Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave

Elektro

ING3055

Predefinert informasjon

Startdato:	31-03-2020 09:00	**Termin:**	2020 VÅR
Sluttdato:	07-05-2020 14:00	**Vurderingsform:**	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave Elektro med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3055 1 BOPPG 2020 VÅR HAUGESUND		
Intern sensor:	Runald Walter Meyer		

Deltaker

Kandidatnr.: 303

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Robotisert celle for automatisert preparering og sveising av flenser

Engelsk tittel *: Robotic cell for automated sanding and welding of flanges

Navn på veileder *: Runald Walter Meyer, Harald Spångberg

Sett hake dersom besvarelsen kan brukes som eksempel i undervisning?:	Ja	**Egenerklæring *:**	Ja
		Inneholder besvarelsen konfedensielt materiale?:	Nei
Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *:	Ja		

Gruppe

Gruppenavn:	(Anonymisert)
Gruppenummer:	3
Andre medlemmer i gruppen:	302

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

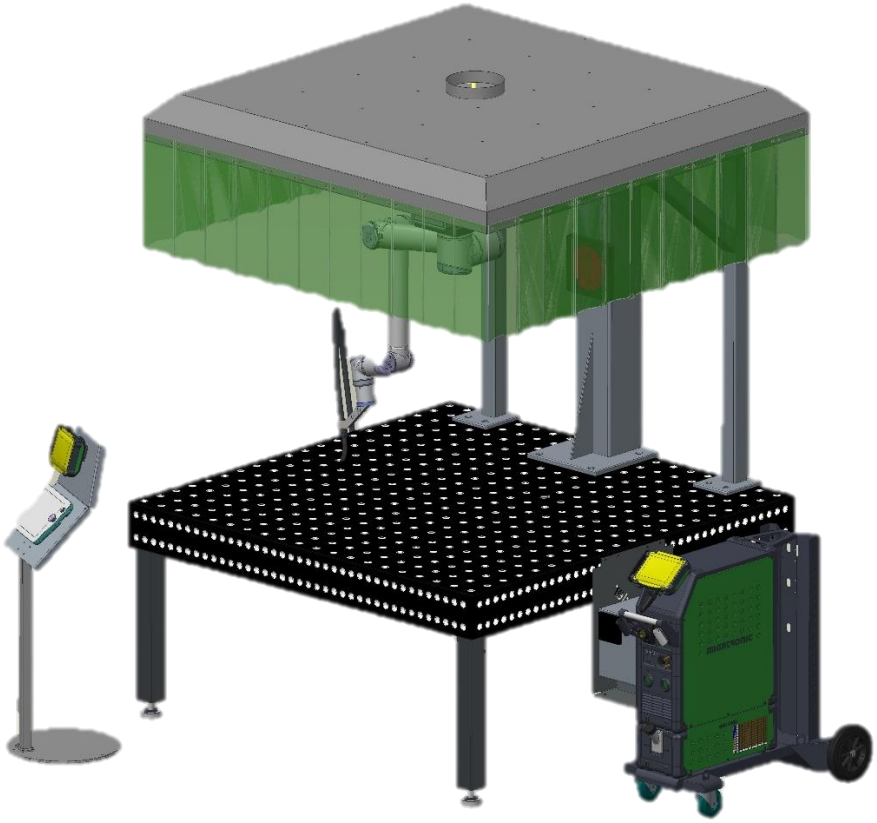
Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Ja, Ydra AS

Robotisert celle for automatisert preparering og sveising av flenser



Bacheloroppgave utført ved

Høgskulen på Vestlandet – Haugesund

Studieretning:	Elektro Y-vei
Emnekode:	ING3055
Innleveringsfrist:	21.05.2020

Av:	Heine Teige	Kandidatnummer: 303
	Andreas Nilsen-Sjøen	Kandidatnummer: 302

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Heine Teige
Andreas Nilsen-Sjøen

Linje & studieretning: Elektro Y-vei, industriell automatisering

Oppgavens tittel: *Robotisert celle for automatisert preparering og sveising av flenser*

Oppgavetekst:

Ydra er en produsent av pumper til bruk offshore, maritimt, innen fiskeoppdrett og innen vann og avløp. Selskapet er et resultat av fusjonen mellom Mapex og VestJet, og eies av Hatteland. Hver pumpe har en tilhørende elektromotor, disse blir sammenføyd ved hjelp av et mellomstykke. Mellomstykket består av to flenser og et rør, som først blir preparert og deretter sammenføyd med sveising. I dag gjennomføres hele prosessen manuelt. Først sandblåses arbeidsstykkene, deretter blir de sentrert og sveist sammen på et rotasjonsbord. Dagens løsning er tidskrevende og belastende for operatøren.
Studentene skal videreutvikle dagens løsning slik at sveiseprosessen effektiviseres. Det er foreslått fra selskapet å bruke en robot til å hel-automatisere denne prosessen. Studentene skal se på ulike løsninger og diskutere fordeler og ulemper med disse. Videre blir endelig løsning valgt metodisk på bakgrunn av funksjon, kvalitet og økonomi. Det er ønskelig fra selskapet at valgt løsning skal kunne utvides med en prepareringsdel på et senere tidspunkt. Arbeidet skal innarbeides i en oversiktlig rapport der det drøftes hvordan valgt løsning fungerer. Det vil bli fremlagt dokumentasjon i form av tegninger, utkast til programvare og en 3D-animasjon.

Endelig oppgave gitt: *28.02.20*

Innleveringsfrist: Torsdag 7.mai 2020 kl. 12.00

Intern veileder: Runald Walter Meyer
Harald Spångberg

Ekstern veileder: *Mads Ragnar Bårdsen*

emailadresse ekstern veileder: *mads@ydra.no*

Godkjent av studieansvarlig: H. Spångberg

Dato: 14/04-20

Høgskulen på Vestlandet
Campus Haugesund
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND

Oppgavens tittel: Robotisert celle for automatisert preparering og sveising av flenser		Rapportnummer: (fylles ikke ut)
Utført av: Heine Teige, Andreas Nilsen-Sjøen		
Linje: Bachelor i ingeniørfag, Elektro Y-vei		Studieretning: Industriell Automatisering
Gradering: Åpen	Innlevert dato: 10.05.2020	Bedrift som bacheloroppgaven skrives for: Ydra AS Husøyvegen 281 4262 Avaldsnes
Interne veiledere: Runald Walter Meyer, Harald Spångberg		Eksterne veiledere: Mads Ragnar Bårdsen, Morten Støle Odland

Ekstrakt

Ydra AS produserer pumper der hver pumpe har en tilhørende elektromotor. Disse er sammenføyd ved hjelp av et mellomstykke. Prosessen for å produsere disse foregår i dag manuelt, og kan deles inn i to delprosesser som er preparering og sveising. I første omgang er det ønskelig at sveiseprosessen skal automatiseres. Denne rapporten ser på ulike løsninger som finnes på markedet og kommer frem til en spesifikk løsning basert på funksjon, kvalitet og økonomi. Rapporten vil fungere som et rådgivende hjelpemiddel for Ydra AS, som har tenkt til å investere i en løsning for å effektivisere sveiseprosessen. Ulike prinsipp og løsninger er blitt vurdert som grunnlag for en foreslått løsning. Resultatet er blitt et forslag om å bruke en kollaborativ robotcelle.

Forord

Ved Høgskulen på Vestlandet avsluttes den treårige elektroingeniør-utdanningen med en obligatorisk bacheloroppgave. Bacheloroppgaven består av en skriftlig rapport i tillegg til en muntlig presentasjon som til sammen gir 20 studiepoeng. Vi er en gruppe på to heltidsstudenter ved campus Haugesund og har begge fagbrev i automatiseringsfaget.

Oppgaven skal svare på problemstillinger som har tilknytning til et eller flere av de underviste fagområder. Oppgaven skal også ha tilknytning til aktuelle bedrifter eller offentlige etater i regionen (Høgskulen på Vestlandet, 2020).

I denne bacheloroppgaven har gruppen samarbeidet med Ydra AS, som er et lokalt firma lokalisert på Karmøy. Prosjektet har vært lærerikt og spennende.

Gruppen her fått god veiledning og hjelp gjennom prosjektet, og ønsker derfor å takke følgende personer:

- Runald Walter Meyer og Harald Spångberg, interne veiledere.
- Mads Ragnar Bårdsen og Morten Støle Odland, eksterne veiledere.

Vi ønsker også å rette en takk til de produksjonsarbeiderne som har vært involvert i prosjektet, og som har bidratt med kunnskap og informasjon underveis.

Til slutt vil vi takke Ydra AS for muligheten til å skrive bacheloroppgaven og for samarbeidet. Vi setter stor pris på at vi fikk en omvisning i produksjonslokalene og sett på hvordan prosessen ble gjennomført.

Sted og dato:

HAUGESUND 07.05.20

Signaturer:

Heine Teige

Andreas Nilsen-Sjøen

Innholdsfortegnelse

Forord ... iii
Figurer ... vi
Tabeller ... vii
Sammendrag ... viii
Summary ... ix
Forkortelser og begrep ... x
1 Innledning ... 1
1.1 Bakgrunn ... 1
1.1.1 Ydra ... 1
1.1.2 Oppgaven ... 1
1.2 Formål ... 5
1.3 Innspill fra Ydra ... 5
2 Mulige løsninger ... 6
2.1 Valggrunnlag ... 6
2.2 Additiv tilvirkning ... 6
2.3 Sveiserobot ... 8
2.3.1 Rørsveisere ... 8
2.3.2 Spesialtilpasset løsning ... 10
2.3.3 Robotarm ... 11
3 Foreslått løsning ... 13
3.1 Generelt om Migatronic ... 13
3.2 Generelt om Universal Robots ... 13
3.3 Migatronic CoWelder ... 13
3.4 Hva inneholder løsningen? ... 14
3.5 UR-Robotarm ... 14
3.5.1 UR10 Spesifikasjoner ... 15
3.5.2 UR10 Arbeidsområde ... 16
3.6 Sveiseapparat ... 17
3.6.1 Generelt om MIG-sveising ... 17
3.6.2 Sigma Select 400 ... 17
3.7 Tegninger/Skisser ... 18
3.8 Styring og programmering ... 19
3.8.1 Elektrisk grensesnitt ... 21
3.9.1 Arbeidsprosess ... 22
3.9.2 Arbeidsområde ... 23
3.9.3 Posisjonering og sentrering ... 24
3.9.4 Feildeteksjon ... 24

3.9.5 Ute av drift ... 25
3.10 Vedlikehold ... 26
3.10.1 Robotarm ... 26
3.10.2 Sveiseapparat ... 27
3.11 HMS – Helse, Miljø og Sikkerhet ... 27
3.11.1 Risikovurdering ... 27
3.11.2 Sikkerhetsrelaterte funksjoner og grensesnitt for UR-roboten ... 27
3.11.3 Begrensede sikkerhetsrelaterte funksjoner ... 28
3.11.4 Sikkerhetsrelaterte elektriske inn- og utganger ... 28
3.11.5 ARC Safety Control og ROBOT Motion Safety Control ... 29
3.11.6 Standarder ... 29
3.11.7 Sveiseprosess, personlig verneutstyr ... 30
3.11.8 Generelle forsiktighetsregler ... 30
3.11.9 Miljø ... 30
3.12 Økonomi ... 31
4 Simulering av robotcelle ... 32
4.1 Modell ... 32
4.1.1 Simulering av sveis med gripeverktøy ... 32
4.2 Bilder av oppsett ... 33
4.3 Bilder fra simulering ... 34
4.4 Programmering og konfigurering ... 36
5 Forslag til utvidelse ... 38
5.1 Lagring av deler ... 38
5.2 Automatisert preparering ... 39
5.2.1 Forslag 1 ... 40
5.2.2 Forslag 2 ... 41
6 Konklusjon ... 42
7 Bibliografi ... 43
Vedlegg ... A
Vedlegg 1 – Liste over mellomstykker ... B
Vedlegg 2 – Oversiktsskisse for konstruksjon til simulering ... C
Vedlegg 3 – Skisse for del pos. 1 fra oversiktsskisse ... D
Vedlegg 4 – Skisse for del pos. 2 fra oversiktsskisse ... E
Vedlegg 5 – Skisse for del pos. 3 fra oversiktsskisse ... F
Vedlegg 6 – Skisse av bord for montering ... G

Figurer

Figur 1 Sentrifugalpumpe med tilhørende elektromotor. (Ydra, 2020) 1
Figur 2 Illustrasjon av et mellomstykke. Hentet fra tegning nr. 106-16016028131 fra Ydra.... 2
Figur 3 Illustrasjon av systemgrenser..... 3
Figur 4 Flytskjema av dagens prosess. Prepareringsdelen er markert med blått og sveisedelen er markert med grønt. 4
Figur 5 Bilde av produktet Production System™. (Desktop Metal, 2020)..... 7
Figur 6 Bilde av sveisehode til et orbital-sveiseapparat. (Orbimax, 2020)..... 8
Figur 7 Robotcelle spesialisert til å sveise rørflenser. (Müller Opladen, 2020)..... 9
Figur 8 Illustrasjon av de seks frihetsgradene. (MathWorks, 2020) 10
Figur 9 Illustrasjon av en robotarm med fem frihetsgrader. (ScienceDirect, 2020) 11
Figur 10 Illustrasjon på bruk av industriroboter i bilproduksjon, her jobber robotene i et eget avgrenset område bak gitter (OpenPR, 2020). 12
Figur 11 Universal Robots sine forskjellige UR-robotarmer, alle med 6 roterende ledd (Universal Robots, 2020). 13
Figur 12 UR10-Robotarm, samme type som vil bli brukt i foreslått løsning (Universal Robots, 2020)..... 15
Figur 13 UR10 arbeidsområde, til venstre ses roboten fra "top view", til høyre ses roboten fra "side view". Alle dimensjoner på skissen er i mm (Universal Robots, 2020). 16
Figur 14 Illustrasjon av sylindrisk volum som verktøyet bør unngå (Universal Robots, 2020). 16
Figur 15 Betjeningspanel for Sigma Select 400 (Migatronic, 2020). 17
Figur 16 Oversiktsskisse av valgt løsning (Migatronic, 2020). 18
Figur 17 Skisse av valgt løsning (Migatronic, 2020)..... 18
Figur 18 Utklipp fra programmeringsgrensesnittet PolyScope (Zacobria, 2020)..... 19
Figur 19 Teach-pendant/tablet som brukes til programmering og styring (Universal Robots, 2020)..... 20
Figur 20 Redigering av programstruktur. Skjermbilde fra URSim..... 20
Figur 21 Oversikt over inn- og utganger (Universal Robots). 21
Figur 22 Flytskjema av oppstartsprosess med CoWelder. Grønt utføres av operatør og blått av robot. 22
Figur 23 Illustrasjon av radiusen til arbeidsarealet på sveisebordet..... 23
Figur 24 Eksempel på et sentreringsverktøy: Internal Fit-Up clamp. (Sumner, 2020)..... 24
Figur 25 Oversikt over standarder som gjelder for tradisjonelle industrielle roboter (ISO, 2020)..... 29
Figur 26 Sikkerhetssoner for samarbeidene roboter (Robotic Industries Association, 2020). 29
Figur 27 Illustrasjon på lysbuetid pr. time ved bruk av CoWelder og ved manuell produksjon (Migatronic, 2020). 31
Figur 28 Oppsett for simulering. Foto: Heine Teige 33
Figur 29 Kontrollboks og touch-pendant/tablet som brukes til programmering og konfigurasjon. Foto: Heine Teige..... 33
Figur 30 Tusj montert i griper for å simulere sveising. Foto: Heine Teige..... 34
Figur 31 Robotarm i start/home pos. før simulering starter, robotarmen returnerer til denne pos. etter gjennomkjøring.. Foto: Heine Teige..... 34
Figur 32 Simulering starter med utvendig sveis av mellomstykke. Foto: Heine Teige 35
Figur 33 Simulering forsetter med innvendig sveis av mellomstykke. Foto: Heine Teige..... 35
Figur 34 Deler av programmet benyttet i simuleringen. Foto: Andreas Nilsen-Sjøen 36

Figur 35 Programmering av sirkelbevegelse (Universal Robots, 2020). 37
Figur 36 Skisse for lagring av flenser, sett ovenfra. Flenser er illustrert med grå farge. 38
Figur 37 Skisse for lagring av flenser, sett fra siden. 38
Figur 38 UR-robotarm som er montert på en Linear Motion Kit skinne (Universal Robots, 2020)..... 39
Figur 39 UR-robotarm som er montert på Linear Motion Kit skinne, montert i bjelke (Universal Robots, 2020). 39
Figur 40 Dual Quick Changer verktøyhode (Onrobot, 2020). 40
Figur 41 Smartshift-verktøy (Universal Robots, 2020). 40
Figur 42 Skisse for forslag 2, bruke robot til å flytte på deler mellom stasjonene, robot montert på linear motion kit. 41

Tabeller

Tabell 1 Eksempel på komponentliste for valgt løsning (Migatronic, 2020)..... 14
Tabell 2 Spesifikasjoner (Universal Robots, 2020). 15
Tabell 3 Inspeksjonspunkter for robotarm (Universal Robots, 2020)..... 26
Tabell 4 Begrensede sikkerhetsrelaterte funksjoner (Universal Robots, 2020). 28
Tabell 5 Sikkerhetsrelaterte innganger (Universal Robots, 2020).. 28
Tabell 6 Sikkerhetsrelaterte utganger (Universal Robots, 2020). 28

Sammendrag

Ydra AS er en produsent av pumper, hver pumpe har en tilhørende elektromotor, disse blir sammenføyd ved hjelp av et mellomstykke. Mellomstykket består av to flenser og et rør, som først blir preparert og deretter sveist sammen. I dag gjennomføres hele denne prosessen manuelt. Målet til slutt er å automatisere hele preparerings- og sveiseprosessen i så stor grad som det er mulig. I første omgang er det ønskelig at sveiseprosessen blir automatisert.

I dette prosjektet har det blitt sett på ulike løsninger for å automatisere og effektivisere en sveiseprosess. Formålet med bacheloroppgaven er å vise hvilke muligheter som finnes på markedet og å komme frem til og foreslå en løsning basert på funksjon, kvalitet og økonomi. Hovedproblemet med dagens løsning er at den er tidskrevende og belastende for operatøren. Bachelorrapporten vil fungere som et rådgivende hjelpemiddel som Ydra AS kan benytte seg av, da de har tenkt til å investere i en løsning for å effektivisere sveiseprosessen.

Ønskelig fra bedriften var at foreslått løsning skulle kunne bygges på i senere tid med en automatisert prepareringsdel. Det var foreslått fra bedriften å bruke en robot til å hel-automatisere prosessen.

Ulike prinsipp og løsninger er blitt vurdert som grunnlag for den foreslåtte løsningen. Resultatet er blitt et forslag om å bruke en kollaborativ robotcelle fra Migatronic til utføre sveiseprosessen. Denne robotcellen bruker en robotarm fra Universal Robots, fordelen med Universal Robots sitt system er at det enkelt kan kobles opp mot andre maskiner og systemer. Dette muliggjør en utvidelse med automatisert preparering senere.

Summary

Ydra AS is a manufacturer of pumps, each pump has an associated electric motor, these are mounted together with the use of a spacer. The spacer consists of two flanges and a pipe, which are first sanded and then welded together. Today the entire process is performed manually, the goal is to automate the entire preparation- and welding process as much as possible. In the first place it is desirable that the welding process will be automated.

In this report various solutions for automating and improving the efficiency of the welding process have been looked at. The purpose of the bachelor thesis is to show which solutions that exists in the market, and to propose a specific solution based on functionality, quality and economy. The main problem with the way the process is performed today, is that it is time consuming and stressful for the operator. The bachelor thesis will work as an advisory tool for Ydra AS, as they intend to invest in a solution to improve the efficiency of the welding process.

It was desirable from the company that the proposed solution could be extended with an automated preparation section, on a later occasion. It was suggested by the company to use a robot to fully automate the process.

Various principles and solutions have been considered as the basis of the proposed solution. The proposed solution is that Ydra AS uses a collaborative robot cell from Migatronic, to automate the welding process. This robot cell uses a robot arm from Universal Robots, one of the advantages by using this type is that it can easily be connected to other machines and systems. This allows Ydra AS to extend the proposed solution with an automated preparation section.

Forkortelser og begrep

Sintring – Prosess der pulver av metallisk materiale herder til fast stoff, ved oppvarming til en temperatur hvor partiklene begynner å reagere og vokse sammen.

Nitrert – Nitrering er en metode for overflatebehandling av stål.

Legering (Legert stål) – Metallisk materiale bestående av minst ett metallisk grunnstoff og ett eller flere legeringselementer som ofte er metaller.

PLS – Programmerbar logisk styring.

Sfære – Kule/Kuleoverflate.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Ydra

Ydra produserer syrefaste pumper til bruk i og rundt havrommet. Selskapet er resultatet av fusjonen mellom Mapex og VestJet, og er en del av Hatteland gruppen. (Hamnøy, 2020)

Produkter og tjenester som Ydra leverer er service og reservedeler, import og salg, og produksjon av egne pumper. Disse er rettet mot markeder som fiskeoppdrett, vann og avløp, offshore og maritim. Hovedkontoret er lokalisert på Husøy i Karmøy kommune, og servicesenteret er lokalisert i Tysvær. Ydra sin visjon er å være i hovedsetet for utvikling av pumper og pumpeteknologi i og rundt havrommet. (Ydra, 2019)

Sentrifugal-, kverne-, skrue-, og tannhjulspumper er blant pumpene som Ydra leverer. (Ydra, 2020)

1.1.2 Oppgaven

Bacheloroppgaven tar for seg deler av produksjonen av mellomstykker. Formålet til mellomstykkene er å sammenføye pumpene til deres tilhørende elektromotorer.

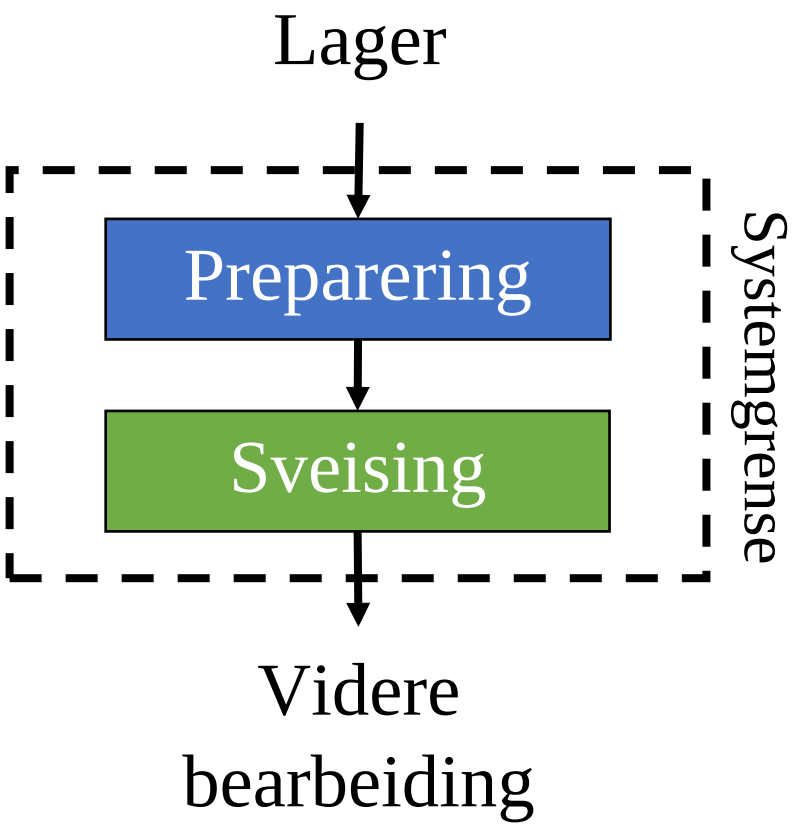
Figur 1 Sentrifugalpumpe med tilhørende elektromotor. (Ydra, 2020)

Det er 24 forskjellige standardiserte mellomstykker (Se vedlegg 1) med en masse fra 3 kg til 20 kg. Mellomstykkene er av aluminium og består av en pumpeflens, en motorflens og et rør. Den innvendige diameteren til røret er større enn de innvendige diameterne til flensene.

Figur 2 Illustrasjon av et mellomstykke. Hentet fra tegning nr. 106-16016028131 fra Ydra.

Først prepareres komponentene før de sammenføyes med sveising. Prepareringsdelen består av å fjerne oksidlaget på komponentene og deretter rengjøre dem, slik at de kommende sveisene blir solide. Oksidlaget fjernes enten med sandblåsing eller ved sliping med flapdisk. Rengjøring er kun nødvendig om sandblåsing er benyttet, og da blir komponentene rengjort med trykkluft. Sveisemetoden som benyttes er MIG og sveiseforbindelsen er kilsveis. Det utføres fire sveiser per mellomstykke, en innvendig og en utvendig sveis per flens.

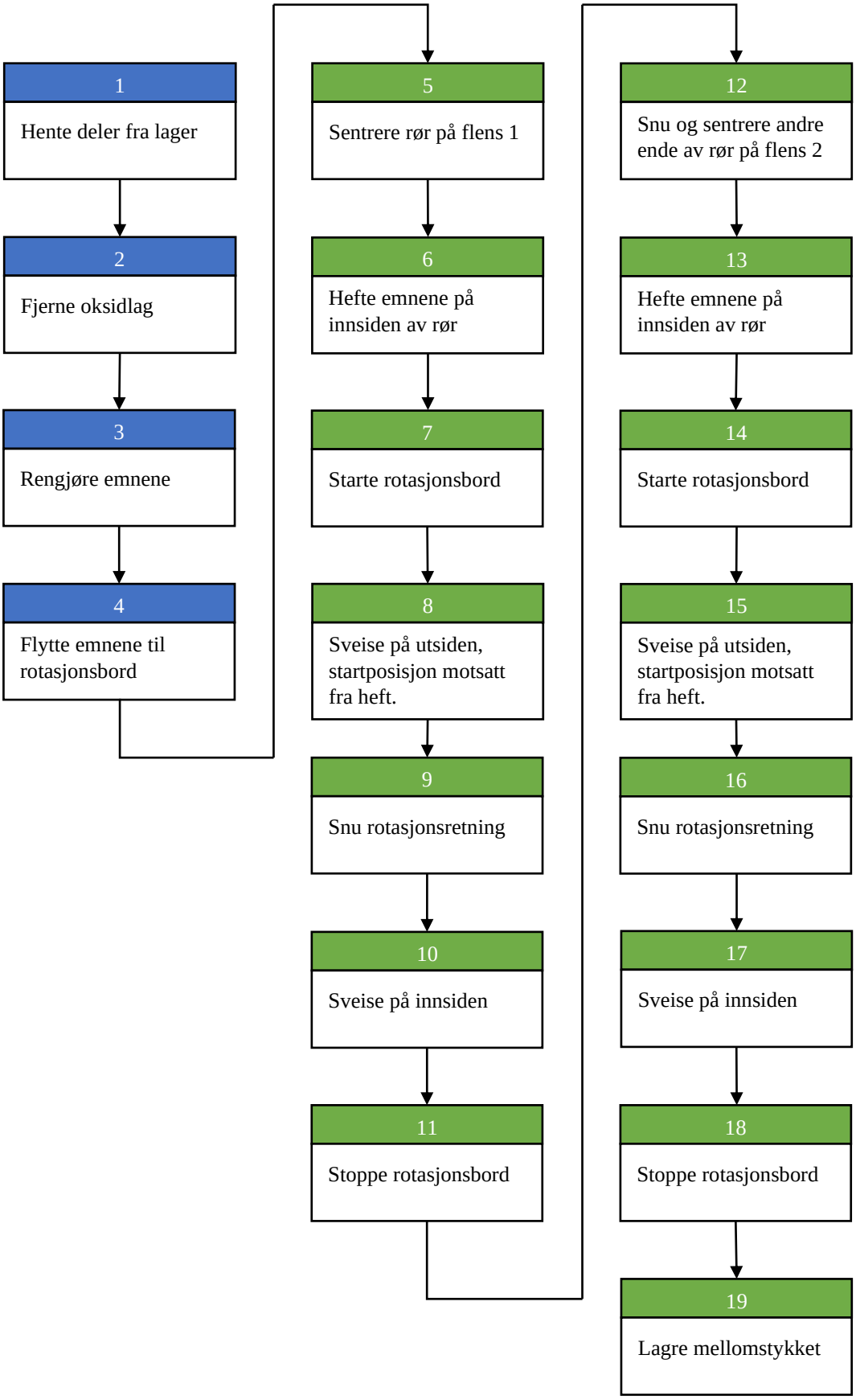
Etter sveisingen bearbeides mellomstykkene videre. Først blir mellomstykkene dreid slik at flensene blir parallelle. Deretter borres det inspeksjonshull i røret, og hull i flensene for festeskruer. Til slutt blir mellomstykkene sandblåst og lakkert. Systemgrensene er satt til prepareringsdelen og sveisedelen.



Figur 3 Illustrasjon av systemgrenser.

I dag er hele prosessen innenfor systemgrensen manuell, det vil si at en operatør utfører prepareringen og sveisingen. Unntaket er at det har blitt innført et rotasjonsbord slik at sveisingen blir enklere, da bordet tar seg av den sirkulære bevegelsen. Mellomstykkene har en såpass lav vekt at de kan flyttes for hånd. Hefting av emnene utføres med punktsveis, og sentreringen av rør på flens gjøres manuelt av operatør uten annet sentreringsverktøy enn en tommestokk.

Enkelte arbeidsdager må operatøren lage opptil 40 mellomstykker, noe som er repetitivt og belastende. Flytskjemaet på neste side illustrerer i hovedtrekk fremgangsmåten i prosessen.



Figur 4 Flytskjema av dagens prosess. Prepareringsdelen er markert med blått og sveisedelen er markert med grønt.

1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å finne en alternativ løsning til dagens prosess. Løsningen skal redusere operatørens medvirkning i prosessen, effektivisere, og ivareta sikkerhet og kvalitet. Hensikten er å redusere arbeidsbelastningen, frigjøre operatøren til andre oppgaver, øke gjennomstrømningen i prosessen og spare tid. Hovedfokuset er sveisedelen, men løsningen skal i fremtiden kunne utvides med en prepareringsdel.

Formålet med rapporten er å vurdere flere løsninger, og velge den som egner seg best. Rapporten skal gi leseren et overblikk over de vurderte løsningene og gå i dybden på den foreslåtte løsningen. Krav for en egnet løsning defineres i kapittel 2.1 Valggrunnlag.

1.3 Innspill fra Ydra

Liste over krav, ønsker og innspill fra Ydra som påvirker valgrunnlaget.

- Ydra skal inn i nye lokaler, og der er det satt av omtrent 30m^2 til sveisedelen i prosessen.
- Løsningen må kunne utvides med en prepareringsdel.
- Ønskelig om det undersøkes løsninger for automatisert preparering.

2 Mulige løsninger

2.1 Valggrunnlag

I dette delkapittelet defineres funksjonskriterier som løsningen må oppfylle. Kriteriene baseres på dagens prosess og på innspill fra Ydra. Funksjonskriteriene vil bli hovedgrunnlaget for en valgt løsning. I tillegg vil kvalitet og økonomi brukes som vurderingsmomenter dersom alle funksjonskriteriene er oppfylt.

1. Løsningen må kunne produsere mellomstykkene i Vedlegg 1.
2. Løsningen må kunne produsere minst 40 enheter på en arbeidsdag.
3. Løsningen må kunne utvides med en prepareringsdel ved en senere anledning.
4. Løsningen må ha nødvendige sikkerhetsfunksjoner som beskytter operatøren.
5. Løsningens størrelse må ikke overskride $30m^2$.

2.2 Additiv tilvirkning

Med tanke på den store fleksibiliteten ved konseptet og fremgangen som blir gjort, er det naturlig å undersøke om additiv tilvirking kan benyttes til formålet.

Additiv tilvirkning, bedre kjent som 3D-printing, er en prosess der tredimensjonale objekter blir produsert ved hjelp av en 3D-printer. Prosessen starter med å 3D-modellere objektet digitalt, deretter sendes filen til 3D-printeren som produserer objektet. Dette gjøres med additiv tilvirkning, der objektet blir produsert lag for lag. Plaststoffer, metaller og keramer er blant materialtypene som kan benyttes i additiv tilvirkning. (3D-Printing.com, 2020)

I denne rapporten er det 3D-printere som kan produsere objekter i aluminium som er av interesse. Mange av løsningene som eksisterer på markedet i dag er vinklet mot produksjon av prototyper og reservedeler, ikke mot masseproduksjon. Ydra har allerede sett på en løsning fra Markforged, og konkludert med at prosessen tok for lang tid. Delkapittelet tar derfor for seg en løsning vinklet mot masseproduksjon.

Desktop metal er en amerikansk bedrift som leverer 3D-printere. Desktop Metal hevder at deres Production System™ er verdens raskeste metall-printer, med en skrivehastighet på opptil 12000 cm^2/hr. Systemet har en maks bygg-størrelse på 490x380x260 mm, og er designet for masseproduksjon av metallobjekter. Metalltyper som kan benyttes er ikke direkte oppgitt, men det er oppgitt at åpne pulvermaterialer kan benyttes, og at prosessparameterne kan justeres deretter. Prosessen fra 3D-modell til ferdigprodukt er tredelt. Først blir objektene skrevet ut, deretter fjernes overflødig pulver, og til slutt blir objektene sintret. Selve skriveprosessen skjer i romtemperatur. (Desktop Metal, 2020)

Figur 5 Bilde av produktet Production System™. (Desktop Metal, 2020)

Production System™ viser at additiv tilvirkning er på vei inn i masseproduksjonssektoren. Systemets maksimale bygg-størrelse er derimot såpass liten at det egnes kun til masseproduksjon av små komponenter. Bygg-størrelsen er heller ikke geometriskkompatibel med alle mellomstykkene i Vedlegg 1. Tidsforbruket i den tredelte prosessen til systemet er ukjent, og det er ikke klart om løsningen kan benytte aluminium.

2.3 Sveiserobot

Begrepet robot omfatter en stor bredde av konstruksjoner og anvendelser. Rutinearbeid som montering, sveising og prosessovervåking blir i økende grad løst med industriroboter (Store Norske Leksikon, 2020).

Delkapittelet tar for seg tre kategorier av sveiseroboter.

2.3.1 Rørsveisere

Dette er løsninger på markedet som er spesialisert til å sveise rør. Naturligvis gir dette en mindre fleksibilitet enn en mer universal sveiseløsning.

Orbitalsveising

Orbitalsveising referer til automatisert sveising av rør der sveiseelektroden roteres 360° rundt røret. Metoden ble utviklet av flyindustrien på 1960-tallet på grunn av økende behov for nøyaktig sveising av rør. En orbitalsveiser består i hovedsak av en programmerbar strømforsyning, et sveisehode, en trådmater, og et kjølesystem (Orbital Fusion Technologies, 2020).

Hovedprinsippet går ut på at sveisehodet tilpasses til rørstykkene, deretter roteres sveiseelektroden automatisk rundt skjøten og lager en jevn og fin sveis.

Fordelene med orbitalsveising i kontrast til manuell sveising er økt produktivitet, og bedre kvalitet og repeterbarhet på sveisene (Axenics, 2020).

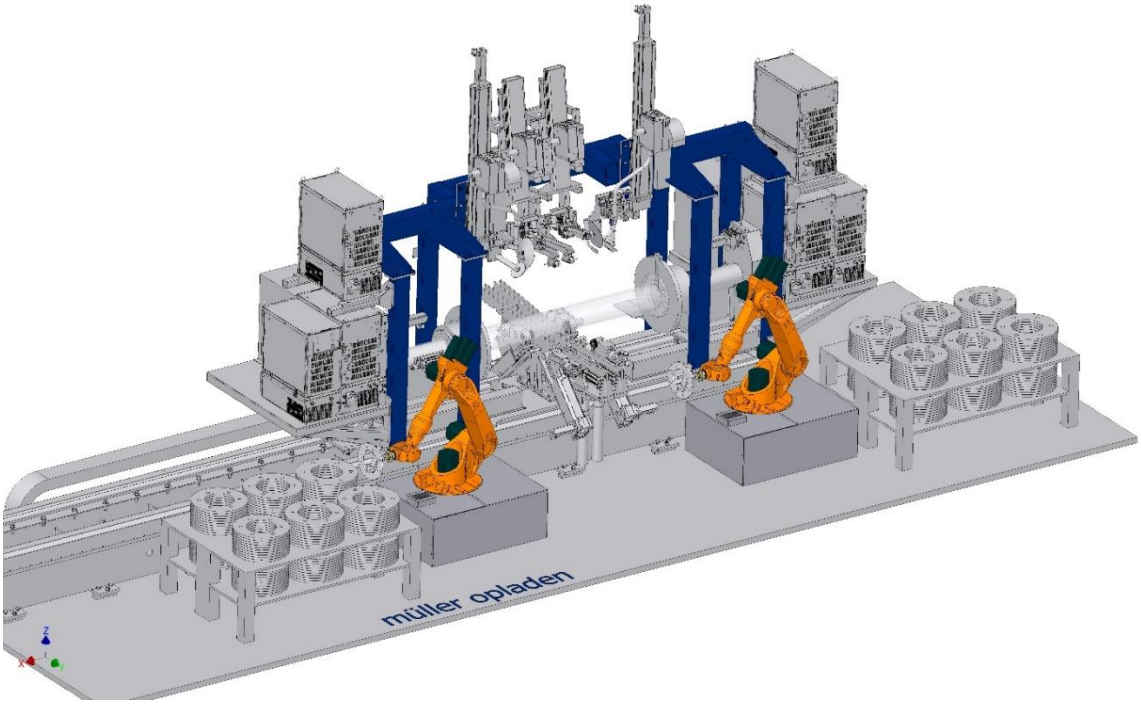
Figur 6 Bilde av sveisehode til et orbital-sveiseapparat. (Orbimax, 2020).

Sveisehodene er avhengig av å kunne festes på røret og over sveiseskjøten, det blir vanskelig å utføre på mellomstykkene, da flensene har større ytterdiameter enn røret. Orbitalsveisere utfører også kun utvendige sveiser. Dette er hovedgrunnene til at orbitalsveising ikke ble valgt som løsning.

Robotcelle

Det finnes robotceller på markedet som er spesialiserte til å sveise flenser på rør.

Müller Opladen er en tysk bedrift som leverer rørflens-sveiseenheter. Dette er robotceller som utfører en lignende sveiseprosess som den i oppgaven. Robotcellen er utstyrt med fire sveisehoder og sveiser begge flenser samtidig, både innvendig og utvendig (Müller Opladen, 2020).



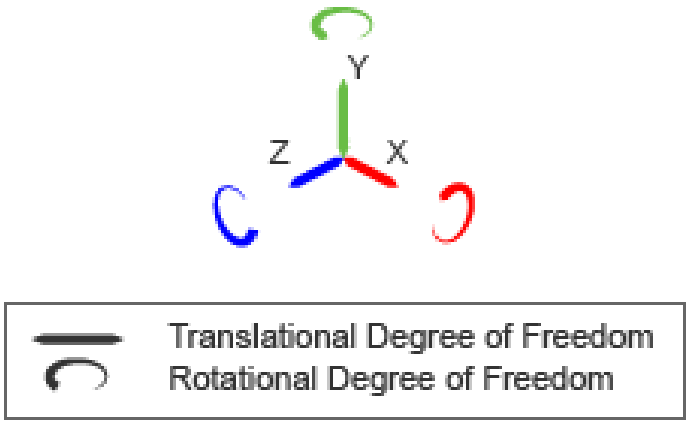
Figur 7 Robotcelle spesialisert til å sveise rørflenser. (Müller Opladen, 2020)

Grunnet manglende dokumentasjon rundt denne løsningen er det vanskelig å fastslå dimensjoner og begrensninger til robotcellen. Informasjonen som er oppgitt er at rør på seks meter kan behandles. Konseptet er derimot hensiktsmessig å inkludere i rapporten for å illustrere at slike løsninger eksisterer.

2.3.2 Spesialtilpasset løsning

Tanken bak delkapittelet er å ta utgangspunkt i sveisedelen i figur 4, og automatisere stegene ved å designe og konstruere en egenkomponert løsning. Hovedproblemet er posisjoneringen av sveisepistolen. Antall nødvendige frihetsgrader på en posisjoneringsløsning er avhengig av hvilke oppgaver som skal utføres.

Frihetsgrader referer til antall grunnleggende måter et stivt legeme kan orientere og forflytte seg i rommet. Et objekt i rommet har totalt seks frihetsgrader. De tre første frihetsgradene korresponderer med bevegelse langs x-, y- og z-aksen. De tre siste frihetsgradene korresponderer med rotasjonsbevegelse rundt x-, y- og z-aksen (Google VR, 2020).



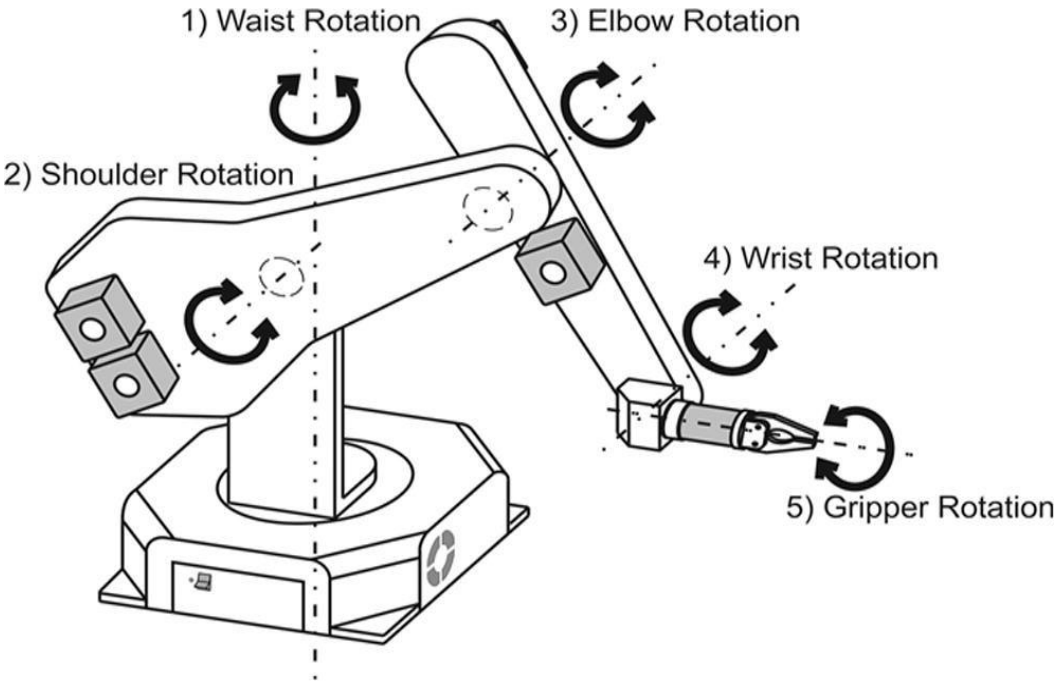
Figur 8 Illustrasjon av de seks frihetsgradene. (MathWorks, 2020)

Operatøren posisjonerer sveisepistolen ved hjelp av bevegelser langs x-, y- og z-aksen, og rotasjonsbordet roterer mellomstykket rundt den vertikale aksen. Totalt blir dette fire frihetsgrader som løsningen må ha. I tillegg må systemet ha tilbakemelding på posisjonen og orienteringen til sveisepistolen. Det finnes robotarmer på markedet som har disse funksjonene. En robotarm vil derfor være en bedre løsning på posisjoneringsproblemet, enn å designe og lage en egen løsning.

2.3.3 Robotarm

Bruksområdene til robotarmer er mange, grunnet at de er programmerbare. De kan benytte forskjellige verktøy, og de kommer med forskjellige antall frihetsgrader. En robotarm er ikke i seg selv en sveiserobot, men kan tilpasses med sveiseutstyr. Denne fleksibiliteten gjør at en enkelt kan forandre eller utvide en prosess ved et senere tidspunkt.

Som regel vil antall frihetsgrader til en robot referere til antall bevegelige ledd. Robotarmer kan ha flere enn seks frihetsgrader. Eksempelvis kan en robotarm med syv frihetsgrader kunne flytte og orientere et objekt i de seks frihetsgradene i figur 8, og i tillegg ha mulighet til å flytte hele robotarmens posisjon langs en rett linje, for eksempel horisontalt på en skinne (Motion Controls Robotics, 2020).



Figur 9 Illustrasjon av en robotarm med fem frihetsgrader. (ScienceDirect, 2020)

En robotarm klarer å posisjonere en sveisepistol minst like bra som et menneske, som vil si at alle mellomstykkene i Vedlegg 1 kan sveises. En robotarm trenger ikke pauser, er som regel mer effektiv, og bryr seg ikke om repetitive oppgaver. Robotarmer kan innlemmes i prosesser ved hjelp av analoge og digitale signaler, som gjør det mulig å utvide prosessen i ettertid med en prepareringsdel.

Videre kan robotarmer deles inn i to kategorier, kollaborative roboter (også kjent som coboter) og industriroboter. Hovedforskjellen er at kollaborative roboter er designet for å samarbeide med arbeidere, og industriroboter er designet for å erstatte dem. Dette resulterer i at kollaborative roboter kan arbeide i nærhet med arbeiderene, men kan ikke håndtere tunge produksjonsoppgaver. På andre enden av skalaen finnes industrirobotene som kan håndtere større og tyngre oppgaver, men disse må plasseres i et eget avgrenset området for at sikkerheten skal ivaretas (Universal Robots, 2020).

Figur 10 Illustrasjon på bruk av industriroboter i bilproduksjon, her jobber robotene i et eget avgrenset område bak gitter (OpenPR, 2020).

Med utgangspunkt i produksjonsprosessen og formålet med oppgaven, vil fordelene med en kollaborativ robot overveie fordelene med en industrirobot. Hovedargumentene er at det er ikke behov for å ha en veldig stor nyttelast på roboten, og at kollaborative roboter krever mindre areal. I tillegg er en av hensiktene med oppgaven å avlaste operatøren, i motsetning til å erstatte han helt. Kollaborative roboter har også ekstra sikkerhetsfunksjoner som gjør at de kan samarbeide med arbeidere.

En kollabortiv robotarm oppfyller alle kravene i delkapittel 2.1, og er derfor en naturlig løsning på oppgaven. En foreslått løsning blir utdypet i neste kapittel.

3 Foreslått løsning

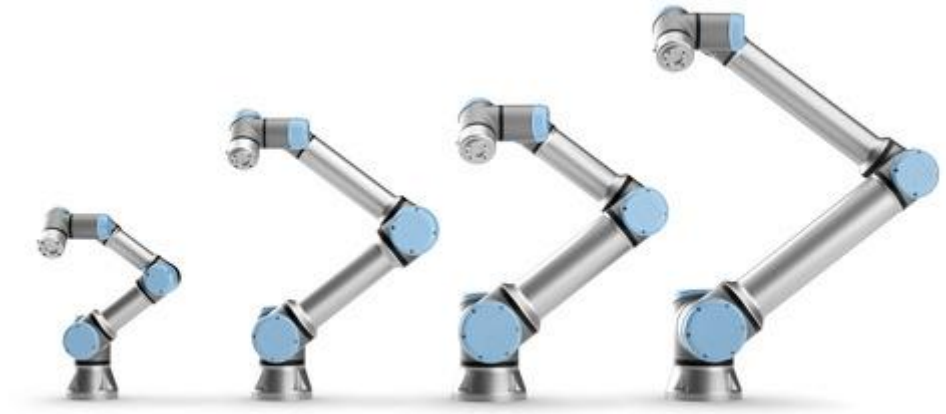
Etter å ha sett på- og vurdert mulige løsninger som er nevnt i forrige kapittel og sammenlignet de opp mot den foreslåtte løsningen, endte valget på Migatronic sin robotcelle for sveising, Migatronic CoWelder. I denne løsningen brukes det en robotarm fra Universal Robots.

3.1 Generelt om Migatronic

Migatronic er en dansk sveisemaskinfabrikk som ble etablert i 1970. Deres Migatronic Automation avdeling har utviklet en robotcelle for sveising, med fokus rettet mot å optimalisere sveiseprosessen. Filosofien til selskapet er at teknologi er til for menneskets skyld, ikke omvendt. (Migatronic, 2020).

3.2 Generelt om Universal Robots

I 2005 blir Universal Robots offisielt grunnlagt i Odense i Danmark. Målet er å kunne tilby robotteknologi for små og mellomstore bedrifter. Et produkt som Universal Robots tilbyr, er UR-robotarmen. Denne finnes i forskjellige størrelser og med forskjellige spesifikasjoner (Universal Robots, 2020).



Figur 11 Universal Robots sine forskjellige UR-robotarmer, alle med 6 roterende ledd (Universal Robots, 2020).

3.3 Migatronic CoWelder

Et produkt som Migatronic har utviklet er CoWelder. Dette er en kollaborativ robot, det vil si at den er konstruert til å kunne arbeide sammen med mennesker, uten at det er behov å sperre av området. Den kollaborative roboten har flere innebygde sikkerhetsfunksjoner og er CE-godkjent. Mer informasjon om hvordan de ulike sikkerhetsfunksjonene fungerer kommer senere i kapittelet. En CoWelder består i all hovedsak av en robotarm, et sveiseapparat og en robotkontroller for styring og programmering (Migatronic, 2020).

3.4 Hva inneholder løsningen?

Gjennom kontakt med Migatronic Automation har vi fått tildelt et eksempel på et tilbud med hvilke komponenter den valgte løsningen inneholder. De to hovedkomponentene er robotarmen og sveiseapparatet (vist med fet skrift i tabellen under).

Antall	Beskrivelse
1	**UR10 Robotarm inkl. kontrollboks og tablet**
1	Komplett programvare pakke, inkl. sveiseprogram
1	Pendling funksjon
1	Start boks med integrert E-Stop, 3 m, til UR kontrollboks
2	Standard releer (24VDC) for kontroll funksjoner, integrert
1	All ekstra installasjon nødvendig i kontrollboksen
1	Arc Safety Control boks
1	Robot Motion Safety Control
1	Plasma Nitrert Sigmund hullbord 2000mm x 2000mm
1	Kraftig 2 delt bom for montering av robotarm
1	Hette med avtrekk for suge-slange
1	Lys over hullbord
1	Stand til tablet og betjeningspanel for sveisemaskin
1	Sveisegardiner for beskyttelse mot sveiselys
1	CoWelder sveisehodeholder, standard for UR robot
1	**Migatronic Sigma Select 400W, puls og IAC**
1	CoWelder vannkjølt automat sveisehode/slange, 4m
1	IGC kit (Intelligent gas control)
1	Alle kabler inkl.

Tabell 1 Eksempel på komponentliste for valgt løsning (Migatronic, 2020).

Utenom disse komponentene og funksjonene vil det dessuten følge med hjelp for oppstilling av CoWelder cellen og 4 timers oppstartshjelp.

Følgende komponenter følger ikke med i tilbudet fra Migatronic, men disse kan legges inn ved bestilling:

- Rensestasjon
- Trådklipper, det anbefales at denne tilleggsfunksjonen bestilles, slik at man unngår trøbbel dersom sveisetråden setter seg fast ved sveising, da slipper operatør å tenke på at denne feilen kan oppstå.

3.5 UR-Robotarm

Når man hører ordet «robot» tenker man kanskje at dette er noe avansert som kun en spesialist forstår seg på, men slik er det kanskje ikke? Universal Robots har laget et system som er enkelt å sette seg inn i og forstå. Man får alle fordelene som ved avansert robotautomatisering, uten de ekstra kostnadene som er forbundet med tradisjonell robotprogrammering, oppstilling og avskjerming. Denne typen robotarm har flere fordeler, de største fordelene er: Enkel programmering, rask oppstilling, fleksibel brukstilpasning og samarbeidene og sikre roboter (Cobotnor, 2020).

UR10 er en robotarm som er bygget- og designet for å vokse i kapasitet sammen med bedriften den brukes i. En annen fordel med Universal Robot sine robotarmer er at de har store tilleggs- og oppgraderingsmuligheter.

3.5.1 UR10 Spesifikasjoner

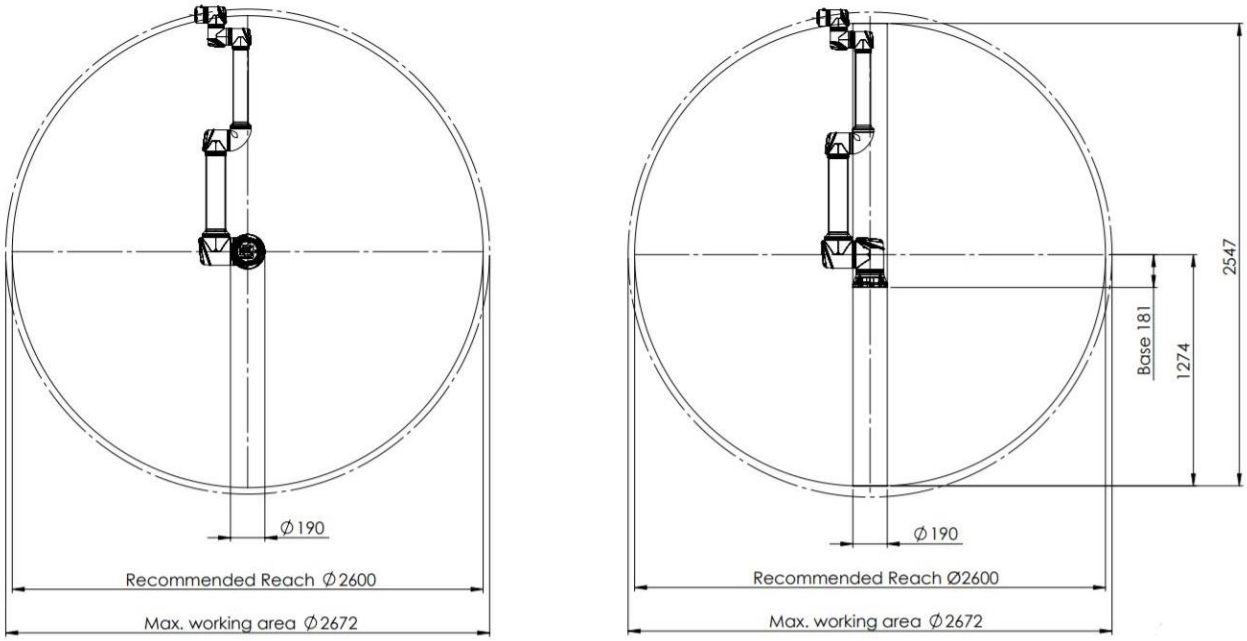
Figur 12 UR10-Robotarm, samme type som vil bli brukt i foreslått løsning (Universal Robots, 2020).

Beskrivelse	Parameter
Løfteevne/Nyttelast	10 kg
Radius/Rekkevidde	1300 mm
Frihetsgrader	6 roterende ledd
Effekt, gjennomsnittlig forbruk, maks forbruk	615 W
Effekt, gjennomsnittlig forbruk, moderat bruk	350 W
Sikkerhetsfunksjoner	17 funksjoner som kan konfigureres
Repeterbarhet	+/- 0.05 mm
Akse bevegelse: Alle ledd, arbeidsområde	+/- 360°
Akse bevegelse: Base, maks fart	+/- 120°/s
Akse bevegelse: Shoulder, maks fart	+/- 120°/s
Akse bevegelse: Elbow, maks fart	+/- 180°/s
Akse bevegelse: Wrist 1-3, maks fart	+/- 180°/s
Operativt temperaturområde	0-50°C
Antall digitale inn porter	16
Antall digitale ut porter	16
Antall analoge inn porter	2
Antall analoge ut porter	2
Vekt inkl. kabel	33.5 kg

Tabell 2 Spesifikasjoner (Universal Robots, 2020).

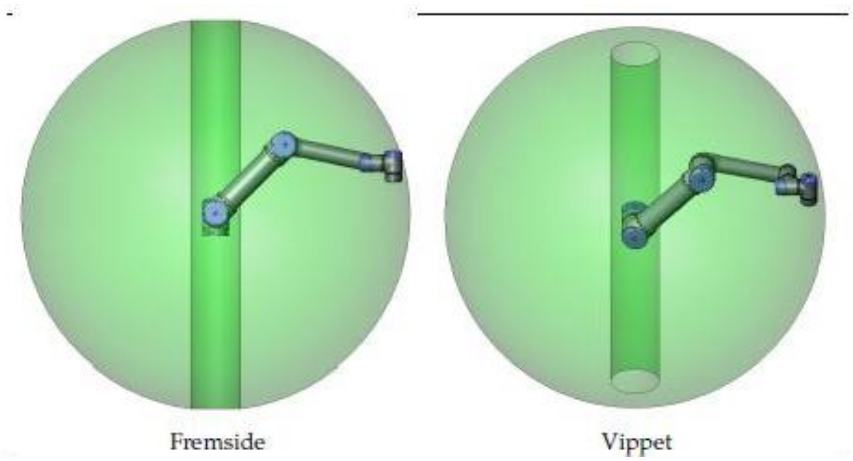
3.5.2 UR10 Arbeidsområde

I spesifikasjonene for UR10 robotarmen er den oppført med en rekkevidde på 1300 mm, dette betyr at roboten kan strekke seg 1300 mm fra baseleddet. Dette resulterer i en diameter på 2600 mm, som vist i figuren under. Avhengig av hvor høyt over arbeidsbordet roboten blir montert, vil arbeidsområdet også påvirkes av dette.



Figur 13 UR10 arbeidsområde, til venstre ses roboten fra "top view", til høyre ses roboten fra "side view". Alle dimensjoner på skissen er i mm (Universal Robots, 2020).

Noe som er viktig å påpeke er at det er viktig å ta hensyn til det sylindriske volumet direkte over og under basen til roboten når man velger monteringssted (som vist i figuren under). Dersom verktøyet skal operere innenfor dette volumet vil det føre til at leddene beveger seg raskt selv om verktøyet beveger seg sakte. Dette vil føre til at roboten jobber ineffektivt og at gjennomføring av risikovurdering blir vanskelig (Universal Robots, 2020).



Figur 14 Illustrasjon av sylindrisk volum som verktøyet bør unngå (Universal Robots, 2020).

3.6 Sveiseapparat

3.6.1 Generelt om MIG-sveising

Sveising er en metode for å sammenføye deler av plast eller metall. Metoden som er brukt i løsningen er smeltesveising, der delene oppvarmes lokalt til smeltepunktet og flyter sammen. MIG-sveising er en smeltesveisingsmetode for gass-metallbuesveising av legert stål, aluminium og flere andre metaller, der lysbuen brenner mellom arbeidsstykket og en udekket, kontinuerlig matet, smeltende elektrode (Store norske leksikon, 2020).

3.6.2 Sigma Select 400

Migatronic har flere valgmuligheter når det kommer til sveiseapparat. En type som er mulig å velge er Sigma Select 400. Dette er et kompakt MIG-/MAG-sveiseapparat som er laget for å kunne håndtere kompliserte sveiseoppgaver, rik på funksjoner, fleksibelt, og bygget for fremtiden (Migatronic, 2020).

Figur 15 Betjeningspanel for Sigma Select 400 (Migatronic, 2020).

Apparatet leveres med en standardprogrampakke, men dette kan også utvides med ulike avanserte programmer. Det er mye snakk om miljø og miljøtiltak som kan innføres på arbeidsplassen. Sigma Select 400 leveres med IGC (Intelligent Gas Control), som gir mindre gassforbruk, optimerer gassbeskyttelsen og forbedrer sveisekvaliteten. IGC teknologien forhindrer overforbruk av gass og vil på sikt gi store besparelser. Det finnes to valgmuligheter, enten Synergi eller Puls, eller oppgrader om behovene endrer seg. På synergi-nivå er alle primære sveiseparameter knyttet sammen, slik at de følger hverandre. Puls-nivå er perfekt for rustfritt stål og aluminium siden det gir sveising uten sprut (Migatronic, 2020).

Det er også mulighet for å logge/registrere data på hver eneste sveis med MigaLog, som er en programvare som følger med Sigma Select sveiseapparatene. Her kan man analysere og dokumentere arbeidet som er utført, eksempelvis kan dette brukes til å hente ut dokumentasjon til verifisering i henhold til EN- og ISO-standarder (Migatronic, 2020).

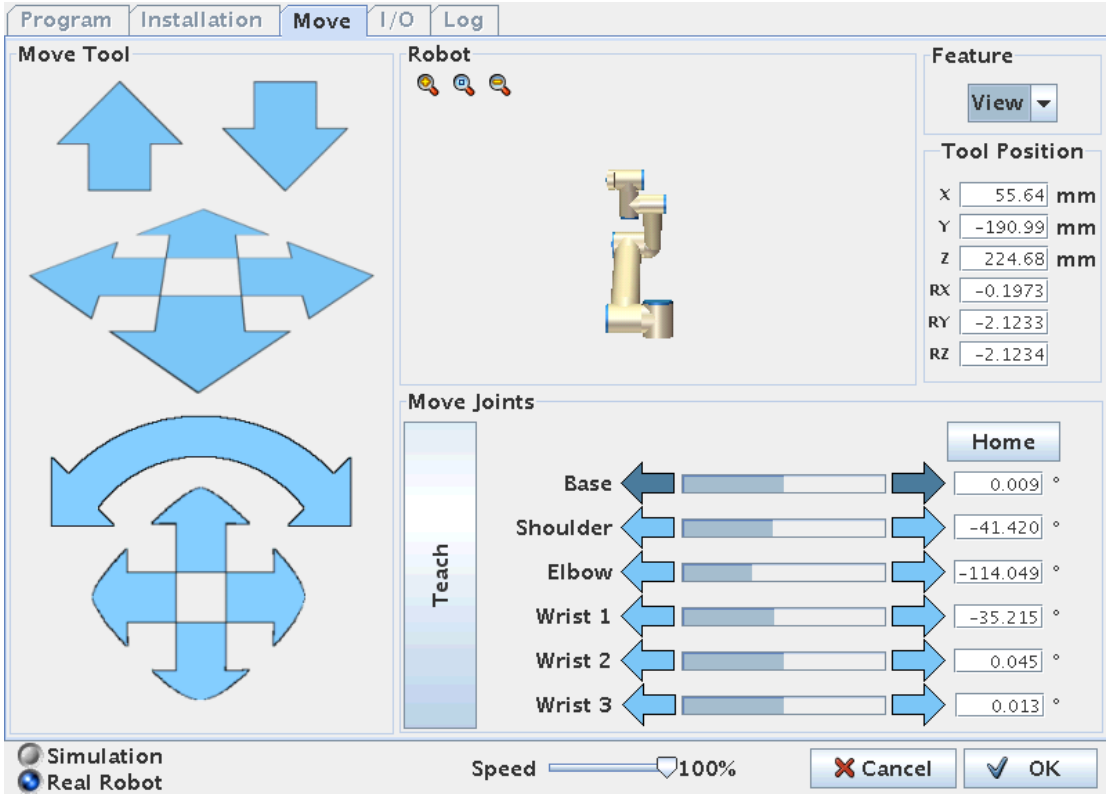
3.7 Tegninger/Skisser

Figur 16 Oversiktsskisse av valgt løsning (Migatronic, 2020).

Figur 17 Skisse av valgt løsning (Migatronic, 2020).

3.8 Styring og programmering

Roboten kan programmeres til å bevege et verktøy, og kommunisere med andre maskiner ved hjelp av elektriske signaler. Ved hjelp av Universal Robots sin patenterte programvare, PolyScope, er det enkelt å programmere roboten sammenlignet med konvensjonell robotprogrammering. Polyscope er et grafisk brukergrensesnitt (GUI) som lar deg betjene robotarmen og kontrollboksen, kjøre robotprogrammer og lage nye programmer. Roboten skal i løsningen programmeres til å bevege en sveisepistol (Universal Robots).

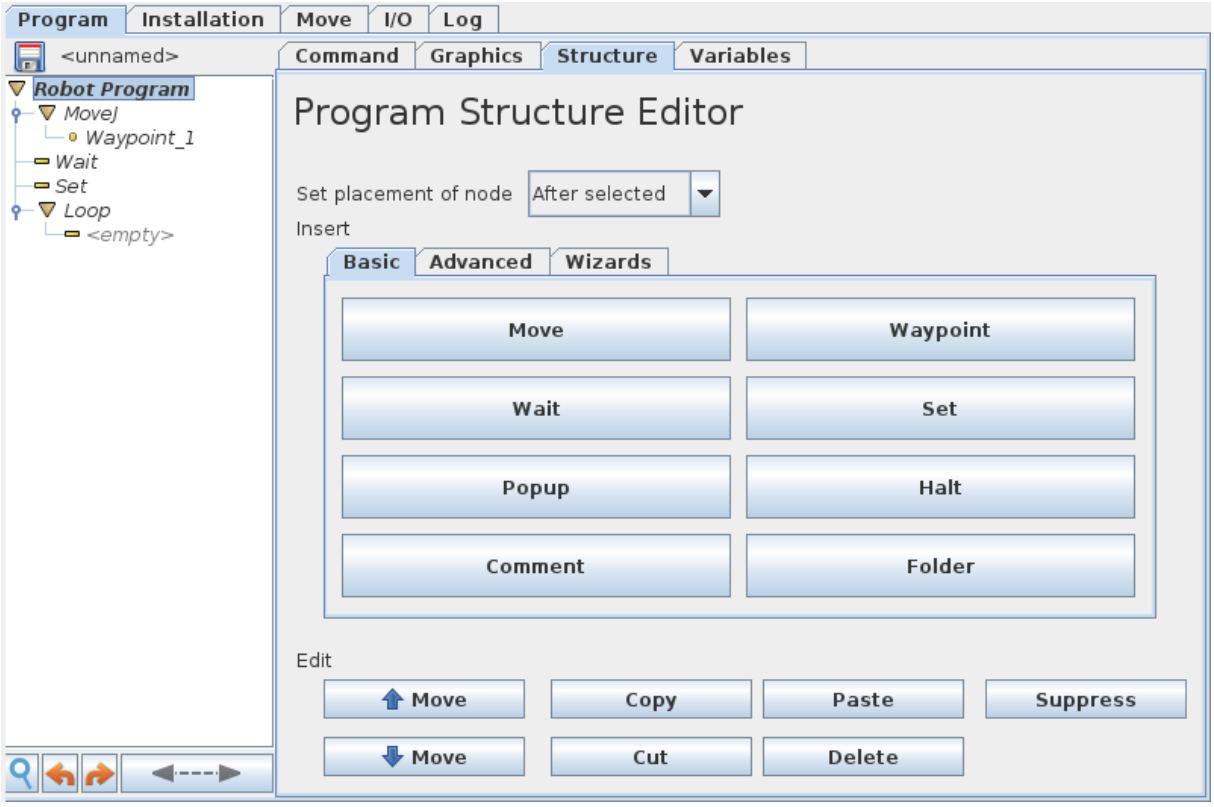


Figur 18 Utklipp fra programmeringsgrensesnittet PolyScope (Zacobria, 2020).

Programmeringen er designet slik at operatøren skal enkelt kunne endre programmet, selv om han/hun har minimal programmeringserfaring. Dette medfører at operatøren kan endre og lage nye programmer uten å involvere spesialister. Arbeidsprosessen kan derfor endres fortløpende etter hvert som operatøren identifiserer forbedringspotensial. Robotarmen kan flyttes til ønskede veipunkt med piltastene i PolyScope (Se figur 18), eller fysisk av operatøren dersom Freedrive-knappen er betjent. Veipunktene kan lagres og benyttes i programmeringen.

Programmeringen fungerer slik at en velger innebygde kommandoer (se figur 20), og justerer parameterne på disse. Kommandoene havner i en programliste som utføres fra topp til bunn når programmet kjører. Analoge og digitale inn- og utganger kan også innlemmes i programmet. Programmeringen kan enten gjøres på en datamaskin eller på den medfølgende tablet/teach-pendanten.

Figur 19 Teach-pendant/tablet som brukes til programmering og styring (Universal Robots, 2020).



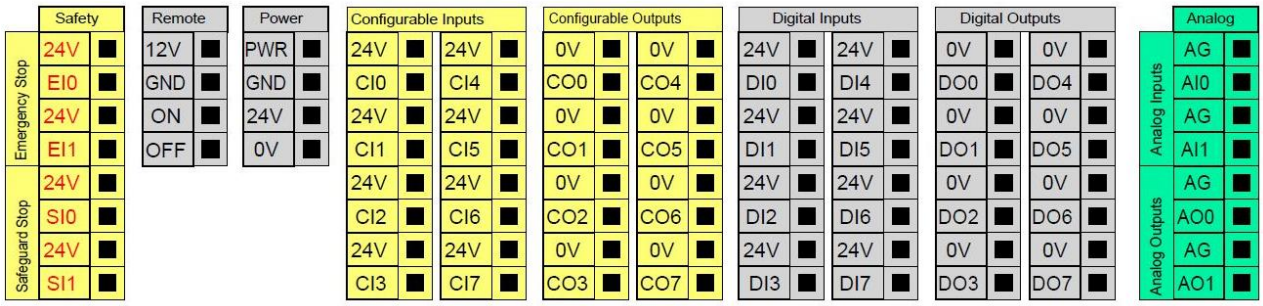
Figur 20 Redigering av programstruktur. Skjermbilde fra URSim.

Flere programmer kan lagres på Teach-pendanten, og kan enkelt lastes opp til robotarmen. Dette gjør at det er enkelt å gå fra en arbeidsprosess til en annen.

3.8.1 Elektrisk grensesnitt

I den foreslåtte løsningen er det med en kontrollboks som inneholder flere inn- og utganger. Disse inn- og utgangene kan brukes for en rekke ulikt utstyr, det er mulighet for å koble til pneumatiske releer, PLS-er og nødstoppknapper. Universal Robots har et rikt utvalgt av ekstra utstyr som kan kjøpes på deres hjemmesider, dette kan enkelt kobles opp i kontrollboksen.

Illustrasjonen under viser hvordan oppsettet til det elektriske grensesnittet ser ut i kontrollboksen.



Figur 21 Oversikt over inn- og utganger (Universal Robots).

De gule boksene med rød skrift er dedikerte sikkerhetssignaler mens de med svart tekst er konfigurerbare for sikkerhet. De konfigurerbare kan konfigureres enten som sikkerhetsrelaterte- eller som generelle inn- og utganger (Universal Robots).

De grå boksene med svart tekst er generelle digitale inn- og utganger og de grønne boksene med svart tekst er generelle analoge inn- og utganger (Universal Robots).

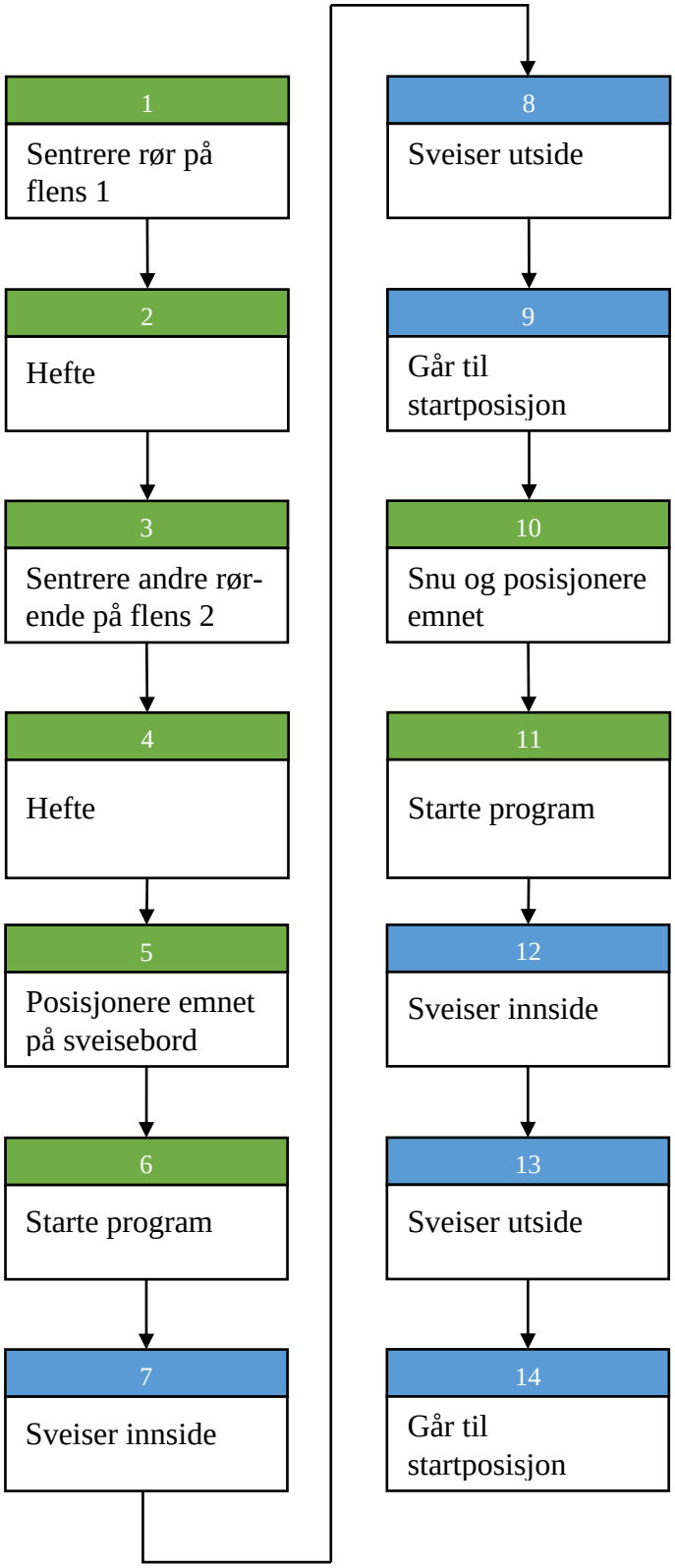
Utover dette er det dessuten mulighet for å koble seg til med USB for opplasting- og nedlastning av program. Dette gir da brukeren mulighet til å lage et program på sin PC for å så overføre dette til robotcellen, eller motsatt vei, lage et program på tableten og så overføre dette til PC. USB tilkobling på Teach-pendanten/tableten brukes også til å oppdatere systemet og for å legge til programvare til nye tilbehør som kan kjøpes og monteres, det medfølger en minnepinne fra Universal Robots som oppdateringer og nye programvarer kan lastes over på.

I kapittel 4 som tar for seg simulering av en robotcelle-modell måtte blant annet programvaren oppdateres og programvare for et gripeverktøy måtte overføres og installeres. Dette ble gjort med bruk av USB tilkoblingen.

3.9 Løsningens virkemåte

3.9.1 Arbeidsprosess

Mellomstykkene skal fortsatt sveises slik det gjøres i dag, men nå kan det gjøres i samarbeid med en CoWelder. Flytskjema nedenfor viser et forslag til hvordan prosessen kan gjennomføres.



Figur 22 Flytskjema av oppstartsprosess med CoWelder. Grønt utføres av operatør og blått av robot.

Prosessen i figur 22 er bare et forslag, og er på ingen måte en fasit. Hensikten er å få et utgangspunkt, og se hvordan den første prosessen med en CoWelder kan se ut. CoWelderen har en fastmontert sveisepistol og kan derfor ikke posisjonere eller orientere mellomstykkene. Posisjonering og orientering av mellomstykkene må derfor gjøres av operatør.

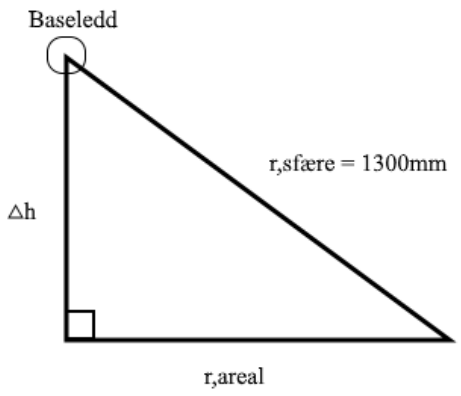
Fremgangsmåten i prosessen starter med at operatøren får en liste over mellomstykker som skal produseres. Deler hentes, prepareres, sentreres og heftes. Emnet posisjoneres på sveisebord, og riktig program til robotcellen velges. Programmet startes enten med en digital inngang, eksempelvis en bryter, eller i programvaren med teach-pendanten. Samtidig som CoWelderen sveiser, kan operatøren klargjøre nye emner. CoWelderen gir en indikasjon når sveisingen er ferdig. Operatøren må da snu emnet, og starte programmet på nytt, slik at de resterende sveisene blir utført. Når denne sekvensen er utført, er mellomstykket ferdig sveist, og hele sveise prosessen kan startes på nytt med et nytt emne.

På grunn av at mellomstykkene er forskjellige, må en ha flere programmer for å kunne sveise alle. Det er 24 forskjellige mellomstykker, men bare 4 forskjellige rørdiametre. Dette betyr at det er mulighet for å lage noen universalprogrammer som kan håndtere flere typer mellomstykker som har samme rørdiameter.

For å få mest mulig gjennomstrømning i prosessen kan CoWelderen programmeres til å sveise flere mellomstykker i samme program. Samtidig som programmet kjører kan operatøren preparerer nye deler. Antall mellomstykker som kan bli sveist samtidig i hvert program er avhengig av størrelsen på mellomstykkene, og av arbeidsområdet til CoWelderen.

3.9.2 Arbeidsområde

Som nevnt i kapittel 3.5.2 er arbeidsområdet til UR10 robotarmen en sfære med en radius på 1300 mm fra baseleddet. Det sfæriske arbeidsområdet danner et sirkulært areal på sveisebordet som er avhengig av hvor høyt baseleddet er montert over bordet. Radiusen på dette arealet er gitt som en funksjon av høyden baseleddet har relativt til bordet, og finnes ved hjelp av Pythagoras' læresetning.

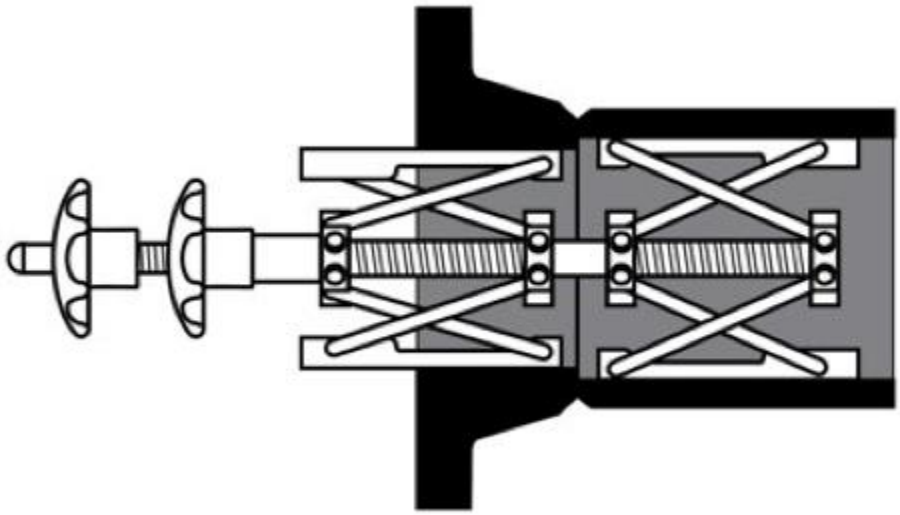


Figur 23 Illustrasjon av radiusen til arbeidsarealet på sveisebordet.

$$radius_{areal} = \sqrt{\left(radius_{sfære}\right)^2 - (\Delta h)^2}$$

3.9.3 Posisjonering og sentrering

Posisjoneringen av mellomstykkene på bordet, og sentreringen av rør på flens må være nøyaktig, slik at den programmerte banen til robotarmen treffer riktig område hver gang. Det er derfor en nødvendighet med et hjelpemiddel som definerer posisjonen til mellomstykkene på sveisebordet, og med et sentreringsverktøy til sentreringen. Sentreringen av rør og flens kan eksempelvis gjøres med en «Internal Fit-Up Clamp».



Figur 24 Eksempel på et sentreringsverktøy: Internal Fit-Up clamp. (Sumner, 2020)

Det må lages et hjelpemiddel for posisjoneringen av mellomstykker på sveisebordet. Hjelpemiddelet må gi mellomstykkene riktig posisjon, uten å redusere tilgjengeligheten til sveiseområdet.

3.9.4 Feildeteksjon

Dersom mellomstykket har feil posisjon, eller feil program er valgt, kan en av flere ting skje:

1. Robotarmen kolliderer med en gjenstand (f.eks. et mellomstykke) som er lokalisert i robotens bane.

2. Robotarmen kommer seg fram til den programmerte sveisebanen.
   - 2.1 Klarer ikke å tenne lysbuen.
   - 2.2 Klarer å tenne lysbuen
     - 2.2.1 Lysbuen slukker etter hvert som robotarmen beveger seg
     - 2.2.2 Sveisen fullføres

3. Kombinasjon av punkt 2.2 og punkt 1.

Situasjon 1: Om momentet fra kollisjonen overskrider den programmerte momentgrensa, vil robotarmen stoppe, mekaniske bremser på leddene blir engasjert, programmet stoppes og brukeren vil få en feilmelding.

Situasjon 2.1 og 2.2.1: ARC Safety Control forhindrer roboten i å fortsette programmet, og brukeren får en feilmelding.

Situasjon 2.2.2: Her er det ingen indikasjoner på at noe er galt, programmet utføres, og sveisen får feil lokasjon.

Situasjon 3: Momentgrensa eller ARC Safety Control vil stoppe roboten/programmet.

Mer informasjon om sikkerhetsfunksjonene finnes i kapittel 3.11 HMS – Helse, Miljø og Sikkerhet.

3.9.5 Ute av drift

Utstyret som brukes til å sveise mellomstykker i dag kan beholdes som en redundans for situasjoner der robotcellen er ute av drift.

3.10 Vedlikehold

Fordelen med en robotcelle av denne typen som er foreslått er at det lite vedlikehold. I all hovedsak kan robotcellen deles inn i to områder for vedlikehold, dette er robotarmen og sveiseappartet.

3.10.1 Robotarm

Universal Robots har laget en tabell med inspeksjonspunkter som anbefales å brukes av operatøren av robotcellen.

Robotarm					Kontrollboks og tablet				
Beskrivelse		**Hver mnd.**	**Hvert halve år**	**Årlig**	**Beskrivelse**		**Hver mnd.**	**Hvert halve år**	**Årlig**
Blå lokk *	V		x		**Nødstopp på tablet**	F	x		
Skruer på blå lokk	F		x		**Backdrive mode**	F	x		
Flat ringer	V		x		**Freedrive mode**	F		x	
Kabel	V		x		**Sikkerhets inn- og utganger (dersom disse er i bruk)**	F	x		
Kabelforbindelse	V		x		**Tablet kabel og kabelforbindelse**	V		x	
Monteringssbolter *	F	x			**Luftfilter i kontrollboks (rengjør om nødvendig)**	V	x		
Monteringssbolterp å verktøyhode	F	x			**Inn- og utganger**	F		x	
Skruer/bolter på alle ledd *	F		x		**Jording i kontrollboks**	F			x
					Hovedstrømbryter	F			x
V = Visuell inspeksjon F = Funksjonell inspeksjon / testing * = Må også sjekkes etter en kollisjon									

Tabell 3 Inspeksjonspunkter for robotarm (Universal Robots, 2020).

Formålet med den visuelle inspeksjonen er å sjekke at robotarmen, kabler og utstyret ikke er skadet. Formålet med den funksjonelle inspeksjonen er å sjekke at skruer, bolter, verktøy og robotarm er fastskrudd og ikke sitter løst. Samt at nødstopp og andre viktige funksjoner blir testet.

Dersom komponenter er defekt eller deler må byttes ut, anbefales det at servicepersonell fra Universal Robots eller leverandør av robotarm gjør dette. Dette for å garantere at robotarmen er like pålitelig og presis etter service, som den var før. I dette tilfellet vil det være Migatronic Automation som kontaktes. Dersom det skulle være behov for reservedeler i form av nye bolter eller lokk kan dette bestilles på Universal Robots sine hjemmesider. Det anbefales dessuten også at det utføres en ny kalibrering av robotarmen dersom en kollisjon oppstår.

3.10.2 Sveiseapparat

Migatronic tilbyr flere MIG-sveiseapparat, med forskjellige parameter og spesifikasjoner, men vedlikeholdet for de forskjellige går i det samme. Det viktigste er å ha periodisk vedlikehold av strømkilde, trådmater og sveisepistol.

For at sveisesystemet skal fungere optimalt, og i lang tid bør en følge disse vedlikeholdsprosedyrene (KEMPPI, 2020):

- Kontroller at alle komponenter og deksler er intakt.
- Kontroller at alle kabelforbindelser og kabler ikke er skadet.
- Kontroller trådmaterens matehjul og trykkhåndtak, ved behov bør det rengjøres og smøres med lett maskinolje.
- Kontroller regelmessig at alle komponenter på sveisepistol er godt trukket til.
- Fjern støv fra trådlederen med trykkluft hver gang du bytter trådspole, eller hver dag ved tung bruk. Trykkluft bør kun brukes mot sveisepistolen og ikke direkte på robotarmen, da det kan komme smuss og støv inn mellom leddene.
- Dersom det er valgt et sveiseapparat der det er gassavkjølte sveisepistoler skal også o-ringer mellom hals og håndtak kontrolleres for slitasje og skade.

3.11 HMS – Helse, Miljø og Sikkerhet

HMS handler om å ivareta liv, helse, miljø og materiell. En av de viktigste tingene som må gjøres før bruk er å utføre en risikovurdering.

3.11.1 Risikovurdering

Risikovurderingen som skal utføres skal ta for seg alle arbeidsoppgaver som kan oppstå i løpet av levetiden til robotcellen, inkludert, men ikke begrenset til: Opplæring av robotcellen under oppsett og utvikling av robotinstallasjonen, feilsøking og vedlikehold, og ved normal drift av robotcellen. Risikovurderingen skal utføres før robotcellen startes for første gang (Universal Robots, 2020).

3.11.2 Sikkerhetsrelaterte funksjoner og grensesnitt for UR-roboten

UR-roboten er utstyrt med en rekke innebygde sikkerhetsrelaterte funksjoner samt sikkerhetsrelaterte elektriske grensesnitt for å koble til andre maskiner og ekstra beskyttende enheter. Ved utførelse av risikovurdering skal det legges inn en hindring for at uautoriserte personer får tilgang til sikkerhetsinnstillingene ved å bruke passordbeskyttelse (Universal Robots).

Det kan settes opp flere typer sikkerhetsbarrierer på tableten, man kan sette opp virtuelle plan for roboten. Disse planene kan konfigureres slik at roboten ikke beveger seg inn i planene, eksempelvis kan bjelke for oppheng og arbeidsbord være plan som roboten skal unngå å krasje i. Det kan settes opp områder der roboten eksempelvis vet at en operatør befinner seg i, dette kan konfigureres at roboten kjører i redusert modus i dette området, redusert modus vil si at roboten kjører i økt sikkerhetsmodus. I økt sikkerhetsmodus er sikkerhetsinnstillingene for hastighet, moment og lignende betraktelig lavere enn ved normal driftsmodus.

3.11.3 Begrensede sikkerhetsrelaterte funksjoner

UR-roboten har en rekke funksjoner som begrenser bevegelsen til de seks roterende leddene og til robotens midtpunkt for verktøy (TCP). Dersom det oppstår feil eller misbruk av en sikkerhetsrelatert funksjon vil robotarmen stoppe helt og noen innebygde mekaniske bremser vil bli engasjert. Tabellen under viser ulike sikringsfunksjoner roboten har.

Sikringsfunksjon	Beskrivelse
Leddposisjon	Min. og maks. vinkelleddposisjon
Leddhastighet	Maks. vinkelleddhastighet
TCP-posisjon	Planene på kartesisk plass begrenser robotens TCP-stilling
TCP-hastighet	Maks. hastighet til robotens TCP
TCP-kraft	Maks. trykkraft til robotens TCP
Moment	Maks. moment på robotarmen
Strøm	Maks. anvendt robotarmstrøm

Tabell 4 Begrensede sikkerhetsrelaterte funksjoner (Universal Robots, 2020).

3.11.4 Sikkerhetsrelaterte elektriske inn- og utganger

Det finnes flere sikkerhetsrelaterte elektriske inn- og utganger, de to tabellene nedenfor gir en oversikt over de elektriske inngangene og utgangene.

Sikkerhetsinngang	Type
Robotnødstopp	Dedikert inngang
Nødstoppknapp	Håndkontroll-knapp
Systemnødstopp	Konfigurerbar inngang
Vernestopp	Dedikert inngang
Beskyttende tilbakestilling	Konfigurerbar inngang
Redusert modus	Konfigurerbar inngang
Treposisjonaktiverende enhet	Konfigurerbar inngang
Operasjonsmodus	Konfigurerbar inngang

Tabell 5 Sikkerhetsrelaterte innganger (Universal Robots, 2020)..

Sikkerhetsutgang	Beskrivelse
Systemnødstopp	Aktiv når robotens nødstopp-tilførsel er aktiv eller nødstoppknappen er blitt trykket.
Roboten beveges	Mens signalet er inaktivt beveges ingen enkelt ledd av robotarmen mer enn 0,1 rad.
Robot stopper ikke	Inaktiv når roboten har stoppet eller er i ferd med å stoppe på grunn av et nødstopp eller vernestans. Ellers vil den være aktiv.
Redusert modus	Aktiv når sikkerhetssystemet er i redusert modus.
Ikke redusert modus	Redusert modus-utgang krenket.

Tabell 6 Sikkerhetsrelaterte utganger (Universal Robots, 2020).

En kan enkelt sette opp visuelle driftstegn med disse inn- og utgangene. Det kan for eksempel settes opp lyssignal for når roboten er klar til bruk, under drift og ved feil, disse kan visualiseres med grønt, oransje og rødt lys. Utgangene kan settes høy eller lav og tilkoblet lys vil tennes eller slukkes, alt ettersom hvilken funksjon det har.

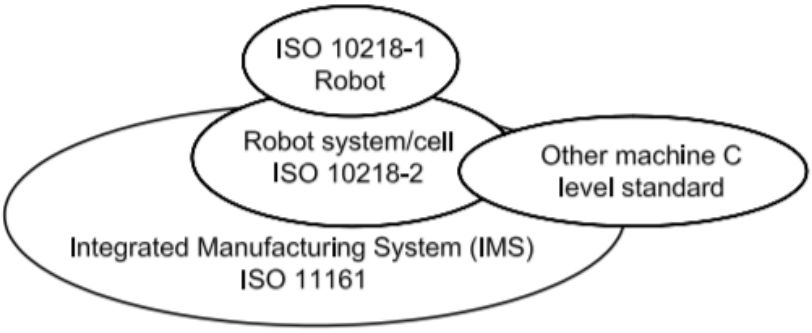
3.11.5 ARC Safety Control og ROBOT Motion Safety Control

CoWelderen har et innebygd virtuelt sikkerhetsvern som begrenser rekkevidden tredimensjonalt, et fysisk sikkerhetsvern er derfor ikke nødvendig. ARC Safety Control er en funksjon som sikrer at roboten kun er i drift når lysbuen er tent (Migatronic, 2020).

ROBOT Motion Safety Control er en funksjon som sikrer at selve sveiseprosessen ikke starter før roboten er korrekt innstilt og i posisjon. (Migatronic, 2020).

3.11.6 Standarder

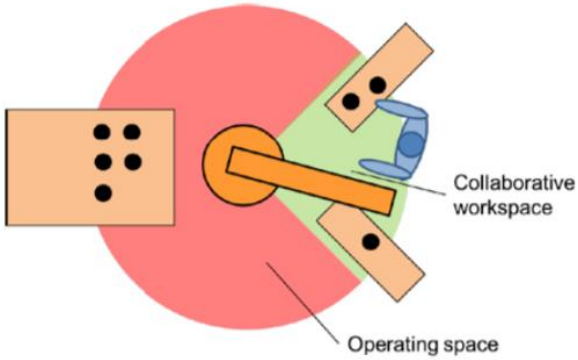
Med tradisjonelle industrielle roboter er det satt mange- og strenge krav til hvilke sikkerhetstiltak som må opprettes for å kunne ha en robot som en del av sin produksjon. Illustrasjonen under viser et kart over hvilke standarder og forskrifter som skal følges for de tradisjonelle robotene.



Figur 25 Oversikt over standarder som gjelder for tradisjonelle industrielle roboter (ISO, 2020).

Den største fordelen med en samarbeidene robot slik som i valgt løsning er at flere av disse kravene forsvinner, som igjen betyr at det er kostnadsbesparende. Det finnes en standard som gjelder for samarbeidene roboter, ISO/TS 15066, denne går inn på områdene som ikke dekkes i standardene som vises i illustrasjonen over.

Som beskrevet tidligere i HMS-delen der de ulike sikkerhetsrelaterte funksjonene og grensesnittene forklares, kan en samarbeidene robot ses på som en kollega. Men det er ikke slik at det ikke finnes krav om sikkerhet selv om det er en cobot. Det er fortsatt snakk om en robot som beveger seg og en sveiseprosess der det oppstår varme og skadelig lys.



Figur 26 Sikkerhetssoner for samarbeidene roboter (Robotic Industries Association, 2020).

Den valgte roboten har flere sikkerhetsfunksjoner og grensesnitt som øker sikkerheten ved bruk, likevel beskrives det i standarden at det skal markeres et område hvor operatøren har mulighet til å arbeide sammen med roboten og et område der operatøren ikke skal være. Illustrasjonen over viser rødt område som er dedikert til at ingen skal være inne i under kjøring og et grønt område der operatøren kan utføre oppgaver i under kjøring. Det bør derfor sperres av et område slik at ingen kan gå inn i rødt område under kjøring. Avhengig av hvor stort arbeidsområde valgt robotarm har vil rødt- og grønt område variere i størrelse. Grønt område kan settes opp som et plan i Teach-pendanten slik at det kan konfigureres til et område der roboten skal kjøre i redusert modus.

3.11.7 Sveiseprosess, personlig verneutstyr

Det er også en sveiseprosess som gjennomføres, i valgt løsning vil det være satt opp sveisegardiner for skjerming av lysbue, men dersom robotcellen skal plasseres i åpent produksjonslokale anbefales det også å sette opp ekstra sveisegardiner rundt selve arbeidsområdet/robotcellen for å verne andre som befinner seg i lokalet.

Det skal brukes personlig verneutstyr i form av kjeledress eller jakke/bukse, i bomull eller lignende (antiflame), og vernesko. Under kjøring skal det også brukes sveisemaske med riktig glass. Arbeidsstykkene vil bli varme under sveising, så det er viktig å bruke hansker for å unngå forbrenning og å bli solbrent. Sveiselys har ultrafiolette stråler og har samme virkning på huden som solen (Nasjonal digital læringsarena, 2020).

Under sveising dannes det sveiserøyk. For å unngå ubehag og yrkessykdommer hos operatøren vil det bli montert et avsug på toppen av robotcellen.

3.11.8 Generelle forsiktighetsregler

1. Ikke bruk løse klær eller smykker når du jobber med roboten, pass på at langt hår er knyttet opp.
2. Bruk aldri roboten hvis den er skadet. For eksempel hvis leddkappene er løse, ødelagt eller fjernet.
3. Sørg for å varsle folk om å holde hodene og ansiktene sine utenfor rekkevidden av en robot i drift eller en robot som skal starte.
4. Vær oppmerksom på robotbevegelser når du bruker håndkontrollen.
5. Hvis der er bestemt av risikovurderingen, ikke gå inn i sikkerhetsområdet til roboten eller rør roboten når systemer er i drift.
6. Kollisjoner kan frigjøre store mengder kinetisk energi, som er betydelig større ved store hastigheter og med stor nyttelast.
   Formel for kinetisk energi: $E = \frac{1}{2} * masse * hastighet^2$
7. Vær nøye og følg vedlikeholdsprogrammet, slik som forklart i kapittel 3.10 Vedlikehold.

3.11.9 Miljø

Roboter fra Universal Robots blir produsert en slik måte at det i så liten grad som mulig vil forurense miljøet, det er begrenset bruk av miljøfarlige stoffer. Disse stoffene omfatter eksempelvis kvikksølv, kadmium og bly, dette er definert av EUs RoHS-direktiv 2011/65/EU (Universal Robots, 2020).

3.12 Økonomi

Et av valggrunnlagene når løsningene ble sammenlignet og sett på var økonomi. Et av de avgjørende punktene som gjorde at valget for foreslått løsning kom på Migatronic sin CoWelder celle var pris.

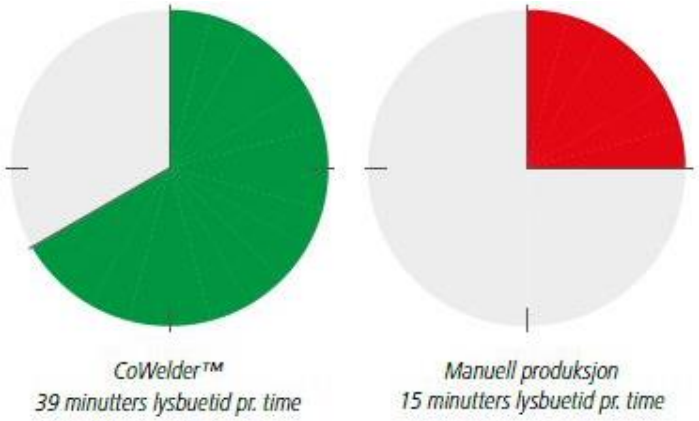
I februar 2020 var prisen på Migatronic CoWelder med UR10-robotarm og Sigma Select 400 sveiseapparat på 600.000 NOK, pris kan variere +/- 15.000 NOK alt ettersom hvilke ekstra utstyr, tilbehør og spesifikasjoner som velges (Migatronic, 2020).

Til sammenligning begynner prisene på Yaskwava sine minste robotceller på 750.000 NOK (Metal Supply, 2020). De minste robotcellene fra Yaskawa vil bli for små for Ydra sin produksjon av mellomstykker.

Ved kjøp av Migatronic CoWelder følger det med 4 timers oppstartshjelp og hjelp til oppstilling. Videre må det regnes med noe tid for å finjustere prosessen inn mot ønsket resultat, et nøyaktig estimat på tid er vanskelig å komme med, men en må regne med tid til testing og justeringer. Det er da ikke snakk om måneder, men heller dager.

I første omgang vil ikke denne robotcellen frigjøre en arbeider, men hjelpe og avlaste. Positivt for bedriften i den forstand er at prosessen vil bli mer effektiv som igjen betyr flere mellomstykker produsert, som da resulterer i lavere kostnad per mellomstykke. Det vil bli tid til overs i prosessen dersom det legges opp til produksjon av flere like mellomstykker samtidig, dette frigjør da operatøren delvis, til å kunne gjøre andre oppgaver som ikke kunne blitt utført før.

Med denne robotcellen skifter man raskt mellom ulike sveiseposisjoner, noe som resulterer i at denne vil sveise raskere enn man kan manuelt. Under kapittelet 3.5.1 UR10 Spesifikasjoner finner man at hastigheten på de roterende leddene er på opptil 180°/s, med en repeterbarhet på 0.05 mm. Med sveiseverktøy påmontert er repeterbarheten 0.1 mm. Migatronic har regnet på lysbuetid ved manuell produksjon og ved bruk av CoWelderen, figuren under viser forskjell.



Figur 27 Illustrasjon på lysbuetid pr. time ved bruk av CoWelder og ved manuell produksjon (Migatronic, 2020).

Andre positive ting som ikke kan regnes nøyaktig på da det ikke foreligger nok data, men som kan nevens er følgende:

- Sveiseapparat leveres med IGC (Intelligent Gas Control) som gir mindre gassforbruk og reduserte gasskostnader.
- Stabil og god kvalitet på ferdigsveist produkt, mindre deler som må skrotes.
- Ikke behov for at operatør kan sveise, besparelser i opplæring/kurs og lignende. Dyktige sveisere kan fokusere på andre oppgaver, får frigjort verdifull arbeidskraft.
- Mindre sannsynlig for slitasjeskader i rygg, nakke og skuldre, større sannsynlighet for at operatør trives på jobb.

Til slutt kan det tas med at foreslått robotcelle ikke er låst til å kun sveise mellomstykker, det finnes mange flere programmeringsmuligheter. Ydra får en mulighet til å ta inn andre deler av produksjonen.

4 Simulering av robotcelle

For å simulere sveiseprosessen som utføres av robotcellen i foreslått løsning ble det bygget en modell, med en UR5 robotarm fra Universal Robots.

4.1 Modell

Modellen er bygget med tanke på hvordan robotcellen i foreslått løsning er konstruert og satt sammen. Modellen har en opphengt robotarm i en bjelke. I foreslått løsning blir det brukt en UR10 robotarm, i modellen brukes det en UR5 robotarm, noe som betyr at denne modellen er i en litt mindre skala enn den foreslåtte løsningen.

Intern veileder, Runald Walter Meyer, laget tegninger til hvordan konstruksjonen skulle se ut, og med mål på delene som skulle kappes og lages. Modellen består av fem aluminiumprofiler som er montert på et bord. Aluminiumsprofilene ble først kappet og det ble laget- og gjenget hull til montering, profilene er montert med M8 bolter. For å montere robotarmen i bjelken er det brukt muttere som skyves inn i spor som er i profilen. Robotarmen festes med fire M8 bolter. Vedlagt ligger tegninger for konstruksjonen.

4.1.1 Simulering av sveis med gripeverktøy

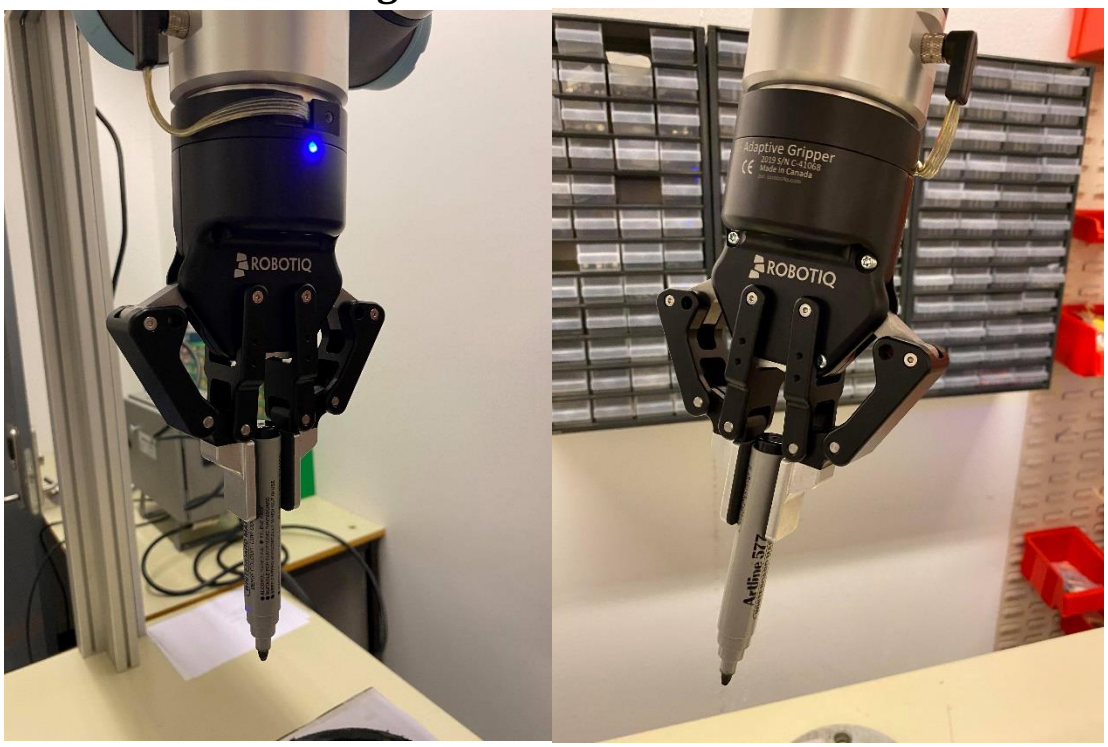
I foreslått løsning er det montert et sveisehode med tilhørende sveiseapparat i enden på robotarmen. For å simulere sveiseprosessen er det montert en tusj i gripeverktøyet til roboten, som skal «tegne» sveisen istedenfor å faktisk sveise. Sveishodet i foreslått løsning har en bøyd endestuss som er 45°, dette vil gjøre det lettere å gjennomføre den innvendige sveisen sammenlignet med hvordan innvendig sveis blir simulert med tusj.

4.2 Bilder av oppsett

Figur 28 Oppsett for simulering. Foto: Heine Teige

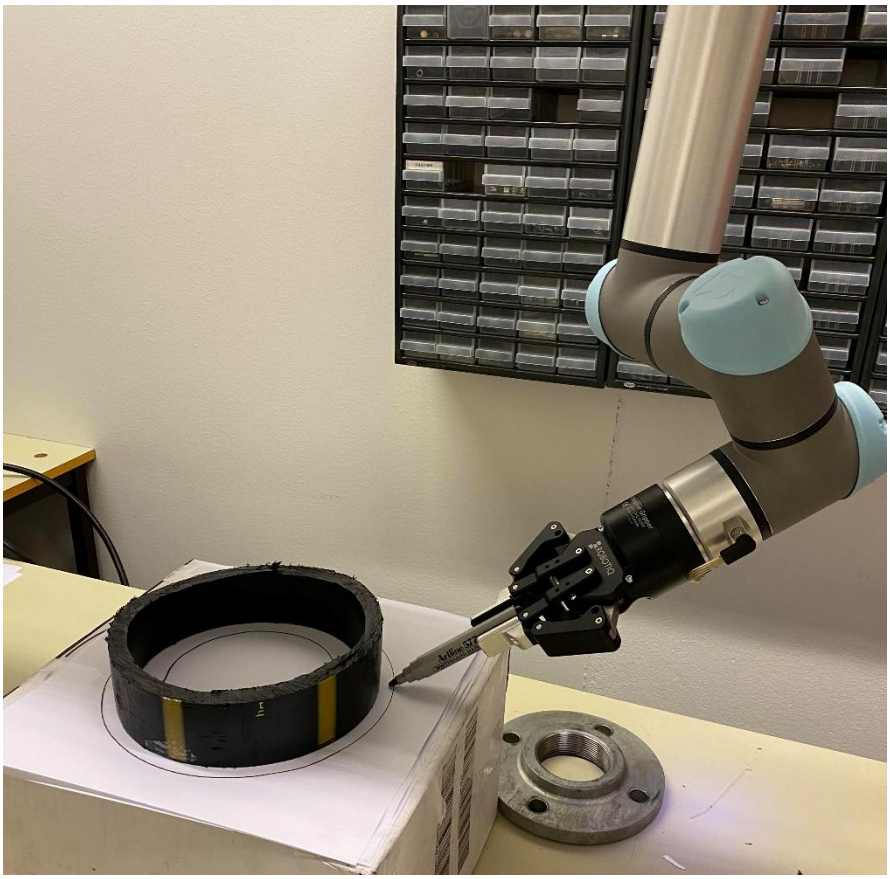
Figur 29 Kontrollboks og touch-pendant/tablet som brukes til programmering og konfigurasjon. Foto: Heine Teige

4.3 Bilder fra simulering



Figur 30 Tusj montert i griper for å simulere sveising. Foto: Heine Teige

Figur 31 Robotarm i start/home pos. før simulering starter, robotarmen returnerer til denne pos. etter gjennomkjøring.. Foto: Heine Teige



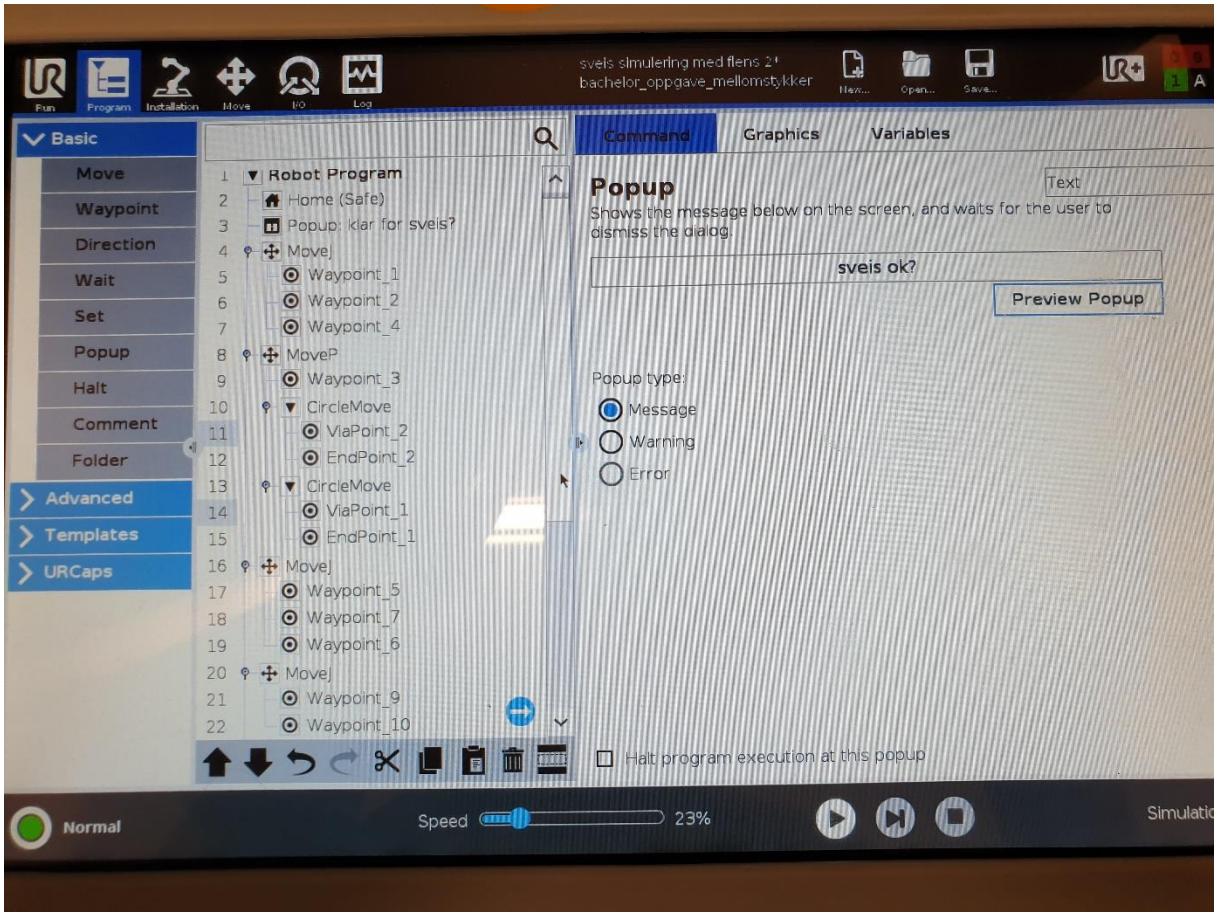
Figur 32 Simulering starter med utvendig sveis av mellomstykke. Foto: Heine Teige

Figur 33 Simulering forsetter med innvendig sveis av mellomstykke. Foto: Heine Teige

4.4 Programmering og konfigurering

Programmeringen ble gjort med Teach-pendanten. Alle veipunktene i programmet ble satt ved hjelp av Freedrive funksjonen. Rettlinjede bevegelser til roboten ble utført med kommandoen moveJ, og de sirkulære bevegelsene ble gjort med kommandoen moveP.

Griperen er fra Robotiq, og ikke fra Universal Robots. Dette medførte at det måtte installeres en URCap i Polyscope. URCap er utvidelser til Polyscope som gir en utvidet funksjon, i dette tilfellet var det programvare til styring av griperen. Polyscope ble også oppdatert fra versjon 5.3 til versjon 5.8. Oppdateringen måtte skje i flere trinn, først til versjon 5.4, så til 5.5 osv. Oppdateringene ble lastet ned gratis fra Universal Robot sin hjemmeside, og ble overført via minnepenn og USB, til Teach-pendanten.

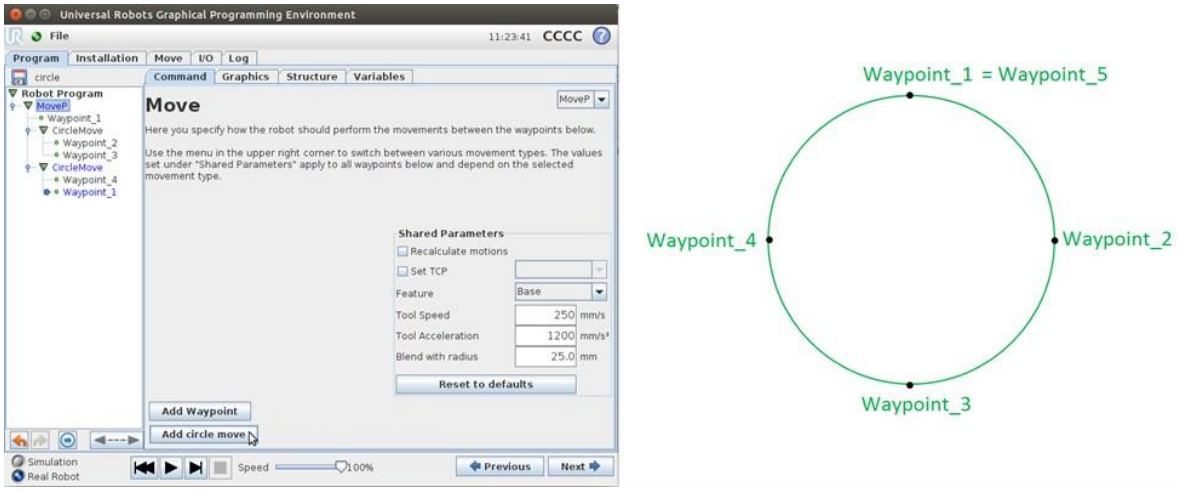


Figur 34 Deler av programmet benyttet i simuleringen. Foto: Andreas Nilsen-Sjøen

Med Freedrive funksjonen settes veipunkter, og roboten kalkulerer deretter en bane mellom disse veipunktene. Banetypen blir bestemt av hvilken type move-kommando som er overordnet til veipunktene. Den resulterende banen kan være uønsket, men kan justeres ved å legge inn ekstra veipunkt imellom de originale veipunktene. Det er mulig å benytte Freedrive funksjonen alene, men det er mye lettere å få en bedre nøyaktighet på veipunktene dersom en person opererer Teach-pendanten og en annen person justerer robotarmen.

I moveP funksjonen er det innebygd en funksjon som heter CircleMove. Denne tar utgangspunkt i tre punkter, og lager en bue mellom punktene. For å lage en hel sirkel må to CircleMove funksjoner kombineres, der det første og siste veipunktet er det samme.

Universal Robots har en support-nettside der det publiseres artikler som forklarer hvordan vanlige problemstillinger kan løses i PolyScope, som for eksempel sirkelbevegelse.



Figur 35 Programmering av sirkelbevegelse (Universal Robots, 2020).

Når Freedrive funksjonen benyttes er det viktig å være nøyaktig med lokasjonen til punktene, og velge rimelige vinkelutslag på robotleddene, for å oppnå ønsket resultat. Spesielt i CircleMove kommandoen kan robotarmen ende med å prøve å gå inn i uoppnåelige stillinger, som ender med at programmet stopper og gir feilmelding.

Polyscope er veldig brukervennlig, og det grafiske brukergrensesnittet er enkelt å navigere seg gjennom. Det ligger mye matematikk bak programvaren som ikke er synlig. Eksempelvis er verktøyets hastighet et resultat av vinkelhastigheten til alle de seks leddene til robotarmen. Brukeren trenger bare å oppgi ønsket hastighet på verktøyet, så tar programvaren seg av utregningen av hastigheten til alle leddene. Det samme gjelder for banen til robotarmen mellom to veipunkter. Brukeren spesifiserer to veipunkter, og programvaren regner ut hastighetene som leddene må ha for å få en myk overgang mellom posisjonene/veipunktene. Dette gjør at en kan få litt uventede resultater.

Det er også mulighet for mer avansert programmering i Polyscope uten å benytte Freedrive funksjonen, der posisjonen blir satt manuelt ved hjelp av x-, y- og z-koordinater, og orienteringen blir satt ved vinkelutslagene rx, ry og rz. Posisjonen og orienteringen er beregnet til TCP (Tool Center Point), og robotarmen kan oppnå dette fra flere posisjoner. Dette gjør at spesifikke vinkelutslag på de roterbare leddene må oppgis for at robotarmen skal nå punktet fra ønsket posisjon. I simuleringen ble det bare benyttet Freedrive, grunnet i at det tar mye lengre tid å sette seg inn i den mer avanserte delen av Polyscope.

I start og slutt av programmet er det lagt inn en Home (Safe) funksjon. I oppsettsdelen av Polyscope kan en hjemposisjon konfigureres slik at roboten kan vende «hjem» til denne posisjonen ved programstart/programslutt. Når denne funksjonen ligger i programmet kan også roboten kjøres «hjem», dersom en feil eller stopp oppstår underveis i programmet.

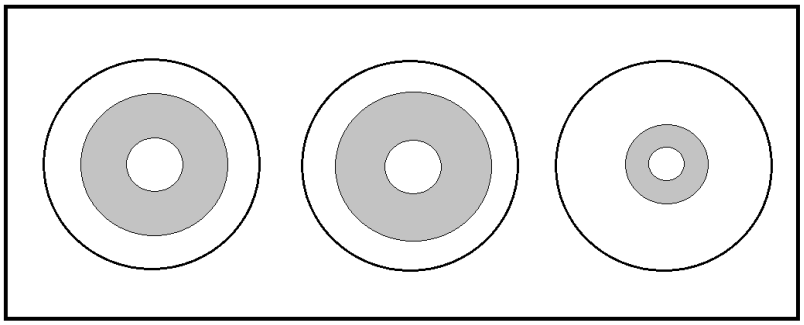
5 Forslag til utvidelse

Siden starten på prosjektet har det vært sett på hvordan hele prosessen, fra deler på lager til ferdig sveist, kan hel-automatiseres. En av grunnene til at valget kom på Migatronic CoWelder er fordi det finnes flere muligheter for å koble Universal Robots sitt system opp mot andre maskiner og system. Det har vært ønskelig fra Ydra at valgt løsning skal kunne bygges på med en automatisert prepareringsdel ved senere anledning.

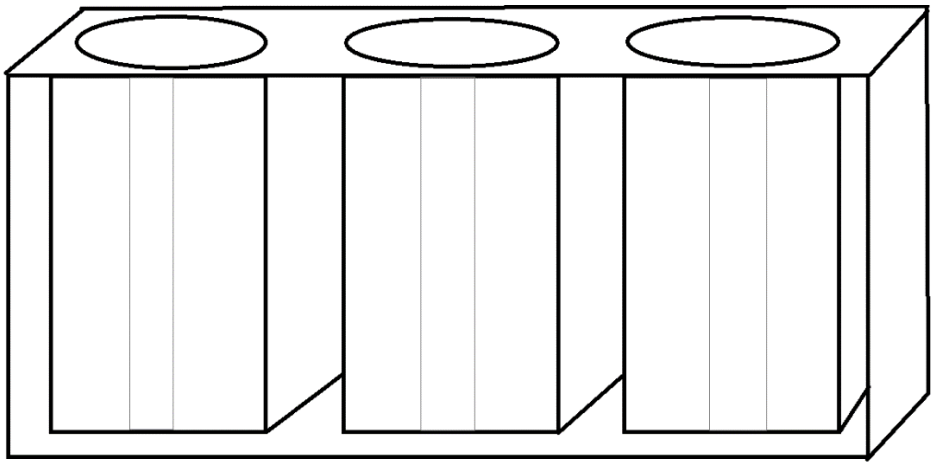
En mulighet for utvidelse er å bruke enda en robotarm fra Universal Robots, som da skal ta seg av både delhåndtering og preparering.

5.1 Lagring av deler

For å effektivisere prosessen så mye så mulig kan det startes med å se på hvordan delene blir lagret. Dersom en robotarm skal hente deler fra et lager er den avhengig av at den enkelt kan finne- og hente deler på spesifikke steder (forhåndsprogrammerte steder). Det ble sett på hvordan tallerkener ble stablet og lagret på hoteller og i restauranter, et lignende konsept kan bli benyttet til å lagre flenser. Delene som skal lagres er av aluminium, som betraktes som et lett materiale i forhold til eksempelvis stål, noe som gjør at dette kan være gjennomførbart. Illustrasjonene under viser tankegangen bak å lagre flensene på denne måten.



Figur 36 Skisse for lagring av flenser, sett ovenfra. Flenser er illustrert med grå farge.



Figur 37 Skisse for lagring av flenser, sett fra siden.

Hva om flensene lagres på en slik måte at når en flens er blitt plukket av robotarmen vil de resterende flensene rykke et hakk oppover. Da kan roboten enkelt programmeres til å hente deler fra de samme stedene hver gang, de vil også være enkelt å holde orden i beholdningen.

Videre kan rørene lagres på en slik måte at når et rør blir hentet vil neste rør trille fremover i rekken, det er da ønskelig at rørene er ferdigkappet i de ulike lengdene som finnes.

5.2 Automatisert preparering

Når det kommer til prepareringsdelen, er det satt opp to forslag til hvordan dette kan utføres. Tankegangen er å implementere en ekstra robot inn i prosessen, denne kan også benyttes i prepareringsdelen.

Forslag 1: Bruke selve robotarmen til å preparere med, enten med griper og slipeverktøy i samme verktøyhode, eller at det blir benyttet et verktøyhode med mulighet for verktøyskifting.

Forslag 2: Roboten blir kun brukt til å flytte på delene. Roboten bruker griperen og flytter delene i en prepareringsmaskin, eksempelvis en automatisk sandblåsemaskin.

I begge løsningene tenkes det at den ekstra roboten vil gå på en skinne (Linear Motion Kit), og kan da styres mellom lager- og prepareringsområde. Lengden på skinnen kan Ydra selv bestemme ved bestilling.

Figur 38 UR-robotarm som er montert på en Linear Motion Kit skinne (Universal Robots, 2020).

Figur 39 UR-robotarm som er montert på Linear Motion Kit skinne, montert i bjelke (Universal Robots, 2020).

5.2.1 Forslag 1

Forslag nummer en går inn på dette med å bruke selve roboten i prepareringsprosessen, slik at Ydra slipper å investere i en maskin for preparering i tillegg til en ekstra robotarm. En relativt ny løsning for verktøyskift innen robotteknologi er Dual Quick Changer verktøyhodet. Tanken her er da at man skal kunne ha en- griper og sliper i samme verktøyhode.

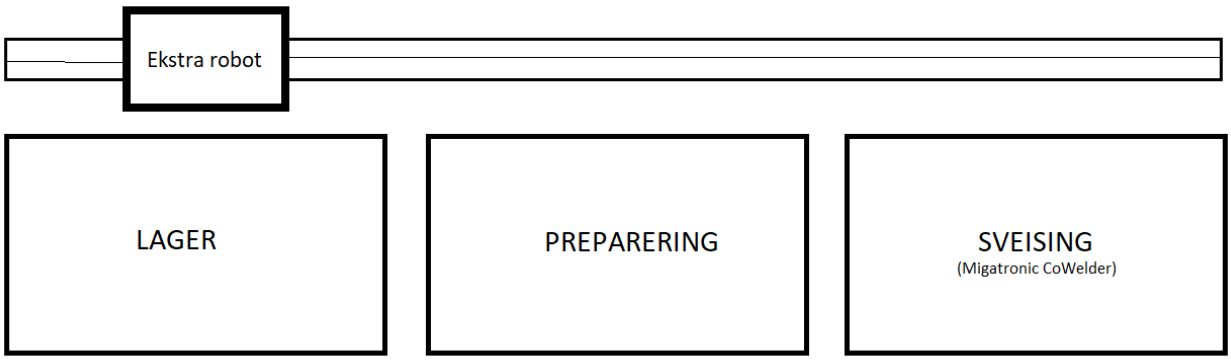
Figur 40 Dual Quick Changer verktøyhode (Onrobot, 2020).

En annen mulighet er å bruke Smartshift-verktøyet, dette er et norsk patentert design. Smartshift-verktøyet skifter systemer slik at skifting av verktøy kan automatiseres og gjennomføres på sekunder. En fordel med dette verktøyet er at operatøren enkelt kan skifte ut defekte eller utslitte verktøy (dersom slipeverktøyet er slitt og trenger utskifting eksempelvis), dette minimerer da produksjonsstans. Smartshift er universalkompatibelt, og koblingene er modulbaserte, noe som muliggjør mekanisk, pneumatisk og elektrisk tilkobling (Smartshift Robotics, 2020).

Figur 41 Smartshift-verktøy (Universal Robots, 2020).

5.2.2 Forslag 2

Forslag nummer to går inn på dette med å bruke den ekstra robotarmen til å kun flytte på delene mellom lager og prepareringsområdet. Delene kan prepareres på ulike måter i prepareringsområdet, men en av mulighetene er å bruke en automatisk sandblåsemaskin.



Figur 42 Skisse for forslag 2, bruke robot til å flytte på deler mellom stasjonene, robot montert på linear motion kit.

Tankegang i lagerområdet vil fortsatt være det samme, her hentes delene slik som forklart i kapittel 5.1 Lagring av deler. Delene fraktes så over i prepareringsområdet, der det eksempelvis kan stå en automatisk sandblåsemaskin som fjerner oksidlaget på delene og rengjør (med trykkluft). Videre fraktes delene til sveiseområdet der den foreslåtte løsningen er plassert, nemlig Migatronic CoWelder. Fordelen med Universal Robots, både i forslag en og to, er at robotene kan kobles sammen, slik at de kan «snakke sammen». Det kan gis signal frem og tilbake, mellom robotene, hvor langt i prosessen de er kommet.

6 Konklusjon

Hovedmålet med denne rapporten var å foreslå en videreutvikling av dagens løsning slik at sveiseprosessen ble mer effektiv. Det skulle ses på ulike mulige løsninger, og metodisk foreslå en løsning på bakgrunn av funksjon, kvalitet og økonomi. Foreslått løsning måtte ha mulighet til å kunne utvides med en prepareringsdel på et senere tidspunkt. Til slutt skulle arbeidet innarbeides i en oversiktlig rapport og foreslått løsning skulle forklares og dokumenteres.

Tid til simulering har ikke vært gunstig, da Norge, næringsliv og skoler har vært lukket ned grunnet pandemien som har rammet landet, og verden (covid-19). Det er kun siste uken før opprinnelig innleveringsfrist at gruppen har fått tilgang til å bygge- og jobbe med konstruksjon og simulering. To uker innvilget utsettelse av opprinnelig frist har hjulpet på. Ved hjelp av simulering har vi fått et mye bedre bilde på den foreslåtte løsningen, og blitt enda mer trygg på at denne løsningen kan fungere bra for Ydra. Vi har lært mye mer om hvordan de 6 roterende leddene opererer og hvordan roboten «tenker». Det har vært utrolig lærerikt og interessant å jobbe med programmering, konfigurering og simulering av modellen. Ut ifra simuleringen har det blitt konkludert med at foreslått løsning vil kunne fungere bra, og være en effektiv og nyttig investering for Ydra.

I simuleringen ble det stort sett brukt Freedrive-funksjonen til å programmere de to simulerte sveisene (utvendig- og innvendig sveis). For å få en mest mulig nøyaktighet på den virkelige sveisen anbefaler vi at det benyttes en kombinasjon av Freedrive-funksjonen og å programmere med styring fra Teach-pendanten. Gruppen har ikke noe bakgrunn innen programmering av roboter, og syntes programmeringen var enkel å sette seg inn i og forstå.

Målene ble nådd og det har blitt foreslått en løsning som vil kunne effektivisere sveiseprosessen, og delvis automatisere den. Foreslått løsning vil kunne føre til at ønsket antall mellomstykker blir produsert i løpet av en dag, og operatøren unngår belastningen dagens prosess medfører. Faktiske økonomiske gevinster er ikke utregnet, men foreslått løsning vil bidra til reduserte kostnader, satt opp mot dagens prosess.

7 Bibliografi

3D-Printing.com. (2020, 03 07). *What is 3D printing?* Retrieved from 3Dprinting.com: https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/

Axenics. (2020, Mars 21). *What Are the Benefits of Orbital Welding?* Retrieved from Webområde for Axenics: https://axenics.com/blog/benefits-orbital-welding

Cobotnor. (2020, Mars 5). *Webområde for Cobotnor*. Retrieved Mars 5, 2020, from Våre roboter: https://www.cobotnor.no/vare_roboter/fordeler-med-ur-roboter/

Desktop Metal. (2020, April 21). *Production System TM*. Retrieved from Webområde for Desktop Metal: https://www.desktopmetal.com/products/production

Google VR. (2020, 04 20). *Degrees of Freedom*. Retrieved from Webområdet for Google VR: https://developers.google.com/vr/discover/degrees-of-freedom

Hamnøy. (2020, 04 15). *Hamnøy - Ydra AS*. Retrieved from Webområde for Hamnøy: https://hamnoy.no/bedrifter/hatteland/ydra-as/

Høgskulen på Vestlandet. (2020, April 23). *Webområde for Høgskulen på Vestlandet*. Retrieved from Emne, ING3055: https://www.hvl.no/studier/studieprogram/emne/27/ing3055

ISO. (2020, April 24). *Webområde for ISO*. Retrieved from ISO 10218-2: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10218:-2:ed-1:v1:en

KEMPPI. (2020, Mars 20). *Webområde for KEMPPI*. Retrieved Mars 20, 2020, from Vedlikehold: https://userdoc.kemppi.com/no/webhelp_kemppi2/topics/webhelp_maintenance_daily.html

MathWorks. (2020, 04 20). *6-DOF joint*. Retrieved from Webområde for MathWorks: https://se.mathworks.com/help/physmod/sm/ref/6dofjoint.html

Metal Supply. (2020, April 20). *Yaskwava sveiseroboter*. Retrieved from Webområde for Metal Supply: https://www.metalsupply.no/machine/view/211938/yaskawa_sveiserobot

Migatronic. (2020). Retrieved Februar 2020, from Prisliste CoWelder 2020.

Migatronic. (2020, Mars 29). Brosjyre for Migatronic CoWelder.

Migatronic. (2020). *Eksempel på tilbud fra Migatronic*. Retrieved from Tilbudsdokument.

Migatronic. (2020, April 24). *Migatronic CoWelder brosjyre*. Retrieved from Sigma Select 400.

Migatronic. (2020, Februar 27). *Webområde for Migatronic*. Retrieved Februar 27, 2020, from Produkter og løsninger: https://www.migatronic.com/da/produkter-og-loesninger/svejsemaskiner/cowelder/

Motion Controls Robotics. (2020, April 21). *Unraveling Degrees of Freedom and Robot Axis*. Retrieved from Webområde for Motion Controls Robotics:

https://motioncontrolsrobotics.com/unraveling-degrees-of-freedom-and-robot-axis-what-does-it-mean-to-have-a-multiple-axis-pick-and-place-or-multiple-axis-robot/

Müller Opladen. (2020, Mars 24). *Pipe Flange Welding*. Retrieved from Webområde for Müller Opladen: https://www.mueller-opladen.de/en/automated-welding/pipe-flange-welding/

Nasjonal digital læringsarena. (2020, Mars 30). *NDLA*. Retrieved Mars 30, 2020, from Webområde for NDLA: https://ndla.no/nb/subjects/subject:28/topic:1:22898/topic:1:58242/resource:1:45141

Onrobot. (2020, April 24). *Webområde for Onrobot.* Retrieved from Produkter, dual quick changer: https://onrobot.com/nb/produkter/dual-quick-changer

OpenPR. (2020, Mai 08). *Webområde for OpenPR.* Retrieved Mai 08, 2020, from News, automotive robotics: https://www.openpr.com/news/1318557/automotive-robotics-market-booming-growth-trends-worldwide-with-top-companies-universal-robots-staeubli-seiko-epson-corporation-rockwell-automation-omron-automation-kuka-robotics-fanuc-america-duerr-comau-abb.html

Orbimax. (2020, 04 21). *Orbiweld product*. Retrieved from Webområdet for Orbimax: https://www.sfiorbimax.com.au/collections/orbital-welding/products/orbiweld-38s-76s-115s-170s

Orbital Fusion Technologies. (2020, Mars 19). *Ultimate Guide To Orbital Welding*. Retrieved from Webområde for Orbital Fusion Technologies: https://www.orbitalft.com/ultimate-guide-to-orbital-welding/

Robotic Industries Association. (2020, April 24). *Webområde for RIA.* Retrieved from ISO/TS 15066 Update: http://dept.me.umn.edu/courses/me5286/robotlab/Resources/12-TR15066Overview-SafetyforCollaborativeApplications-RobertaNelsonShea.pdf

ScienceDirect. (2020, April 21). *A comparative study of soft computing methods to solve inverse kinematics problem*. Retrieved from Webområde for ScienceDirect: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447917300965

Smartshift Robotics. (2020, April 2). *Webområde for Smartshift Robotics*. Retrieved April 2, 2020, from Tool Changer: https://smartshift-robotics.com/nn/product-category/tool-changer/

Store Norske Leksikon. (2020, Mars 18). *Robot*. Retrieved from Webområde for Store Norske Leksikon: https://snl.no/robot

Store norske leksikon. (2020, Mars 6). *Webområde for Store norske leksikon*. Retrieved Mars 6, 2020, from MIG-sveising: https://snl.no/MIG-sveising

Sumner. (2020, April 29). *Internal Fit-Up Clamp*. Retrieved from Webområde for Sumner: http://www.sumner.com/sumner/sub/productb/main.97.7.11.120.97.0.html

Universal Robots. (n.d.). Retrieved from Bruker manual for UR10, side 41.

Universal Robots. (2020, April 27). Retrieved from Tegninger fra Universal Robots: http://www.alumotion.eu/wp-content/uploads/2018/07/ur10e-

1000700.pdf?fbclid=IwAR2yVBk3z2BMD-uQCvwqWjLmZRQotj4HGIjQKrBx8p_Mq1vGo4Ps5M5Z6-s

Universal Robots. (2020, April 27). *Brukermanual for UR10.*

Universal Robots. (2020, Mai 8). *Create a complete circle using MoveC*. Retrieved from Webområdet for Universal Robots: https://www.universal-robots.com/articles/ur-articles/create-a-complete-circle-using-movec/

Universal Robots. (2020, Mars 19). *Industrial Robots vs Cobots*. Retrieved from Webområde for Universal Robots: https://blog.universal-robots.com/know-your-machine-industrial-robots-vs.-cobots

Universal Robots. (2020, Mars 25). *Servicemanual for UR10.*

Universal Robots. (2020, Mars 20). *Universal Robots UR10 Datablad.*

Universal Robots. (2020, Mars 5). *Webområde for Universal Robots*. Retrieved Mars 5, 2020, from Vår historie: https://www.universal-robots.com/no/om-universal-robots/vaar-historie/

Universal Robots. (2020, April 24). *Webområde for Universal Robots*. Retrieved from Products: https://www.universal-robots.com/products/

Universal Robots. (2020, April 24). *Webområde for Universal Robots*. Retrieved from https://www.universal-robots.com/3d/ur10.html

Universal Robots. (2020, April 24). *Webområde for Universal Robots.* Retrieved from Accessories, linear motion kit: https://www.universal-robots.com/plus/urplus-components/accessories/linear-motion-kit/

Universal Robots. (2020, April 24). *Webområde for Universal Robots.* Retrieved from Accessories, smarshift automated tool changer: https://www.universal-robots.com/plus/urplus-components/accessories/smartshift-automated-tool-changer/

Universal Robots. (n.d.). *Webområde for Universal Robots.* Retrieved Mars 10, 2020, from Bruker manual for UR10.

Ydra. (2020, 04 15). *Hjemmeside Ydra*. Retrieved from Webområdet for Ydra: https://ydra.no

Zacobria. (2020, April 24). *Webområde for Zacobria.* Retrieved from Basic UR, Lesson 1 - Teach Waypoints: https://www.zacobria.com/universal-robots-knowledge-base-tech-support-forum-hints-tips/knowledge-base/basic-ur-teach-waypoints/

Vedlegg

Vedlegg 1 – Liste over mellomstykker

Vedlegg 2 – Oversiktsskisse for konstruksjon til simulering

Vedlegg 3 – Skisse for del pos. 1 fra oversiktsskisse

Vedlegg 4 – Skisse for del pos. 2 fra oversiktsskisse

Vedlegg 5 – Skisse for del pos. 3 fra oversiktsskisse

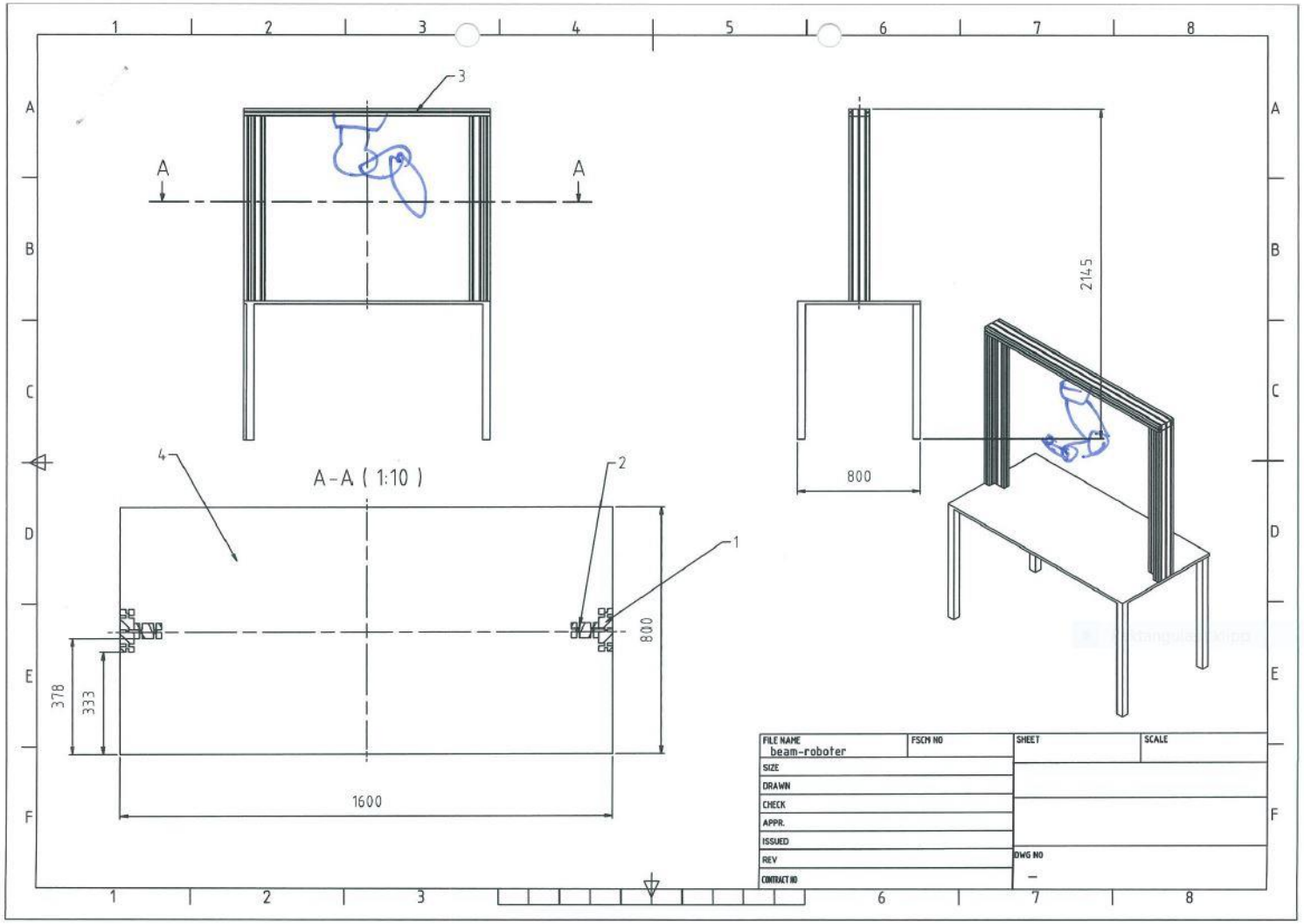
Vedlegg 6 – Skisse av bord for montering

Vedlegg 1 – Liste over mellomstykker

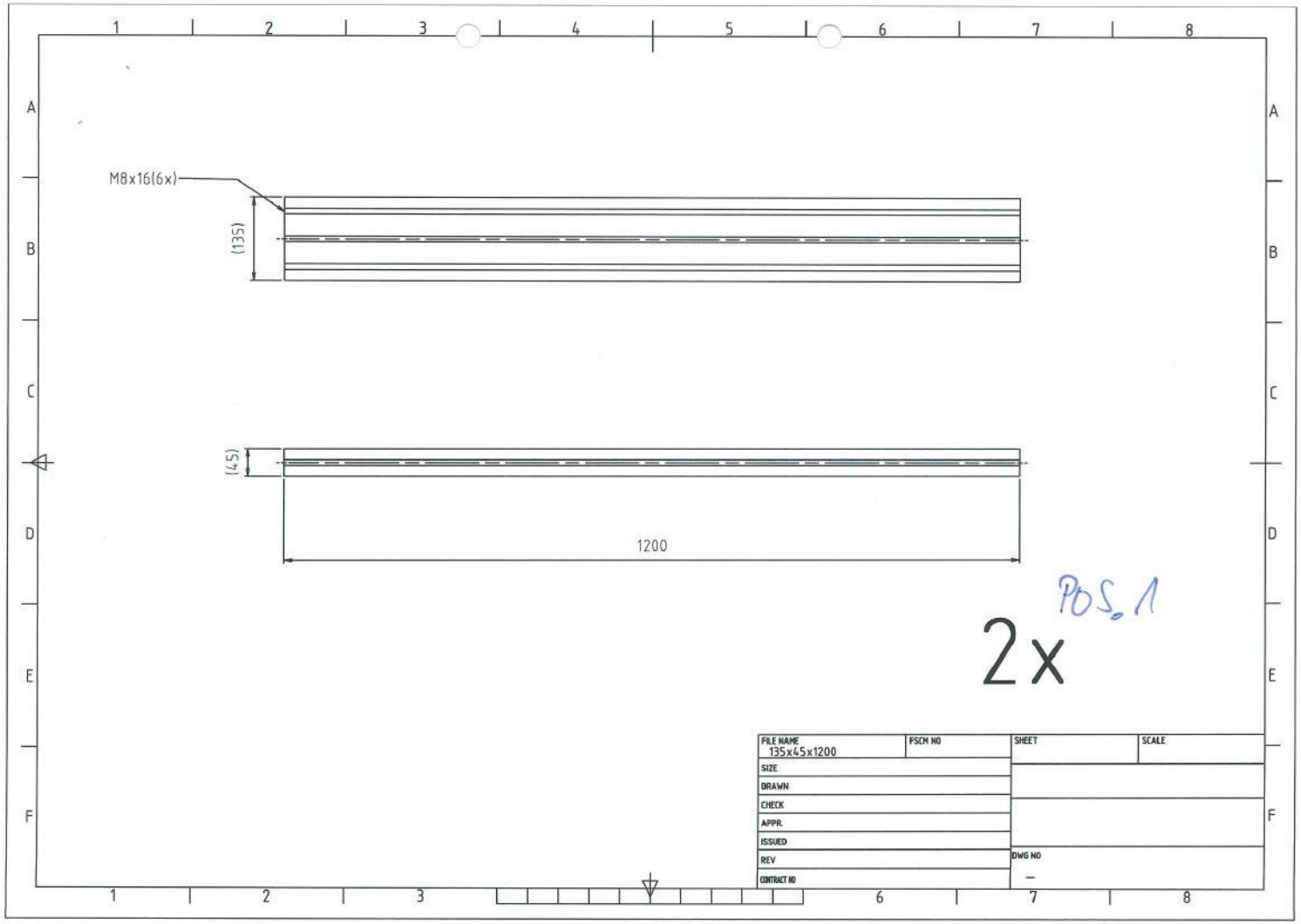
Det er den indre diameteren som er oppgitt på rørene. Alle rør har en veggtykkelse på 10mm. Alle oppgitte verdier i tabell er i [mm].

		RØR			MOTORFLENS			PUMPEFLENS		
Bokstavkode	TegningsNr:	Ø	KAPP	DREID	Ø1	Ø2	T	Ø1	Ø2	T
A1	106-901252064	Ø160	40	37	Ø220	Ø110	15	Ø220	Ø110	15
B2	106-901602066	Ø160	44	39	Ø220	Ø110	15	Ø255	Ø110	15
B3	106-901602868	Ø160	44	41	Ø220	Ø110	15	Ø255	Ø110	15
C4	106-902002868	Ø160	46	41	Ø220	Ø110	15	Ø305	Ø115	15
A5	106-1001252077	Ø160	55	50	Ø255	Ø130	15	Ø220	Ø110	15
B6	106-1001602076	Ø180	55	50	Ø255	Ø130	15	Ø255	Ø130	15
B7	106-1001602886	Ø180	64	59	Ø255	Ø130	15	Ø255	Ø130	15
C8	106-1002002886	Ø160	64	60	Ø255	Ø110	15	Ø305	Ø125	15
C9	106-1122002079	Ø160	58	53	Ø255	Ø110	15	Ø305	Ø125	15
A10	106-1321252093	Ø160	61	57	Ø305	Ø125	20	Ø220	Ø110	20
B11	106-1321602093	Ø180	62	57	Ø305	Ø125	20	Ø255	Ø130	20
B12	106-1321602897	Ø180	66	61	Ø305	Ø125	20	Ø255	Ø130	20
C13	106-1322002896	Ø180	65	60	Ø305	Ø135	20	Ø305	Ø135	20
A14	106-16012520126	Ø160	95	90	Ø355	Ø125	20	Ø220	Ø110	20
B15	106-16016020126	Ø180	95	90	Ø355	Ø140	20	Ø305	Ø125	20
B16	106-16016028131	Ø180	100	95	Ø355	Ø140	20	Ø255	Ø125	20
C17	106-16020028131	Ø180	100	95	Ø355	Ø140	20	Ø305	Ø125	20
C18	106-16020038136	Ø180	106	100	Ø355	Ø140	20	Ø305	Ø125	20
E19	106-16025028131	Ø260	100	95	Ø355	Ø160	20	Ø355	Ø160	20
D20	106-18025038141	Ø260	107	105	Ø355	Ø220	20	Ø280	Ø140	20
C21	106-20020028131	Ø200	100	95	Ø405	Ø125	20	Ø305	Ø125	20
E22	106-20025028131	Ø200	100	95	Ø405	Ø125	20	Ø355	Ø125	20
D23	106-20025038141	Ø260	107	105	Ø405	Ø220	20	Ø280	Ø140	20
D24	106-22525038172	Ø260	137	131	Ø455	Ø220	25	Ø305	Ø125	20

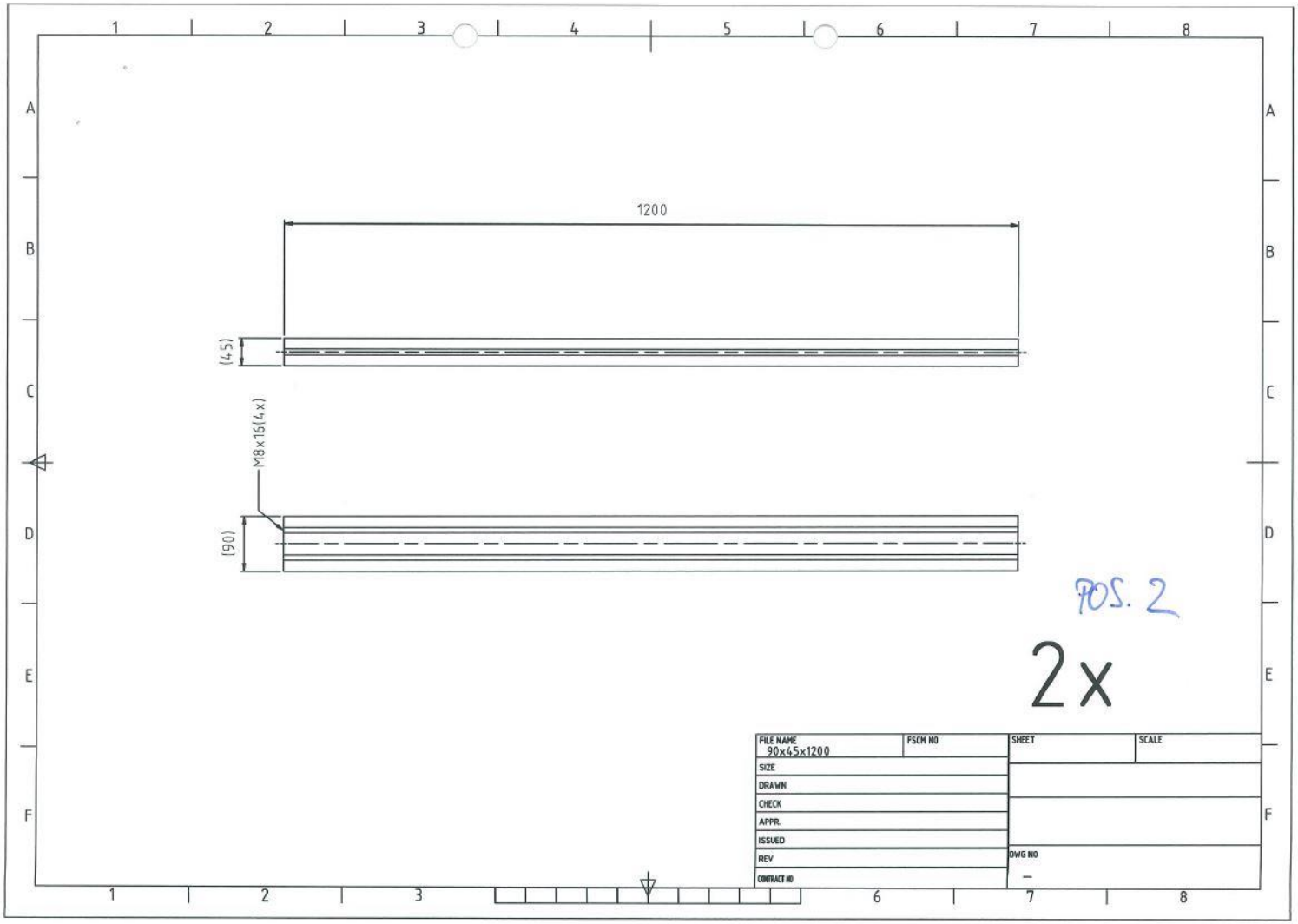
Vedlegg 2 – Oversiktsskisse for konstruksjon til simulering



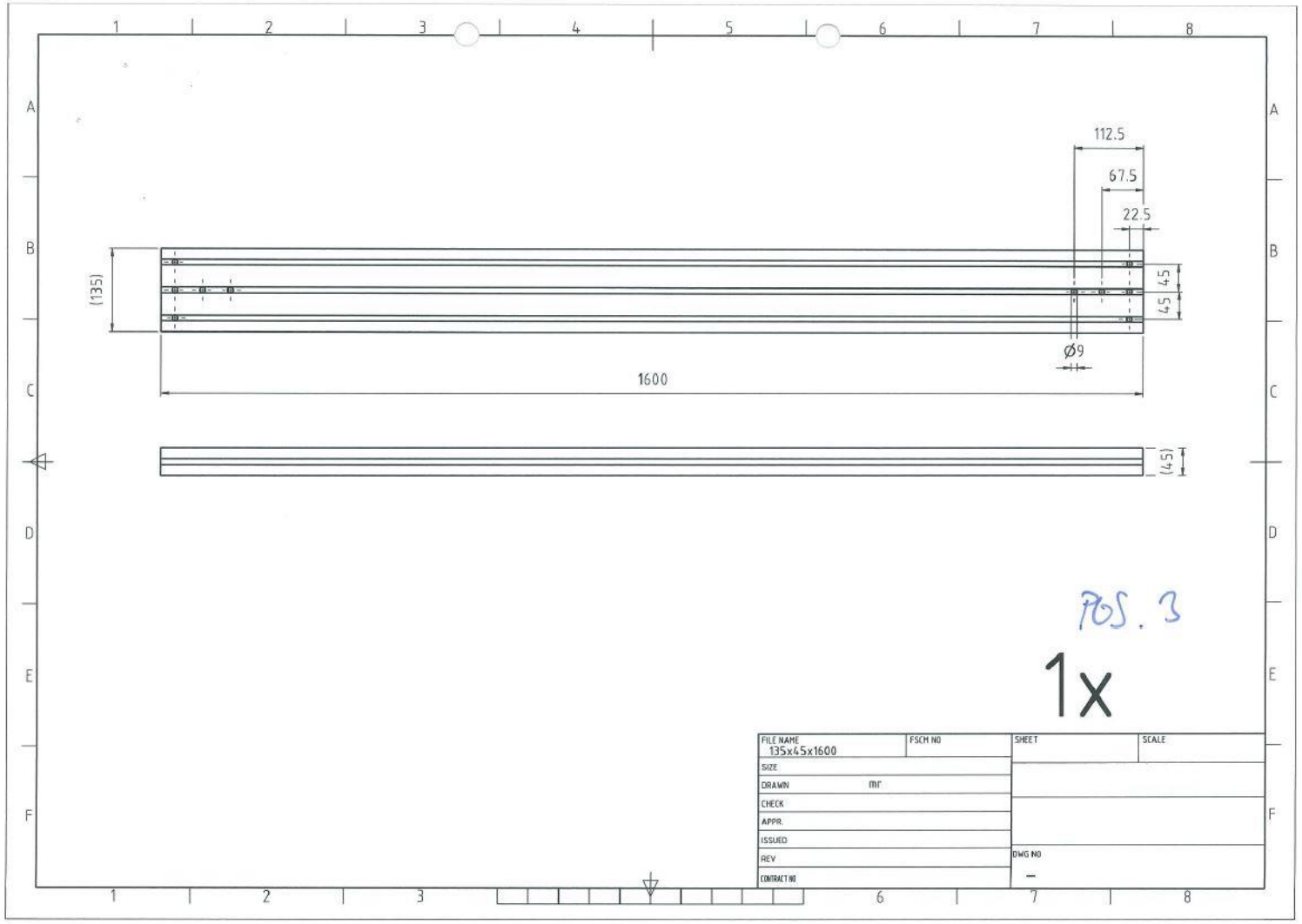
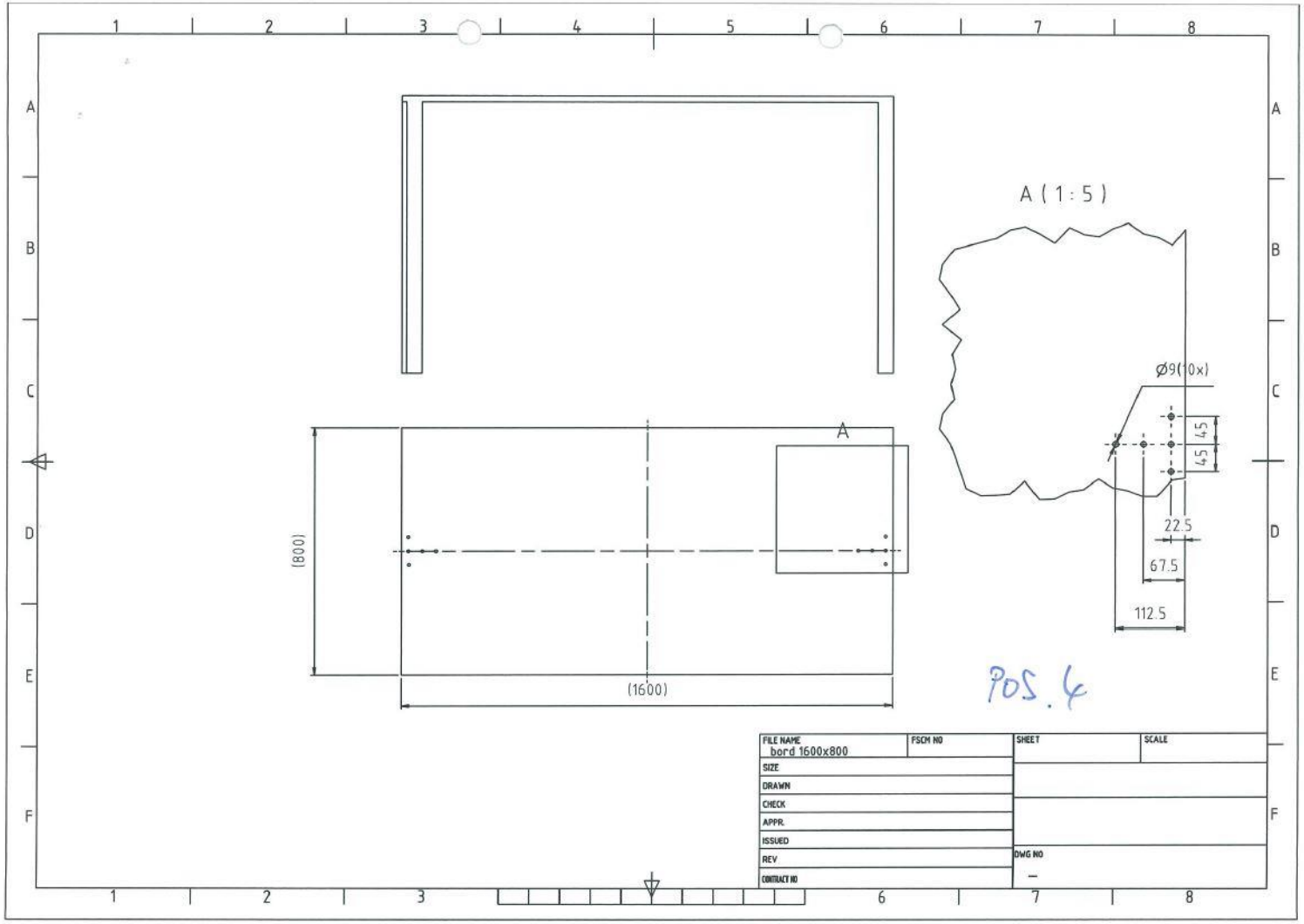
Vedlegg 3 – Skisse for del pos. 1 fra oversiktsskisse



Vedlegg 4 – Skisse for del pos. 2 fra oversiktsskisse



Vedlegg 5 – Skisse for del pos. 3 fra oversiktsskisse



Vedlegg 6 – Skisse av bord for montering