Baader, “Baader 988 trimming.” [https://www.baader.com/en/products/fish\\_processing/salmonides/salmon\\_and\\_seatrout/trimming.html](https://www.baader.com/en/products/fish_processing/salmonides/salmon_and_seatrout/trimming.html)  
(Lest: 11.01.2018).
- [14] Scrum.org, “What is scrum?.”  
<https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum> (17/01/2018).
- [15] K. Schwaber and J. Sutherland, “The scrum guide, the definitive guide to scrum: The rules of the game.” <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100>  
(17/01/2018).
- [16] D. Radigan, “Epics, stories, versions, and sprints.”  
<https://www.atlassian.com/agile/project-management/epics-stories-themes>(18.01.2018)).
- [17] MountainGoatSoftware, “Product owner.” <https://www.mountaingoatsoftware.com/agile/scrum/roles/product-owner>(Lest 19.01.2018).
- [18] H. I. Sørøst-Norge, “Standardavtale for studentenes arbeid med bachelorprosjekt ved høgskolen i sørøst-norge fakultet for teknologi,

- naturvitenskap og maritime fag institutt for realfag og industrisystemer,” pp. 2-3, 2018.
- [19] H. i Sørøst-Norge, “Standardavtale for studentenes arbeid med bachelorprosjekt ved høgsolen i sørøst-norge fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag institutt for realfag og industrisystemer. sider 2-3,” 2018.
- [20] Slack, “What is slack?.” [https://get.slack.help/hc/en-us/articles/115004071768-What-is-Slack-\(18/01/2018\)](https://get.slack.help/hc/en-us/articles/115004071768-What-is-Slack-(18/01/2018)).
- [21] Skype, “About skype.” <https://www.skype.com/en/about/> (18/01/2018).
- [22] G. Hagiz. <http://numeryx.com/cnc/5axes.htm> (15/05/2018).
- [23] M. S. Ola Brattvoll, “Hygiene manual for marine harvest.”
- [24] M. S. Flenner, “Hygienic equipment design criteria.” EHEDG, apr 2004.
- [25] S. N. LEKSIKON, “beising – av metaller.” [https://snl.no/beising\\_-\\_av\\_metaller](https://snl.no/beising_-_av_metaller)(Lest : 08.05.2018), feb 2018.
- [26] L. S. forskrifter, “Forskrift om materialer og gjenstander i kontakt med næringsmidler (matkontaktforskriften).” <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1993-12-21-1381>(Lest : 08.05.2018), apr 2018.
- [27] P. H. Corporation, “Rotary seal design guide.” <https://www.parker.com/literature/Engineered%20Polymer%20Systems/5350.pdf>(lest:13.04.2018).
- [28] B. A. B. G. . Co, “Brecoprotect - timing belts.” [https://www.bondy.dk/fileadmin/user\\_upload/Bondy/Transmission/Kataloger/BREC0protect\\_en\\_2015-12.pdf](https://www.bondy.dk/fileadmin/user_upload/Bondy/Transmission/Kataloger/BREC0protect_en_2015-12.pdf)(lest: 22.04.2018).
- [29] B. A. B. G. . Co, “Clamps.” <http://www.brecoflex.com/products/accessories/clamps/>(lest 20.04.2018 ).



## BIBLIOGRAFI

---

- [30] H. K. W. KG, "Technical information."  
[https://www.kipp.com/xs\\_db/DOKUMENT\\_DB/www/KIPP/BEDIENTEILE/Technische\\_Hinweise/en/TH\\_022\\_Hygienic-USIT\\_EN.pdf](https://www.kipp.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP/BEDIENTEILE/Technische_Hinweise/en/TH_022_Hygienic-USIT_EN.pdf)(lest:15.04.2018).
- [31] H. K. W. KG, "Technical information." [https://www.kipp.com/xs\\_db/DOKUMENT\\_DB/www/KIPP\\_DE\\_CH\\_PL/BEDIENTEILE/DataSheet/en/K13/K1326\\_Datasheet\\_20581\\_Hygienic\\_USIT\\_sealing\\_and\\_shim\\_washer\\_Freudenberg\\_Process\\_Seals--en.pdf](https://www.kipp.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP_DE_CH_PL/BEDIENTEILE/DataSheet/en/K13/K1326_Datasheet_20581_Hygienic_USIT_sealing_and_shim_washer_Freudenberg_Process_Seals--en.pdf)(lest:15.04.2018).
- [32] NASA, "Newton second law."  
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/newton2.html>(Lest :23.04.2018), 2015.
- [33] S. N. Leksikon, "pitting." <https://snl.no/pitting>(Lest : 30.04.2018), feb 2018.
- [34] A. Steels, "Stainless steel grade datasheets."  
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Atlas\\_Grade\\_datasheet\\_-\\_all\\_datasheets\\_rev\\_Aug\\_2013.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Atlas_Grade_datasheet_-_all_datasheets_rev_Aug_2013.pdf)(Lest : 30.04.2018), aug 2013.
- [35] ASM, "Aisi type 316 stainless steel." <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mq316j>(Lest :23.04.2018).
- [36] S. N. Leksikon, "sikkerhetsfaktor."  
<https://snl.no/sikkerhetsfaktor>(Lest : 25.04.2018), oct 2015.
- [37] Sandvik, "Sandvik saf 2205 for wirelines datasheet."  
[file:///C:/Users/139427/Downloads/datasheet-sandvik-saf-2205-for-slicklines-en-v2017-01-19%2012\\_34%20version%201.pdf](file:///C:/Users/139427/Downloads/datasheet-sandvik-saf-2205-for-slicklines-en-v2017-01-19%2012_34%20version%201.pdf)(Lest : 17.05.2018), jan 2017.
- [38] S. N. Leksikon, "utmatting - teknikk."  
[https://snl.no/utmatting\\_-\\_teknikk](https://snl.no/utmatting_-_teknikk)(Lest : 25.04.2018), feb 2009.
- [39] G. S. Sigmund Christensen, *KONSTRUKSJONSELEMENTER*. Gyldendal Norsk Forlag AS, second ed., feb 1984.

- [40] E. H. E. . D. G. EHEDG, *Welding stainless steel to meet hygienic requirements*, first edition ed., jul 1993. Doc. 9.
- [41] G. S. Gunnar Dahlvig, Sigmund Christensen, *Konstruksjonselementer*. Gyldendal undervisning, second ed., 2014. Kap.2.
- [42] J. G. R.S. Khurmi, *Machine design*. Eurasia publishing house (PVT.) LTD., 2005. Chapert 10: Welded Joints.
- [43] Wittenstein, “Small servo drive system connected to siemens automation,” 2016.
- [44] Siemens, “Drive design tool sizer for siemens drives.”  
<http://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/engineering-software/drive-design-tool-sizer/pages/drive-design-tool-sizer.aspx>(Lest 14.03.2018).
- [45] Wittenstein, “Industrial small servo drive system,” 2017.
- [46] W. Bolton, *Mechatronics*, vol. 6. Pearson, 2015.
- [47] Kollmorgen, “Kollmorgen akmhtm stainless steel washdown motor selection guide.” [http://www.hainzl.at/products/automatisierung\\_elektrotechnik/komponenten/servomotore-und-servoregler/servomotore/kollmorgen-akmh-selection-guide.pdf](http://www.hainzl.at/products/automatisierung_elektrotechnik/komponenten/servomotore-und-servoregler/servomotore/kollmorgen-akmh-selection-guide.pdf) (2013).
- [48] Kollmorgen, “Akmh, instructions manual, hygienic servomotors,” 2016.
- [49] Kollmorgen, “Kollmorgen akmh hygienic stainless steel washdown motors.”  
<https://www.kollmorgen.com/onlinebooks/akmh/files/basic-html/page33.html> (Lest: 08.05.2018).
- [50] Kollmorgen, “Akm, instructions manual,” 2018.
- [51] Trinamic, “Ethercat.” <https://www.trinamic.com/technology/architecture/interfaces/ethercat/>.
- [52] EtherCAT, “Why use ethercat?.”  
[https://www.ethercat.org/en/why\\_use\\_ethercat.htm](https://www.ethercat.org/en/why_use_ethercat.htm).

## BIBLIOGRAFI

---

- [53] Library.AutomationDirect, "Ethernet/ip: Implicit vs. explicit messaging."  
<https://library.automationdirect.com/ethernetip-implicit-vs-explicit-messaging/>.
- [54] R. Industrial, "Ros bridges for common field buses."  
<https://rosindustrial.org/news/2016/2/23/ros-bridges-for-common-field-busses> (Lest: 17.05.2018), feb 2016.
- [55] O. I. Automation, "Machine automation controller nj/nx-series."  
[http://www.ia.omron.com/data\\_pdf/cat/nj\\_nx-series\\_ds\\_e\\_4\\_6\\_csm1042737.pdf?id=3111](http://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/nj_nx-series_ds_e_4_6_csm1042737.pdf?id=3111), apr 2018.
- [56] O. I. Automation, "Gx-jc03 / jc06."  
<http://www.ia.omron.com/products/family/3079/lineup.html>, jul 2013.
- [57] Wittenstein, "Operation manual simco drive," jun 2017.
- [58] Kollmorgen, "Akd® , akd® basic, akd® pdmm installation manual," oct 2017.
- [59] Kollmorgen, "Part number scheme cables for centralized systems."  
<https://www.kollmorgen.com/en-us/developer-network/part-number-scheme-cables-centralized-systems-0/>, jan 2018.
- [60] Kollmorgen, "Akd quick start," dec 2015.
- [61] M. Well, "3000w single output power supply rps 3000-series." [https://www.elfadistrelec.no/Web/Downloads/he/et/RSP3000\\_eng\\_datasheet.pdf](https://www.elfadistrelec.no/Web/Downloads/he/et/RSP3000_eng_datasheet.pdf), oct 2010.
- [62] E.-N. Franklin, Powell, *Feedback Control of Dynamic Systems*. Pearson, 2015.
- [63] Mathworks, "Model-based design: From concept to code."  
<https://se.mathworks.com/products/simulink.html> (Lest: 08.05.2018).
- [64] J. Schrimpf, "Sensor-based real-time control of industrial robots."  
[https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/261111/664285\\_FULLTEXT01.pdf?sequence=1](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/261111/664285_FULLTEXT01.pdf?sequence=1)(21.02.2018), aug 2013.
- [65] O. K. Bruno Siciliano, *Springer Handbook of Robotics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

- [66] ROS.org, “What is ros?.”  
<http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>(26.02.2018), may 2014.
- [67] ROS.org, “Ros packages.” <http://wiki.ros.org/Packages>(20.05.2018),  
may 2014.
- [68] ROS.org, “roscpp.” <http://wiki.ros.org/Nodes>(16.05.2018), may.
- [69] ROS.org, “msg.” <http://wiki.ros.org/msg>(16.05.2018), may.
- [70] ROS.org, “Urdf.” <http://wiki.ros.org/urdf>(16.05.2018), may.
- [71] gazebo.org, “Why gazebo?.” <http://gazebo.org/>(14.03.2018), jan.
- [72] D. van Heesch, “Doxygen.”  
<http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/>(20.05.2018), may.
- [73] ROS.org, “Topics.” <http://wiki.ros.org/Topics>(13.04.2018), may 2014.
- [74] S. N. Dario Floreano, Phil Husbands, *Springer Handbook of Robotics*.  
Springer, 2008.
- [75] A. Sols, *Systems Engineering Theory and Practice*. Universidad Pontificia  
Comillas de Madrid, 2014.
- [76] J. Westland, “What is project risk and should you care?.”  
[https://www.projectmanager.com/blog/  
what-is-project-risk-and-why-should-you-care](https://www.projectmanager.com/blog/what-is-project-risk-and-why-should-you-care) (03.08.2015).
- [77] “Norsk stål prislister.”  
<http://pub.webbook.no/norskstaal/prislister/>(Lest : 21.05.2018), may  
2018.
- [78] W. M. L. D., “Profiling mild steel welding processes to reduce fume emissions  
and costs in the workplace.”  
<https://academic.oup.com/annweh/article/58/4/403/233929>(Lest :  
20.05.2018), 2014.
- [79] “Inverted pendulum: Digital controller design.”  
[http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=  
InvertedPendulum&section=ControlDigital](http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=InvertedPendulum&section=ControlDigital) (Lest: 14.05.2018).

## BIBLIOGRAFI

---

- [80] S. D. M. S. Z. Darcie Chinnis, Amanda Guiliani, “Triangles & trusses.”  
[https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub\\_trusses\\_lesson01](https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub_trusses_lesson01)(lest 04.04.2018 ).
- [81] N. A. of Corrosion Engineers, “Galvanic corrosion.” <https://www.nace.org/Corrosion-Central/Corrosion-101/Galvanic-Corrosion/>(lest 03.03.2018 ).
- [82] K. Bell, “elementmetoden,” *STORE NORRSKE LEKSIKON*, oct 2009.
- [83] S. N. Leksikon, “dynamisk last.” [https://snl.no/dynamisk\\_last](https://snl.no/dynamisk_last)(Lest : 25.04.2018), feb 2009.
- [84] H. R. S. Engineering, “Curvature based mesh advantages in solidworks simulation.” Hawk Ridge Systems, nov 2013.
- [85] “Hooke’s law.” <https://www.chegg.com/homework-help/definitions/hookes-law-5>(Lest : 20.05.2018).
- [86] KhanAcademy, “What is a centripetal force?.”
- [87] H. Helgesen, *Sveiste konstruksjoner*. Universitetsforlaget AS, 1987. chapter 11.
- [88] I. MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION, “Understanding inertia ratio and its effect on machine performance.” <https://us.mitsubishielectric.com/fa/en/support/technical-support/knowledge-base/getdocument/?docid=3E26SJWH3ZZR-41-13086> (11.2015).
- [89] Siemens, “Evaluation of the external moment of inertia to the motor moment of inertia ratio. an aid for specifying limit values for the color coding insizer.” <https://support.industry.siemens.com/cs/document/79684499/sizer-for-siemens-drives%3A-bewertung-verh%C3%A4ltnis-fremdtr%C3%A4gheitsmoment-zu-motortr%C3%A4gheitsmoment?dti=0&lc=de-WW> (08.2013).

- [90] D. Collins, “What is servo motor inertia and why does it matter?.”  
<https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-servo-motor-inertia-and-why-does-it-matter/>  
(20.08.2015).
- [91] R. W. A. Jr., “Load to motor inertia mismatch: Unveiling the truth.”  
<https://pdfs.semanticscholar.org/f1d3/f1eee2a1a3380eb5cdbc3a605a21c6058bfd.pdf> (Lest: 03.05.2018).
- [92] G. Richie, “Tuning a high inertia ratio mismatch - two minutes of motion series.” <https://www.youtube.com/watch?v=tnbTqdx02Gs&amp=&t=245s>  
(23.08.2016).
- [93] Kollmorgen, “Using the performance servo tuner.”  
<http://curvegen.kollmorgen.com/webhelp/workbench/english/Content/UsersManual/Autotuner.htm> (Lest: 03.05.2018).
- [94] Siemens, “Simatic profinet system description.” [http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt\\_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto/profinet/man\\_pnsystem\\_description.pdf](http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/profinet/man_pnsystem_description.pdf), jun 2008.
- [95] J. Sivén, “Securing profinet networks.”  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92739/Siven\\_Jami.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92739/Siven_Jami.pdf?sequence=1&isAllowed=y), may 2015.
- [96] E. Fladberg, “Profinet posisjoneres.”  
<https://www.tu.no/artikler/profinet-posisjoneres/218418>, mar 2013.
- [97] Innovasic, “Profinet rt vs. profinet irt.” <http://www.innovasic.com/news/industrial-ethernet/profinet-rt-vs-profinet-irt/>, apr 2014.
- [98] Kollmorgen, “Akmh instructions manual, hygienic servomotors.”  
[https://www.kollmorgen.com/sites/default/files/public\\_downloads/AKMH\\_Instructions\\_de.pdf](https://www.kollmorgen.com/sites/default/files/public_downloads/AKMH_Instructions_de.pdf), may 2016.
- [99] Siemens, “6sl3055-0aa00-5ba3.” <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6SL3055-0AA00-5BA3>.

## BIBLIOGRAFI

---

- [100] Siemens, “Our fastest controller for automation.”  
<https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html#>.
- [101] Siemens, “Simatic s7-1500 t-cpu technical slides,” 2017.
- [102] HMKdirect, “Simotion vs s7-1500t.”  
<https://www.hmkdirect.com/blog/vs/>, apr 2018.
- [103] Siemens, “Simotion: the powerful motion control system for all requirements.” [https://www.industry.siemens.com/datapool/industry/drives/Docs/MC/SIMOTION-enriched\\_en.pdf](https://www.industry.siemens.com/datapool/industry/drives/Docs/MC/SIMOTION-enriched_en.pdf), 2012.
- [104] Kollmorgen, “Kollmorgen akmh stainless steel washdown motor selection guide.” [http://www.hainzl.at/products/automatisierung\\_elektrotechnik/komponenten/servomotore-und-servoregler/servomotore/kollmorgen-akmh-selection-guide.pdf](http://www.hainzl.at/products/automatisierung_elektrotechnik/komponenten/servomotore-und-servoregler/servomotore/kollmorgen-akmh-selection-guide.pdf).
- [105] B. Bouma, “Overview and control of dc and ac motors.”  
<https://www.calvin.edu/~pribeiro/courses/engr315/samples/DC-AC-Motors-Control.doc> (Lest: 11.05.2018).
- [106] “Motor constants.” [https://en.wikipedia.org/wiki/Motor\\_constants](https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_constants) (Lest: 11.05.2018).
- [107] K. Knight, “Understanding inertia and reflected inertia.”  
<https://www.automateshow.com/filesDownload.cfm?dl=Knight-UnderstandingInertiaandReflectedInertia.pdf> (Lest: 11.05.2018).
- [108] A. o. R. Celis, “Design and control of a system for lifting loads, using state feedback and pid controllers.”  
[https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n2\\_27.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n2_27.pdf) (2018).
- [109] Hirata, “Ar-450.” <http://www.directindustry.com/prod/hirata/product-22535-1011131.html>(Lest:18.02.2018), 2011.
- [110] ABB, “Abb yumi datasheet,” 2017.

- [111] D. Industry, "Abb delta flexpicker." <http://www.directindustry.com/prod/abb-robotics/product-30265-169123.html>(Lest : 18.02.2018).
- [112] FANUC, "Lr mate 200id/4s." <http://www.fanuc.eu/es/en/robots/robot-filter-page/lrmate-series/lrmate-200id-4s>(Lest : 18.02.2018).
- [113] clrwtr. <http://www.clrwtr.com/Images/Articles/Encoders/Incremental-Encoder-Square-Wave.jpg>.
- [114] plcdev. <http://www.plcdev.com/files/plcdev/images/01-13%20optical%20encoder.png>.
- [115] Cloudinary.  
[https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w\\_640,h\\_640,c\\_limit/Copy\\_of\\_\\_MG\\_0187\\_d%C3%A9coup%C3%A9\\_ywkrdn.jpg](https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w_640,h_640,c_limit/Copy_of__MG_0187_d%C3%A9coup%C3%A9_ywkrdn.jpg).
- [116] ABB, "Abb scara data sheet," 2017.
- [117] R. Vaughn, "The difference between cartesian, six-axis, and scara robots," *MachineDesign*, dec 2013.
- [118] IAI, "Multi axis cartesian robot." IAI Multi Axis Cartesian Robots Catalog, may 2017.
- [119] D. Collins, "When do you need a gantry robot?," feb 2015.
- [120] I. Actuator, "Iai cartesian robot brochure."  
[https://www.intelligentactuator.com/pdf/CE0247-1A\\_ICSB.pdf](https://www.intelligentactuator.com/pdf/CE0247-1A_ICSB.pdf)(Lest: 22.02.2018). Page. 183.
- [121] I. Bonev, "Delta robots vs scara robots," *Control and Robotics Laboratory*, sep 2012.
- [122] D. Industry, "Yamaha 1 axis cartesian robot for the food industry."  
<http://www.directindustry.com/prod/yamaha-motor-co-ltd/product-25092-1690458.html>(Lest: 22.02.2018).
- [123] B. Wire, "Global scara robots market in food & beverage," feb 2016.
- [124] N. D. Keijser, "Benefits of a dual arm collaborative robot in industrial applications." ABB Robotics.



## BIBLIOGRAFI

---

- [125] Wikipedia, “Delta.” [https://en.wikipedia.org/wiki/Delta\\_robot](https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_robot) (Lest: 22.02.2018), jan 2018.
- [126] M. Burris, “Stepper motors vs. servo motors - selecting a motor.” <https://www.lifewire.com/stepper-motor-vs-servo-motors-selecting-a-motor-818841>, feb 2018.
- [127] Linak, “Elektrisk lineær aktuator.” <http://www.linak.no/om/?id3=7401>.
- [128] Kollmorgen, “Preventing bacteria: Hygienic stainless steel linear actuators.” <https://www.kollmorgen.com/hi-in/products/linear-actuators/electric-cylinders/erd-aktuatoren/erd-actuator/>.
- [129] Thomson, “New micron® aquatrue planetary® gearheads provide robust performance in harsh food/beverage/pharmaceutical processing environments.” [https://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/newsroom/20110316\\_NA.php](https://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/newsroom/20110316_NA.php), mar 2011.
- [130] S. B. Niku, *An Introduction to Robotics Analysis, Systems, Applications*. Prentice Hall, 2001.
- [131] J. H. Galil, “Servo motor controller basics.” <http://www.galilmc.com/news/motion-controllers/servo-motor-controller-basics>, 2018.
- [132] Dynapar, “Incremental & absolute encoders.” [http://www.dynapar.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Technology/White\\_Papers/New\\_incremental%20absolute\\_7\\_29\\_13.pdf](http://www.dynapar.com/uploadedFiles/_Site_Root/Technology/White_Papers/New_incremental%20absolute_7_29_13.pdf).
- [133] Dynapar2, “Using absolute encoders with your application.” <http://www.dynapar.com/technology/absolute-rotary-encoders/>.
- [134] M. Bélanger-Barrette, “Robot force torque sensor - an introduction.” <https://blog.robotiq.com/bid/72422/Robot-Force-Torque-Sensor-An-Introduction>, may 2014.
- [135] J. J. Craig, *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Pearson Education, 2005.