

Sensur av hovedoppgaver

Høgskolen i Sørøst-Norge

Fakultet for teknologi og maritime fag



Prosjektnummer: **2017-07**

For studieåret: **2016/2017**

Emnekode: **SFHO3201**

Prosjektnavn

Robotisert boring og forsening i flystrukturer av aluminium

Robotic drilling and countersinking of aerostructures in aluminum

Utført i samarbeid med: Kongsberg Defence & Aerospace

Ekstern veileder: Simen Hagen Bredvold

Sammendrag: Prosjektet går ut på å automatisere en boring- og forsenningsprosess på flystrukturer av aluminium. Denne prosessen blir i dag gjort manuelt.

Vi har kommet frem til løsninger som tar i bruk 2D «iRVision» og kraftsensor for å korrigere robotens bane, samt produsert et multiverktøy som kan utføre boring, forsening og probing.

Stikkord:

- Robotisering
- Probing
- Boring og forsening

Tilgjengelig: JA

Prosjekt deltagere og karakter:

Navn	Karakter
Maria Løvold	
David Løken	
Morten Andre Aker	
Aliihsan Sicim	
Eivind Lenschow	

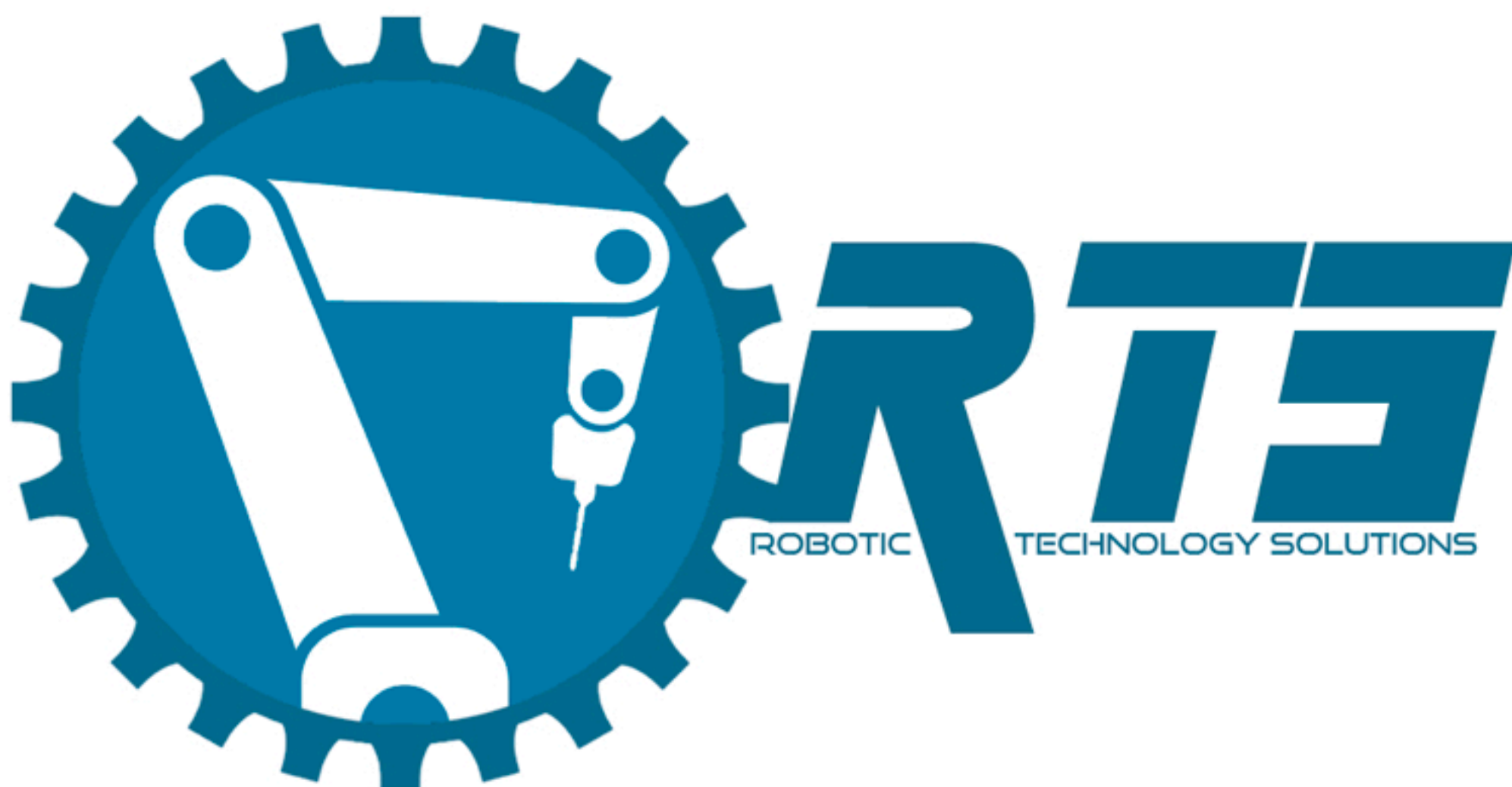
Dato: 9. Juni 2017

Shifteh Mihanyar
Intern Veileder

Karoline Moholth
Intern Sensor

Alf Pettersen
Ekstern Sensor

Robotisert boring og forsenkning i flystrukturer av aluminium



Eivind Lenschow • Maria Løvold • David Løken
Morten André Aker • Aliihsan Sicim

Gruppe 07
2017

Sammendrag

Boring og forsenking inngår i stort omfang i produksjon av flystrukturer hos Kongsberg Defence & Aerospace. Prosessen blir i dag gjort manuelt. Dette er tidkrevende, repeterende og lite HMS-vennlig, noe som gjør prosessen ideell for automatisering.

Vår oppgave i dette prosjektet er å ta i bruk én robot som ved hjelp av et multiverktøy skal bore og forsenke innenfor de strenge toleransene som gjelder for flystrukturene. I tillegg må robotiseringen kunne korrigere robotens bane basert på variasjon i produktets posisjon og geometri. For å gjøre dette må vi:

1. Designe et multiverktøy som kan både bore, forsenke og probe.
2. Beskrive hvordan automatisk eller manuell probing av delen kan korrigere robotens bane for kvalitetssikker gjennomføring.
3. Beskrive hvordan kraftsensor kan brukes for å forhindre at parten blir utsatt for krefter/momenter som kan skade parten.
4. Presentere en løsning for suksessfull boring og forsenking av hull ved å bruke punktene ovenfor.
5. Prøve ut systemet i eksperimenter.

Løsningen for dette ble implementert og testet hos Kongsberg Defence & Aerospace. Vi har kommet frem til løsninger som tar i bruk 2D iRVision og kraftsensor for å korrigere robotens bane, samt produsert et multiverktøy som kan utføre boring, forsenking og probing. Ved testing har vi sett at løsningen innfrir kravene satt til oppgaven, med unntak av en enkel justering som må gjøres. Det er også noe videre arbeid som må gjøres for at produktet skal kunne implementeres til produksjon av flystrukturer.

Dokumentoversikt

1. Prosjektplan

Prosjektplanen vil fortelle noe om hvordan prosjektet skal gjennomføres fra start til slutt. Den inneholder temaer som visjon, her blir gruppen presentert, regler og selve oppgaven. I prosjektplanen finnes også prosjektmodellen vi skal jobbe etter. Denne inneholder mål og milepæler for prosjektet. Vi har også lagt inn en enkel risikoanalyse om prosjektet. I prosjektplanen finner man også aktiviteter og tidsplan, prosjektstyring, budsjett og til slutt et revisjonsdokument som skal oppsummere revisjonene som er gjennomført gjennom prosjektet.

2. Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjonen tar for seg de krav som hører til vårt system basert på krav fra kunde og prosessbeskrivelsen. Vi har her med interessent- og brukerkrav, systemkrav, krav til multiverktøy og krav til festemekanisme for flystrukturer.

3. Testplan

Testplanen forteller noe om hvordan tester skal gjennomføres og hvilket krav testen dekker. Testplanen inneholder de forskjellige testene vi skal utføre hvor vi har tre forskjellige testmetoder; FEM analysetester, kvalitetskontrolltester og SAT tester.

4. Teknologidokument

Teknologidokumentet inneholder forskning, analyse og konklusjoner gjort ut fra informasjon innhentet om arbeidskomponent, spindel, verktøy, festemetoder, probing, kraftsensor, robotarm og teknologiprogrammene som blir brukt.

5. Utviklingsdokument

Utviklingsdokumentet er delt opp i to deler, utviklingdokument – multiverktøy og testdel, og utviklingsdokument – systemprosess. Utviklingsdokumentet kan du lese om vår utvikling av løsningene, hvordan vi har kommet frem til løsningene, utfordringer som har oppstått under utvikling og endelig resultater av vårt produkt.

6. Testrapport

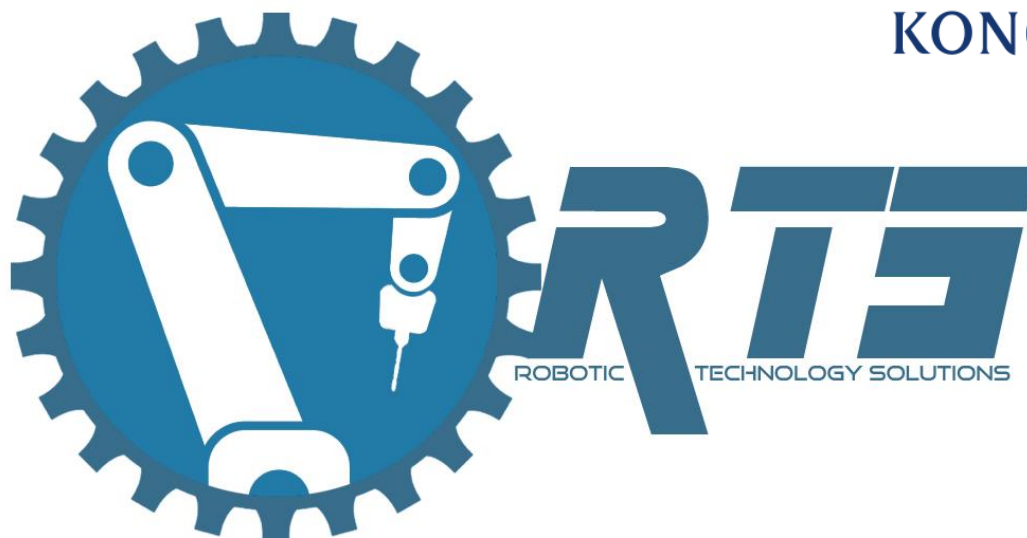
Testrapporten tar for seg testene og utfallet av testene, godkjent/ikke godkjent. Testene er knyttet opp mot kravene satt i kravspesifikasjoner. Tester som du kan lese om her er FEM analysetester, kvalitetskontrolltester og SAT tester.

7. Sluttevaluering

I sluttevalueringen kan du lese om gruppen felles sluttevaluering av prosjektet og produktet. Det vil også være individuelle sluttevalueringer fra hvert enkelt gruppemedlem her.

8. Vedlegg

Inneholder vedlegg som datablader og beregninger.



Prosjektplan		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Aliihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	02.02.2017	Første offisielle versjon
2.00	22.03.2017	Andre offisielle versjon
3.00	24.05.2017	Tredje offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	4
2. Visjon	5
2.1 Gruppeoversikt	5
2.2 Grupperegler	7
2.2.1 Generelle regler	7
2.2.2 Møter	7
2.2.3 Avgjørelser	7
2.2.4 Dokumentasjon	7
2.3 Visjonsdokument	8
2.3.1 Hensikt med visjonsdokumentet	8
2.3.2 Problemstilling	8
2.3.3 Produktsammendrag	8
2.3.4 Hva vi skal gjøre	10
2.3.5 Overordnet beskrivelse av interessenter og brukere	10
2.3.6 Mål og forventninger	10
3. Prosjektmodell	12
3.1 Valg av Modell	12
3.2 Rational Unified Process	12
3.3 De enkelte fasene	14
3.3.1 Oppstart	14
3.3.2 Utdypning	14
3.3.3 Konstruksjon	15
3.3.4 Overføring	15
3.4 Mål og milepæler	16
3.4.1 Mål for oppstartsfasen	16
3.4.2 Mål for utdypningsfasen	16
3.4.3 Mål for konstruksjonsfasen	16
3.4.4 Mål for overføringsfasen	16
3.4.5 Oversikt over milepæler	17
3.5 Disipliner	18
3.6 Arbeidsflyt	18
4. Risikoanalyse for prosjektet	20
4.1 Gruppen	20
4.2 Overordnet teknisk risikoanalyse	22
5. Aktiviteter	25
5.1. Oppstartsfasen	26
5.2. Utdypningsfasen	27
5.3. Konstruksjonsfasen	29
5.4. Overføringsfasen	31
5.5. Tidsbruk per aktivitet	33
5.6. Gantt-diagram	38
6. Budsjett	42
6.1. Estimert budsjett	42
6.2. Budsjett	42
6.3. Innkjøp	43
6.4. Konklusjon	43

7. Prosjektstyring	44
7.1 <i>Skytjenester</i>	44
7.1.1. Google drive	44
7.1.2. Dropbox	44
7.1.3. OneDrive	45
7.1.4. Konklusjon	45
7.2. <i>Programvare for Gantt-diagram</i>	46
7.2.1. Microsoft Excel	46
7.2.2. Microsoft Project	46
7.2.3. Microsoft Visio	47
7.2.4. Konklusjon	47
8. Revisjonsdokument	48
8.1. <i>Hensikt med dokumentet</i>	48
8.2. <i>Oppstartsfasen (09.01.17 – 20.01.17)</i>	49
8.3. <i>Utdypningsfasen (23.01.17 – 10.03.17)</i>	50
8.3.1. Iterasjon en i utdypningsfasen (23.01.17 – 06.02.17)	50
8.3.2. Iterasjon to i utdypningsfasen (07.02.17-10.03.17):	51
8.4. <i>Konstruksjonsfasen (10.03.17 – 10.05.17)</i>	53
8.4.1. Iterasjon en av konstruksjonsfasen (10.03.17- 10.04.17)	53
8.4.2. Iterasjon to av konstruksjonsfasen (11.04.17 – 25.04.17)	54
8.4.3. Iterasjon tre av konstruksjonsfasen (25.04.17-10.05.17)	55
8.5. <i>Overføringsfasen (11.05.17-24.05.17)</i>	57
9. Kilder	58
9.1. <i>Visjonsdokument</i>	58
9.2. <i>Prosjektmodell</i>	58
9.3. <i>Prosjektstyring</i>	58

1. Innledning

Prosjektplanen skal være et hjelpeverktøy for å få et innblikk i prosessen mot det ferdige produktet. Det er viktig å ha en prosjektplan for å kunne følge med på fremdriften av prosjektet.

Prosjektplanen inneholder flere kapitler med forskjellig innhold. Først kommer et kapittel som omhandler visjon. Her finnes en enkel gruppeoversikt med ansvarsområder, interne grupperegler og et visjonsdokument. Visjonsdokumentet inneholder beskrivelse av oppgaven og hvem som er interessentene. Den inneholder også arbeidsgivers mål og forventninger. Videre finnes det et kapittel om prosjektmodellen vi skal jobbe etter, her finner man også våre milepæler.

Etter dette har vi med et kapittel om risikoanalyse, aktiviteter og Gantt-diagrammer. I risikoanalysen har vi med risikoer rundt prosjektet og en overordnet oversikt over teknisk risikoanalyse. Aktivitetslisten inneholder aktivitetslister og en enkel oversikt over hvor mye tid som blir brukt på de forskjellige aktivitetene. Gantt-diagrammet er der for å vise en oversikt over tidsplanen for prosjektet og hvor lang tid man forventer at forskjellige aktiviteter/oppgaver vil vare. Etter Gantt-diagram har vi med et budsjett. Til slutt har vi med et kapittel om prosjektstyring som omhandler de forskjellige hjelpeverktøyene vi bruker til å gjennomføre prosjektet, samt et revisjonskapittel. I revisjonskapittelet står det et kort utdrag om hver revisjon som er gjennomført etter endt iterasjon.

2. Visjon

2.1 Gruppeoversikt

	<p>Navn: Eivind Lenchow E-post: Elenschow@hotmail.com Tlf: 41087004 Kybernetikk og mekatronikk- Elektro</p>	<p>Hovedansvarsområder: Prosjektleder</p>
	<p>Navn: Maria Løvold E-post: Marialovold@yahoo.com Tlf: 40436766 Kybernetikk og mekatronikk- Elektro</p>	<p>Hovedansvarsområder: Dokumentansvarlig</p>
	<p>Navn: David Løken E-post: 94057605 Tlf: David.loken92@gmail.com Kybernetikk og mekatronikk- Elektro</p>	<p>Hovedansvarsområder: Simuleringsansvarlig</p>
	<p>Navn: Alihsan Sicim E-post: alihsan.sicim@gmail.com Tlf: 90277924 Produktutvikling- Maskin</p>	<p>Hovedansvarsområder: Testansvarlig</p>
	<p>Navn: Morten Andre Aker E-post: morten.andre.aker@gmail.com Tlf: 41664638 Produktutvikling- Maskin</p>	<p>Hovedansvarsområder: Designansvarlig</p>
<p>Intern veileder: Shifteh Mihanyar, 46823319, Shifteh.Mihanyar@hbv.no</p>		
<p>Ekstern sensor: Alf Pettersen, 99590069, Alf.Pettersen@kongsberg.com</p>		
<p>Ekstern veileder: Simen Bredvold, 97112337, Simen.Hagen.Bredvold@kongsberg.com</p>		

Hovedansvarsområde	Beskrivelse
Prosjektleder	Prosjektleder har ansvar for prosjektets fremgang, kommunikasjon og administrative oppgaver.
Dokumentansvarlig	Dokumentasjonsansvarlig har ansvar for at all dokumentasjon skal korrekturleses, rette opp feil/gi tilbakemeldinger og ha kontroll på dokumentasjonen.
Simuleringsansvarlig	Simuleringsansvarlig har ansvar for simuleringene og at de blir gjennomført på en god måte.
Testansvarlig	Testansvarlig har ansvar for testspesifikasjoner/plan og utførelse av tester.
Designansvarlig	Designansvarlig har ansvaret for det mekaniske designet av produktet.

2.2 Grupperegler

2.2.1 Generelle regler

- Det skal i hovedsak jobbes på grupperommet så langt det lar seg gjøre hvis ikke annet er planlagt.
- Viktig å møte presist når et tidspunkt er avtalt.
- Vi jobber når vi skal jobbe!
- Timelister skal oppdateres hver dag.
 - Så sant man jobber med noe som er relevant for prosjektet skal det skrives timer.
- Det skal tas sikkerhetskopier av alle dokumenter, design og simuleringer minst hver torsdag.

2.2.2 Møter

- Alle skal stille til møter så sant det lar seg gjøre.
- Man skal stille forberedt til møter.
- Man skal være tidlig ute til møter.

2.2.3 Avgjørelser

- Avgjørelser bestemmes ved avstemming der flertallet bestemmer hvor vi så godt det lar seg gjøre lar alle ta en del i avgjørelsen. Er det fortsatt store uenigheter ved avgjørelsen etter avstemningen er gjennomført har prosjektleder mulighet til å ta avgjørelsen på vegne av gruppen.

2.2.4 Dokumentasjon

- Alt skal dokumenteres.
- All dokumentasjon skal korrekturleses og rettes opp.
- Det skal brukes maler til alle dokumenter.

2.3 Visjonsdokument

2.3.1 Hensikt med visjonsdokumentet

Visjonsdokumentets hensikt er å gjøre rede for hva oppgaven går ut på. Dokumentet inneholder informasjon om hva problemet er og hvilken nytte vi ser av at det løses. Den inneholder også hva og hvordan, på et helt overordnet nivå, vi har tenkt å gjøre for å løse problemet. Dokumentet inneholder også informasjon om interessenter, bruker og brukermiljø. Til slutt setter vi opp mål og forventninger for gruppen og arbeidsgiver.

2.3.2 Problemstilling

Boring og forsenkning inngår i stort omfang i produksjon av flystrukturer hos Kongsberg Defence and Aerospace. Prosessen vi undersøker, går ut på at et flystrukturlokk (heretter lokket) av aluminium med forborede hull skal legges oppå en flystrukturramme (heretter rammen) med likedannede forborede hull. Hullene skal stilles opp slik at de er ovenfor hverandre. Lokket skal ved et senere tidspunkt bli festet til rammen, men først må hullene forsenkes og bores riktig. Denne prosessen er i dag veldig tidkrevende, repeterende og lite HMS-vennlig. Dette er fordi prosessen gjøres manuelt i dag. Dagens prosess gjøres ved at en person først fester lokket og rammen, for å så bore og forsenke. Boringen og forsenkningen er arbeid som krever høy presisjon og er tungt for armer og skuldre.

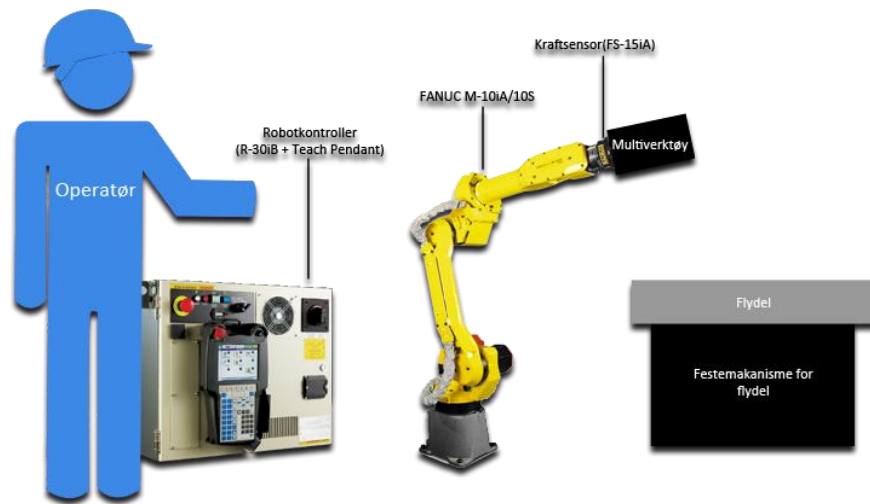
For å løse dette problemet, er det ideelt å automatisere hele eller deler av prosessen. Denne automatiseringen kan skje ved robotisert utførelse av både boring og forsenkning, hvor det er interessant å bruke én robot, som ved hjelp av et spesialverktøy kan utføre begge oppgavene. Dette vil også gjøre prosessen HMS-vennlig. En slik robot må være svært presis, samtidig som den må kunne korrigere seg selv etter små variasjoner i lokket og rammens posisjon og geometri. Den må derfor kunne probe delenes posisjon og geometri for å gjøre denne justeringen. Den må også kunne tilføre riktig mengde med kraft og moment for å ikke skade eller ødelegge delene. Løsningen burde også ha en lav kostnad.

Oppsummert vil en vellykket løsning på problemstillingen være robotisert, HMS-vennlig og til lav kostnad.

2.3.3 Produktsammendrag

Produktet vi skal lage er dermed et multiverktøy som må ha utstyr for probing, boring og forsenkning. Dette multiverktøyet blir festet til en robot fra KDA som vi må programmere til å utføre operasjonene. For å utføre boringen og forsenkningen trenger vi å probe delene for å korrigere robotens bane, slik at den borer og forsenker riktig. Vi vil også ta i bruk en kraftsensor for å sørge for at lokket og rammen ikke blir utsatt for krefter og momenter som kan skade delene.

Lokket og rammen må bli festet og låst i riktig posisjon for boring og forsenkning. Dette må gjøres slik som forklart over, ved at hullene ligger ovenfor hverandre og delene må være låst for bevegelse under boring og forsenkning. Vi trenger derfor en festemekanisme for lokket og rammen. Dette eksisterer fra før, for den gamle prosessen, og vi må vurdere om vi skal beholde samme festemekanisme, legge til noe, endre litt på festemekanismen eller lage en helt ny festemekanisme.



Figur 2.3.3.1: Helhetsbilde av systemet [1][2]

Figur 2.3.3.1 viser et helhetsbilde av systemet som skal lages. Vi ser at systemet har en operatør på utsiden som overvåker prosessen. Operatøren har ansvar for festemekanismen, hvor lokket og rammen må bli festet skikkelig. Han starter også probe-, bore- og forsenkningsprosessen.

I figuren ser vi roboten FANUC M-10iA/10S, som er en robot KDA har kjøpt inn. På FANUC M-10iA/10S vil det også være koblet til en kraftsensor (FS-15iA) som KDA har. Vi lager da multiverktøyet til roboten som representeres av en svart boks i figur 2.3.3.1, som er festet til kraftsensoren. Festemekanisme er også representert som en svart boks.

Dette mener vi er en god løsning på problemet. Prosessen blir robotisert, som kommer med mange fordeler, inkludert det at prosessen blir mer HMS-vennlig ved å avlaste operatøren for tungt fysisk og repeterende arbeid. Siden KDA alt har robotarmen, vil det også være relativt billig å utvikle et multiverktøy og festemekanisme.

2.3.4 Hva vi skal gjøre

Første steg i å lage produktet er å bevise at dette kan gjøres ved bruk av roboten med tanke på toleransene som må oppnås ved boring og forsenking. Derfor skal vi først lage et testsystem. I testsystemet vil vi ikke bore og forsenke i selve flydelen, men bruke en testdel som vi selv skjærer ut og lager forborede hull i. Vi må da også lage en festemekanisme til denne testdelen for å holde den på plass på samme måte som den virkelige delen må holdes på plass. Ved å bruke denne testdelen og festemekanismen til delen kan vi prøve ut boring og forsenkingen for å se om vi oppnår de krav og er innenfor de toleransene som kreves. Klarer vi å bevise at dette systemet fungerer, går vi videre til å teste systemet ut på den virkelige flystrukturen, hvor vi da må lage en festemekanisme til lokket og rammen slik at de sitter stabilt nok, etter krav, til at boring og forsenking kan gjennomføres suksessfullt.

2.3.5 Overordnet beskrivelse av interessenter og brukere

Interessenter og bruker

Interessenter og bruker av dette produktet vil være Kongsberg Defence and Aerospace(KDA). Det er KDA som kjøper og investerer i produktet for å bruke det i sin produksjon av flystrukturer. Brukeren vil være en operatør av systemet, som jobber for KDA. KDA vil også ta seg av vedlikehold av systemet. Produktet vil bli utviklet i tett samarbeid med KDA slik at deres ønsker, mål og interesser blir ivaretatt gjennom hele prosessen. Under utvikling vil KDA, som bruker av produktet, lære seg om systemet vi utvikler. Vi vil få mulighet til å jobbe hos KDA en dag i uken og eventuelt mer mot slutten om det blir nødvendig for å fullføre produktet. Vi vil også ha regelmessige møter og kommunikasjon via email for å oppdatere om gruppens progresjon og få tilbakemeldinger på arbeidet vi har utført.

Brukermiljøet

Produktet skal bli brukt under profesjonelle forhold. Roboten skal integreres i et rom hvor arbeidsoppgavene skal utføres. I rommet blir roboten festet til et fast punkt i bakken hvor den utfører sine arbeidsoppgaver. For å utføre disse oppgavene kreves det en operatør som klargjør utstyret og roboten. Dette innebærer at operatøren fester flystrukturen som skal bores i og setter i gang prosessen. Operatøren må også sørge for at hullene i lokket og rammen samkjøres og må eventuelt flytte fester i hullene etter hvert som boring og forsenkningen utføres.

2.3.6 Mål og forventninger

Gruppens mål og forventninger

Gruppens mål i dette prosjektet er til slutt å presentere en løsning for suksessfull boring og forsenkning i flystrukturene. For å oppnå dette vil vi designe et multiverktøy som har utstyr for boring, forsenkning og probing. Vi vil også beskrive hvordan automatisk probing av delen kan korrigere robotens bane for boring og forsenkning, og til slutt beskrive hvordan en kraftsensor kan brukes for å forhindre at flystrukturene blir utsatt for krefter og momenter som kan skade delene. Vi har også et sterkt ønske om å produsere designet vårt og teste ut systemet i eksperimenter.

Et annet mål er å lære om prosjektplanlegging og oppbygning. Hvor det her forventes at alle er investert i prosjektarbeidet og ønsker å bidra i prosjektprosessen samt de tekniske løsningene.

Gruppen har mål om å oppnå god karakter i sluttevalueringen av prosjektet.

Oppdragsgivers mål og forventninger

Oppdragsgiver sine mål i dette prosjektet er å lære om de tekniske løsningene for å løse problemstillingen. Dermed går målet ut på at de ønsker et design av multiverktøy som kan bore, forsenke og probe. Beskrive hvordan automatisk eller manuell probing kan korrigere roboten. Beskrive hvordan en kraftsensor kan brukes for å forhindre at parten blir utsatt for krefter og momenter som kan skade parten. Til slutt ønsker de en presentasjon på løsningen av problemstillingen, samt produksjon og testing av løsningen i eksperimenter.

3. Prosjektmodell

3.1 Valg av Modell

Det finnes mange forskjellige prosjektmodeller som er gode. Vi har gått gjennom noen modeller for å se om vi kunne finne den vi syntes passet best for vårt prosjekt. Hver av modellene vi gikk gjennom har sine fordeler og ulemper. Vi har så evaluert hvilken modell vi syntes passet best til vårt prosjekt.

Et av alternativene vi så på var V-modellen. Denne modellen legger mye vekt på testaspektet. V-modellen har minimal fleksibilitet hvor vi da måtte ha justert arbeidsfremgang slavisk til modellen. Mangelen på fleksibilitet passet ikke oss og det kunne ha påvirket sluttresultatet til oppgaven. Modellen har også sine fordeler, den er enkel å følge og den fungerer bra for mindre prosjekter da den har testspesifikasjoner og planlegging tidlig i utviklingsprosessen.

En annen modell vi har sett på er spiralmodellen. Rational Unified Process (RUP) har røtter i spiralmodellen og er en videre oppbyggelse av den. Spiralmodellen har høyt fokus på risikoanalyse og er tilpasset større prosjekter hvor flere prototyper og gjennomgang av modellen foretas. Videre har modellen stor vekt på dokumentasjon hvor funksjonalitet kan bli lagt til etter hvert. Kunden/brukeren er usikker på deres behov for produktet og dette kan endres utover i prosjektets prosess. Store endringer er her forventet hvor mye av tiden vil gå til forskning og undersøkelser. [7]

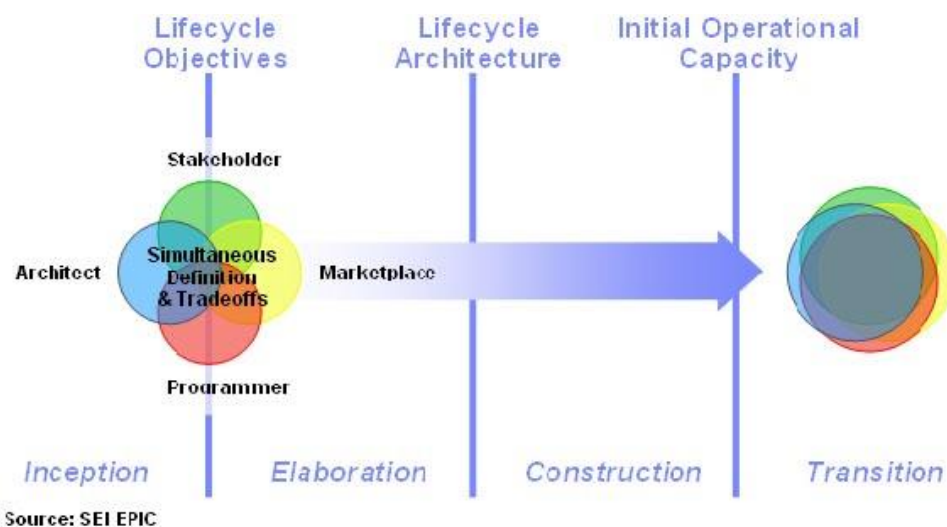
Modellen vi syntes passer best til våre arbeidsvaner og oppgavebeskrivelsen mener vi er Unified Process. Modellen er bygget opp slik at den kan bli forskjøvet for å bedre kunne tilpasse vårt prosjekt. Denne er strukturert og har fire hovedfaser som måles som milepæler for utviklingen av prosjektet. Hver av disse fasene inneholder iterasjoner som hjelper til å forbedre de tidligere fasene. I denne modellen jobber man med flere oppgaver samtidig gjennom hele prosessen, men med varierende intensitet. Dette kan bidra til å spare tid og øke sjansen for et fullført prosjekt når leveringsdatoen/tidsfristen er kommet. Krav må ikke være fullstendig fastslått i starten av prosjektet, men kan bli mer utformet senere i prosessen. En ulempe med modellen kan være at oversikten over prosessen kan bli rotete om man ikke dokumenterer godt fra starten av. Dokumentasjon er en stor del av prosjektet vårt og er derfor viktig å holde i orden. Vi mener at denne modellen vil være en god modell for vårt prosjekt. Videre kommer en dypere beskrivelse av hvordan Rational Unified Process modellen fungerer. [6]

3.2 Rational Unified Process

Denne prosjektmodellen er en iterativ og inkrementell utviklingsmodell. Modellens mål er å sikre produksjon av høy kvalitet hvor behovene og kravene til brukerne blir oppnådd med en forutsigbar timeplan og budsjett. RUP åpner muligheter for å tilrettelegge og justere utviklingsprosessen for å tilpasse behovet til hvert enkelt prosjekt. Dette oppnås ved å implementere iterative faser ved å holde fokus på risikoanalyse og integrasjon av fasene. Vi vil komme til å tilegne oss kunnskap av hver enkel iterasjon i prosessen som kan bidra til forbedring av prosjektet. Dette passer bra for oss da vi selv har noe frihet til å velge progresjonen i prosjektet. Vi har valgt å planlegge en iterasjon av gangen for så å ta en revisjon på slutten av hver iterasjon. Når vi reviderer en iterasjon vil vi se om det vi har gjort er godt nok eller ikke. Er det ikke godt nok vil vi måtte gå tilbake for å gjøre en ny iterasjon av fasen

slik at vi ikke går videre før målene og milepælene for den enkelte fasen er gjennomført og godkjent. [7]

Interessentene er de som har en interesse for produktet og/eller blir påvirket av det. Når kravene og målene for systemet skal lages kan det oppstå interessemotsetninger mellom de som skal designe og produsere systemet. Dette kan også gjelde mellom de som skal bruke systemet, kundene, myndigheter osv. I vårt tilfelle er brukeren av systemet kunden og vi kan derfor se bort ifra å foreta interesseavveininger mellom bruker og kunde. Vi vil i dette prosjektet tilpasse oss kundens krav og ønsker på alle måter ettersom dette er en bacheloroppgave. Diskusjon mellom oss som er utviklere og kunden kan fortsatt foregå for at vi skal oppnå det ønskede målet.

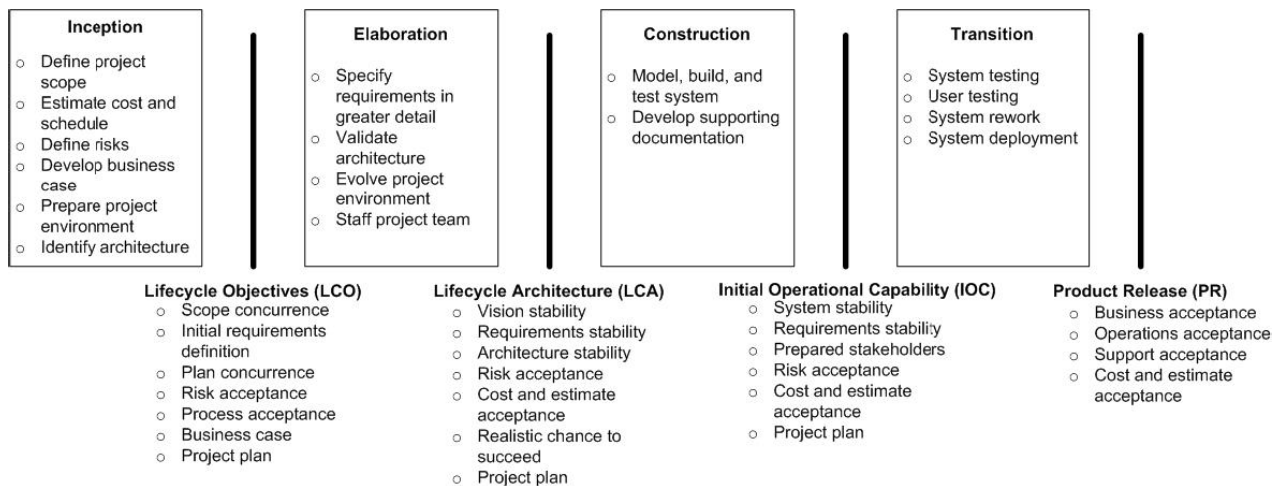


Figur 3.2.1: RUP Lifecycle Overview [5]

Figur 3.2.1 illustrerer en vag oversikt over prosessen hvor «Stakeholder», «Architect» og «Programmer» jobber samtidig for å komme til enighet om målsettinger for livssyklusen av prosjektet. De oppholder samarbeidet gjennom de fire fasene og forsøker å dele opp prosjektprosessen i milepæler.

Hovedfasene som utgjør prosessen er:

- Oppstart (inception)
- Utdypning (elaboration)
- Konstruksjon (construction)
- Overgang (transition)



Figur 3.2.2: RUP Faser og Milepæler [5]

Alle fasene inneholder mål og aktiviteter som må bli utført før neste fase av prosjektet kan begynnes. Når aktivitetene er ferdiggjort og levert vil disse bli markert som en milepæl.

3.3 De enkelte fasene

3.3.1 Oppstart

I den første fasen blir mye av tiden brukt for å få et helhetlig syn på hva som skal utføres og bli produsert. Hovedmålet med denne fasen er å skape enighet mellom utviklerne og kunden om et felles mål. Man må nødvendigvis ikke på dette stadiet av prosessen ha en fullstendig forståelse av systemet, men dette blir mer etablert etterhvert. Videre i fasen må en prosjektbegrunnelse (business case) være normalt sett dannet, men gruppen vil legge lite vekt på dette og fokusere mer på en fullstendig prosjektplan. Prosjektplan vil inneholde aktivitetslister, tidsplan og diagrammer, milepæler, visjonsdokument, prosjektmodell, risikoanalyse og forskningsdokument. Det er også viktig at dokumentstruktur og hvilke tjenester vi bruker for prosjektstyring blir valgt. Videre så må det dannes en forenklet use-case modell, hovedkravene i prosjektet, begrensinger og hovedegenskaper.

3.3.2 Utdypning

Utdypningsfasen inneholder to iterasjonsfaser hvor den første går ut på detaljert planlegging av systemet hvor prosjektet begynner å ta form. Dette innebærer en detaljert kravspesifikasjon, prosjektplan og teknisk risikodokument. Use-case modellen hvor use-cases og aktørene har blitt identifisert. De fleste use-case beskrivelsene er også utviklet på dette tidspunktet. Ved slutten av denne fasen bør use-case modellen være 80 prosent ferdig. Fordypning av testspesifikasjoner og testplan er utført. Revurdering av alle dokumenter fra oppstartsfasen og utdypningsfasen. Det skal også fremstilles diagrammer og modeller for å bidra til å beskrive systemet. Neste iterasjonsfase innebærer fordypning i forskningsdokumenter og analyser (design). Denne fasen inkluderer også opplæring i simuleringsprogrammet; Roboguide.

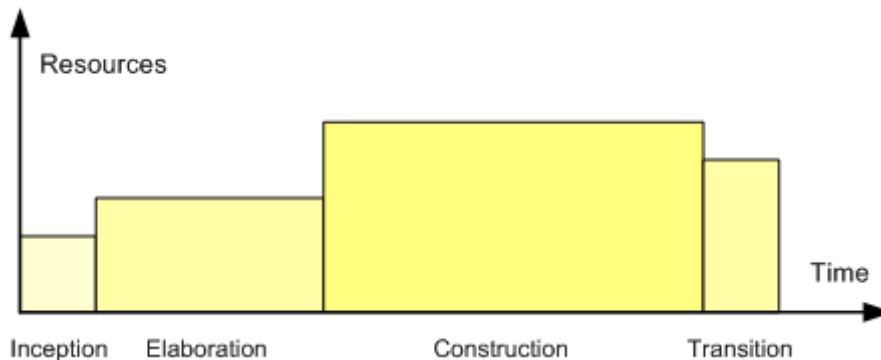
3.3.3 Konstruksjon

I konstruksjonsfasen skal utforming og realisering av produktet utføres. Det vil si design, simulering, produsering også videre for at testing kan bli utført for å sikre at systemet fungerer slik det er designet for. Dokumentasjon er viktig for å bevise dette. Denne fasen inneholder tre iterasjonsfaser.

3.3.4 Overføring

Den siste fasen i prosessen har fokus på å teste produktet ferdig, og få forbrukeren til å gjøre seg kjent med produktet og dens funksjoner gjennom testing. Dette inkluderer også opplæring, mulig innkjøp av nødvendig utstyr, overgang fra tidligere metoder og systemer brukt for å utføre arbeidet.

Det er mulig å gjennomføre en ny syklus av modellen og dens faser når prosessen har kommet til en avslutning. Dette kan man gjøre om man vil produsere en ny del (inkrementelt) eller for å iterere for å komme med en ny versjon (evolusjonært).



Figur 3.3.4.1: RUP Tidsoversikt av Faser [5]

Illustrasjonen over demonstrerer størrelsen og arbeidsmengden som burde bli tilsatt hver fase i modellen hvor da konstruksjonsfase er den mest kritiske og tidskrevende fasen av prosjektet.

3.4 Mål og milepæler

I prosjektmodellen finner man milepæler for oppstartsfasen, utdypningsfasen, konstruksjonsfasen og overføringsfasen. Etter hver av fasene blir prosjektet evaluert hvor man da foretar en beslutning på om milepælen er oppnådd eller ikke. Hvis man ikke har oppnådd milepælen må man gjennomføre en ny iterasjon av fasen før man går videre i prosjektet.

3.4.1 Mål for oppstartsfasen

- Overordnet prosjektplan
- Overordnet krav og behov
- Overordnet testplan
- Mål og visjon for prosjektet
- Prosjektstyring og dokumentstruktur

3.4.2 Mål for utdypningsfasen

- Første offisielle versjon av prosjektplan, kravspesifikasjon og testspesifikasjon/plan
- Er nåværende visjon av prosjektet ved bruk av foreliggende plan gjennomførbar
- Første iterasjon i konstruksjonsfasen er tilstrekkelig detaljert og nøyaktig
- Er de aktuelle sammenlignet med de planlagte kostnadene akseptable

3.4.3 Mål for konstruksjonsfasen

- Fullstendig design og design beskrivelse av systemet i iterasjon 1
- Kravstabilitet i iterasjon 1
- Testing under design skal være gjennomført i iterasjon 1
- Fullstendig gjennomført simulasjon i iterasjon 2
- Testing under simulering skal være gjennomført i iterasjon 2
- Prototype produksjon i iterasjon 3

3.4.4 Mål for overføringsfasen

- Fullstendig test av prototype
- Operativgodkjenning
- Fullstendig dokumentasjon av prosjektet er fastlagt

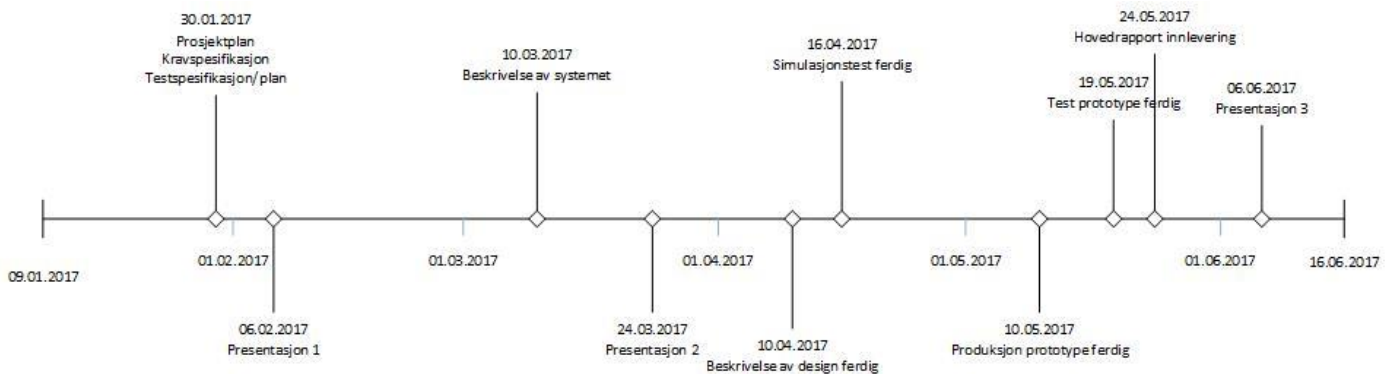
3.4.5 Oversikt over milepæler

Tabell 3.4.5.1 viser en oversikt over milepælene i vårt prosjekt, når vi forventer at milepælene skal være nådd og når vi faktisk har klart å nå milepælene.

Tabell 3.4.5.1: Milepæler

Milepæl:	Beskrivelse:	Estimert ferdig:	Faktisk ferdig:
Prosjektplan	Første offisielle versjon ferdig	30.01.17	02.02.17
Kravspesifikasjon	Første offisielle versjon ferdig	30.01.17	02.02.17
Testspesifikasjon/testplan	Første offisielle versjon ferdig	30.01.17	02.02.17
Dokumentasjon	Dokumentasjon til første presentasjon levert	01.02.17	02.02.17
Presentasjon 1	Første presentasjon ferdig	06.02.17	06.02.17
Multiverktøy	Fullstendig beskrivelse av løsning for multiverktøy	10.03.17	14.03.17
Probemekanisme	Fullstendig beskrivelse av løsning for probemekanisme	10.03.17	14.03.17
Kraftsensor	Fullstendig beskrivelse av løsning for kraftsensor	10.03.17	14.03.17
Dokumentasjon	Dokumentasjon til andre presentasjon levert	22.03.17	22.03.17
Presentasjon 2	Andre presentasjon ferdig	24.03.17	24.03.17
Simulasjonstest	Test av roboten bane via simulasjon	16.04.17	16.04.17
Fullstendig probeprosess	Implementering av fullstendig probeprosess på testdel	10.05.17	10.05.17
Produksjon	Prototypen er ferdig produsert	10.05.17	15.05.17
Test prototype	Fullstendig test av prototype ferdig	19.05.17	21.05.17
Innlevering	Hovedrapport levert	24.05.17	24.05.17
Presentasjon 3	Tredje presentasjon ferdig	06.06.17	

I figur 3.4.5.1 vises milepælene i prosjektet ved hjelp av en tidslinje.



Figur 3.4.5.1: Milepæler

3.5 Disipliner

I hver fase befinner det seg såkalte disipliner. RUP definerer de ulike disiplinene slik:

1. Prosjektplan (business modeling)
2. Krav
3. Analyse og design
4. Implementasjon
5. Test
6. Distribusjon

Det er også tre støttedisipliner:

7. Konfigurasjon
8. Prosjektstyring
9. Miljø

Disse punktene kan i noen tilfeller ligne på en fossefallsmodell men i RUP foretas disse disiplinene innenfor hver enkelt fase. For eksempel når man i utdypningsfasen skal utføre en iterasjon må en del av punktene slik som prosjektplan (business modeling), krav, analyse og implementasjon gjøres.

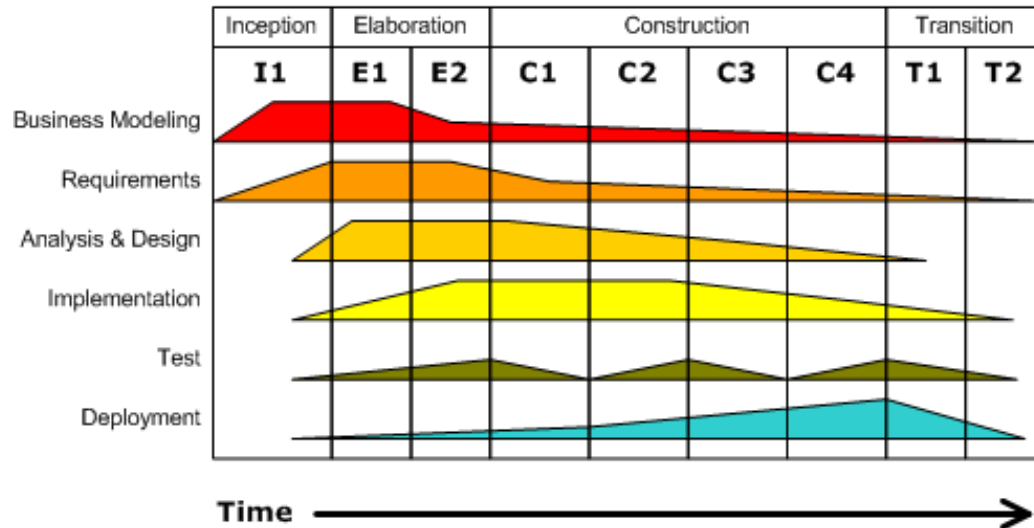
3.6 Arbeidsflyt

På tvers av alle fasene i modellen (horisontalt) jobbes det tilsynelatende med arbeidsflyt. Arbeidsflyten kommer med bestemte krav som inneholder følgende:

- Role: Hvem som skal utføre det
- Work Product: Hva som skal produseres
- Tasks: Hvordan arbeidet kan oppdeles i små meningsfylte arbeidsmengder.

Iterative Development

Business value is delivered incrementally in time-boxed cross-discipline iterations.



Figur 3.6.1: RUP Fase og Disipliner [5]

Figuren over viser den generelle arkitekturen og hvordan arbeidsintensitet av de forskjellige disiplinene varierer med tid over de fire bestemte fasene i prosjektmodellen. Denne intensitetsspredningen gir et generelt innblikk over mengden av arbeid for disiplinene i hver fase. Den horisontale akse representerer tiden og viser livssyklusaspekter av prosessen dersom den utfolder seg, mens den vertikale akse representerer disiplinene. Dette kan variere og tilpasses hvert enkelt prosjekt. Figur 3.6.1 vil bli brukt som en veiledningsmetode for å opprettholde kontroll og oversikt over prosjektet i vårt tilfelle.

4. Risikoanalyse for prosjektet

Risikoanalyse er et nyttig verktøy i prosjektet. Dette er en måte å gjøre seg oppmerksom på de forskjellige risikoene prosjektet kan inneholde. Dersom noen av prosjektets risikoer inntreffer kan det ha konsekvenser for prosjektets målsetninger. Derfor er det allerede tidlig i prosjektet viktig å vite om en del risikoer og hva man kan gjøre for å forhindre en slik hendelse. Man kan spare tid ved en slik hendelse hvis risikoen allerede har blitt analysert før det eventuelt inntreffer. I prosjektet finnes det risikoer på flere plan. Det finnes risikoer rundt gruppelemmer og gruppen som helhet, risikoer rundt interne og eksterne veiledere og rundt de tekniske delene av prosjektet.

4.1 Gruppen

Prosjektet avhenger av gruppen, derfor er det viktig å ha med en risikoanalyse rundt dette. På denne måten er vi føre var på om noe skulle inntreffe i løpet av prosjektet og hvordan vi skal håndtere dette.

Tabell 4.1.1: Risikoanalyse gruppen

Nr:	Hva:	Risiko:	Sannsynlighet: S (1-3)	Konsekvens: K (1-3)	Total Risiko: (S*K)	Tiltak:
1	Korttids sykdom	Sykdom hvor man ikke møter over noen få dager	Middels	Lav	2	Tilrettelegge arbeidet
2	Langtids sykdom	Sykdom hvor man ikke møter over en lang tidsperiode	Lav	Middels	2	Tilrettelegge arbeidet og eventuelt fordele det ut til andre i gruppen
3	Uenigheter	Klarer ikke bli enige om en avgjørelse	Middels	Middels	4	Avstemming. Er det fortsatt uenigheter kan gruppeleder tre inn å ta endelig avgjørelse
4	Konflikter	Det oppstår en eller flere større konflikter som går ut over arbeidet og trivsel	Lav	Høy	3	Prate om ting slik at det ikke oppstår irritasjon som kan eskalere

5	Et gruppemedlem slutter	Mister ekstra kompetanse og arbeidskraft	Lav	Høy	3	Fordeler ut oppgavene slik at de blir fulført
6	Frister	Frister overholdes ikke	Lav	Høy	3	Bli mer bevisst rundt egen tidsbruk og frister som skal overholdes
7	Dokumenttap	Menneskelige feil eller PC-svikt	Lav	Høy	3	Lagrer alt lokalt på PC og på OneDrive
8	Dødtid	Kommer for sent. Tid blir brukt opp på unyttige ting.	Middels	Middels	4	Strengere krav for oppmøtetider. Mer bevisst rundt egen tidsbruk
9	Mangel på kompetanse	Det finnes for lite kompetanse i gruppen for å løse oppgaven	Middels	Middels	4	Sette av tid til å tilegne seg kunnskapen som trengs for å løse oppgaven
10	Utilgjengelighet	Interne eller eksterne møter blir utsatt/avlyst. Presentasjoner blir utsatt	Middels	Middels	4	Avtale dag og tid i god tid. Jobbe videre.

4.2 Overordnet teknisk risikoanalyse

Teknisk risikoanalyse baserer seg på ny informasjon man tilegner seg under prosessen, som teknologiske limitasjoner eller begrensinger, som kan føre til forkastning av løsninger. Dette er hovedfokusområdet til teknisk risikoanalyse. Dette er en måte å gjøre seg oppmerksom på de forskjellige tekniske risikoene prosjektet kan bli utsatt for. Dersom noen av prosjektets tekniske risikoer inntreffer kan det ha konsekvenser for prosjektets målsetninger og framdrift, eller kan ha store følger. Derfor er det allerede tidlig i prosjektet viktig å vite om en del tekniske risikoer og hva man skal gjøre hvis en slik hendelse inntreffer eller hva man kan gjøre for å unngå disse risikoene.

Sannsynlighet:	Risikomatrixe		
Høy	3	6	9
Middels	2	4	6
Lav	1	2	3
Konsekvens:	Lav	Middels	Høy

Risikofaktor	Beskrivelse
Lav (1)	Det er ingen risiko
Lav (2)	Det finnes en minimal risiko
Middels (3-4)	Tiltak bør vurderes
Høy (6)	Tiltak er nødvendig
Høy (9)	Må sette inn umiddelbare tiltak

Tabell 4.2.1: Risikoanalyse teknisk

Nr:	Hva:	Risiko:	Sannsynlighet: S (1-3)	Konsekvens: K (1-3)	Total Risiko: (S*K)	Tiltak:
1	For høy vekt på multiverktøy	Kan ikke bruke den på robotarmen	Lav	Høy	3	Passe på vekt under designprosessen
2	Kast, når man borer og forsenker	Delen må kastes	Lav	Middels	2	Ingen
3	Feil på elektronikk	Multiverktøyet vil ikke fungere	Lav	Lav	1	Måle elektronikken før den monteres
4	Feil design	At delene ikke passer sammen	Lav	Middels	2	Være oppmerksom på dette området under design
5	Bor knekker under operasjon	Delen må skjæres opp for å få boret ut	Middels	Middels	4	Bytte bor jevnlig i forhold til levetiden på boret. Sikkerhetsfaktor
6	Feil i Software	Kan gi utslag etter en viss tid. Feil i produksjon	Middels	Høy	6	Kontrollere softwaren
7	Feil i probingen	Får feil hull, delen må kastes	Middels	Høy	6	Være oppmerksom på dette under programmering
8	Defekte deler	Bruker lengre tid. Kan ta lang tid å få ny del	Lav	Middels	2	Teste alt før det blir montert sammen
9	Ikke mulig å få tak i en del	Må endre design, eller bruke lengre tid på sammensetning	Middels	Middels	4	Sjekke ut at delene vi skal bruke er mulig å få tak i

10	Feil teknisk informasjon	Kan føre til at multiverktøyet blir dyrere og tar lengre tid å produsere	Middels	Høy	6	Må være nøye på hvor man tar informasjon fra
11	Svak feste mellom robotarm og multiverktøy	Festet knekker under operasjon	Lav	Høy	3	Kjøre tester i simulering. Passe på at feste er forsvarlig
12	Innkjøpt del passer ikke	Passer ikke	Middels	Høy	6	Dobbelkjekke målene
13	Programmer fungerer ikke	Arbeid blir ikke utført	Middels	Middels	4	Løse problemet eller finne alternativt program
14	Hardware fungerer ikke	Arbeid blir ikke utført	Middels	Middels	4	Finne feil, bytte delen

5. Aktiviteter

Aktivitetslisten inneholder de forskjellige aktivitetene som skal gjennomføres gjennom prosjektet. Det er viktig og ha en aktivitetsliste hvor alt man skal gjøre er listet opp. Dette er en ryddig måte for å få en oversikt over alt som skal gjennomføres. Denne listen forteller noe om navnet og nummeret på aktiviteten, hvem som er ansvarlig for at aktiviteten blir gjennomført, hvem som utfører aktiviteten, hvilket dokument den bestemte aktiviteten berører og den estimerte tiden for de forskjellige aktivitetene. Det er også laget en kolonne for frister i aktivitetslisten. Denne tar for seg frister for de aktivitetene som har en kritisk frist de må holde seg innenfor.

Først kommer aktivitetslisten for oppstartsfasen, men den inneholder også en del aktiviteter som vil gå over flere eller alle fasene av prosjektet. Når vi går videre inn i de neste fasene vil noen av disse aktivitetene bli tatt bort og andre blir lagt til mens hovedaktivitetene vil bestå. Det vil altså foregå iterasjoner på aktivitetslisten til hver fase av prosjektet. På denne måten får vi en aktivitetsliste som passer til de forskjellige fasene vi er inni i løpet av prosjektet. Vi mener dette kan være en måte å lage aktivitetslisten slik at den ikke blir for lang og rotete. I aktivitetslisten vil de aktivitetene som er beregnet til å vare i kun den fasen vi er inne i være markert med en farge. Denne aktiviteten vil da ikke være med videre til neste fases aktivitetsliste.

5.1. Oppstartsfasen

Tabell 5.1.1: Aktiviteter oppstartsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
1	Research	Alle	Alle			300t
2	Lage aktivitetslisten	Maria	Maria		Prosjektplan	25t
3	Oppdatere aktivitetslisten	Maria	Maria		Prosjektplan	20t
4	Lage maler	Eivind	Alle		Alle dokumenter	6t
5	Skrive Kravspesifikasjon	Morten og Eivind	Morten og Eivind	31.01.17	Kravspesifikasjon	60t
6	Skrive Testspesifikasjon/plan	David og Alihsan	David og Alihsan	31.01.17	Testspesifikasjon/plan	60t
7	Lage Webside	David	David		Websiden	40t
8	Prosjektmodell	Morten	Morten		Prosjektplan	20t
9	Timeliste	Morten	Alle		Oppfølgingsdokument	10t
10	Gantt diagram og tidsplan	Maria	Maria		Prosjektplan	30t
11	Gruppeoversikt	David	David		Prosjektplan	2t
12	Kundemøter (KDA)	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
13	Veiledermøter	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
14	Skrive møtereferat	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument og møtereferat	17t
15	Skrive Kontrakt	Eivind	Alle	05.02.17	Kontrakt	1t
16	Prosjektnavn	Alihsan og Morten	Alle			1t
17	Lage gruppenavn	Alihsan og Morten	Alle		Alle dokumenter	1t
18	Lage gruppe logo	David	David		Alle dokumenter	6t
19	Oppfølgingsdokument	Morten	Alle	Hver Torsdag	Oppfølgingsdokument	2t pr uke
20	Visjonsdokument	Eivind	Alihsan og Eivind		Prosjektplan	45t
21	Administrativt	Eivind	Eivind og Alihsan		Oppfølgingsdokument	15t
22	Risikoanalyse for prosjektet	Maria	Maria		Prosjektplan	15t
23	Planlegging	Eivind og Maria	Alle			10t
24	Praktiske avgjørelser	Eivind	Alle			10t
25	Korrekturlesing av dokumenter	Maria	Maria		Alle dokumenter	35t

26	Researchdokument (tidligere løsninger, hva finnes fra før)	Aliihsan og David	Aliihsan og David		Prosjektplan	25t
27	Skrive intern gruppekontrakt	Maria	Maria		Prosjektplan	2t
28	Dokumenthistorie	David	Alle		Dokumenthistorie	5t
29	Prosjektplan	Maria	Alle	31.01.17	Prosjektplan	30t
31	Forberede presentasjoner	Maria	Alle		Presentasjon 1	75t
32	Presentasjon 1	Eivind og Maria	Alle	06.02.17	Presentasjon 1	2t

5.2. Utdypningsfasen

Aktivetslisten for utdypningsfasen inneholder de samme aktivitetene som for oppstartsfasen men her er noen av aktivitetene tatt bort. Grunnen for at de er tatt bort er på grunn av at en del aktiviteter her hører til oppstarten av prosjektet. Noen av aktivitetene som er tatt bort vil nå gå under andre aktiviteter fra dette punktet av. Dette gjelder aktiviteter som for eksempel prosjektmodell og researchdokument som vil gå under den noe større betegnelsen prosjektplan. På dette stadiet har vi en større forståelse av hva som inngår i forskjellige aktiviteter og har derfor valgt å gjøre det på denne måten.

Tabell 5.2.1: Aktiviteter utdypningsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
1	Research	Alle	Alle			300t
3	Oppdatere aktivitetslisten	Maria	Maria		Prosjektplan	20t
5	Skrive Kravspesifikasjon	Morten og Eivind	Morten og Eivind	31.01.17	Kravspesifikasjon	60t
6	Skrive Testspesifikasjon/plan	David og Aliihsan	David og Aliihsan	31.01.17	Testspesifikasjon/plan	60t
7	Lage Webside	David	David		Websiden	40t
9	Timeliste	Morten	Alle		Oppfølgingsdokument	10t
10	Gantt diagram og tidsplan	Maria	Maria		Prosjektplan	30t
12	Kundemøter (KDA)	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
13	Veiledermøter	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
14	Skrive møtereferat	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument og møtereferat	17t
15	Skrive Kontrakt	Eivind	Alle	05.02.17	Kontrakt	1t

19	Oppfølgingsdokument	Morten	Alle	Hver Torsdag	Oppfølgingsdokument	20t
21	Administrativt	Eivind	Eivind og Alihsan		Oppfølgingsdokument	15t
22	Risikoanalyse for prosjektet	Maria	Maria		Prosjektplan	15t
25	Korrekturlesing av dokumenter	Maria	Maria		Alle dokumenter	35t
28	Dokumenthistorie	David	Alle		Dokumenthistorie	5t
29	Prosjektplan	Maria	Alle	31.01.17	Prosjektplan	30t
31	Forberede presentasjoner	Maria	Alle	05.02.17	Presentasjon 1	75t
32	Presentasjon 1	Eivind og Maria	Alle	06.02.17	Presentasjon 1	2t
33	Iterasjons/revisjons - rapporter	Eivind	Alle			35t
34	Dokumentasjon	Maria	Alle			50t

Tekniske aktiviteter

Tabell 5.2.2: Tekniske aktiviteter utdypningsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
101	Simulasjon	David	Alle			400t
102	Analyse og research kraftsensor	Eivind	Eivind, David og Maria		Teknologidokumenter	30t
103	Analyse og research multiverktøy	Morten	Alihsan og Morten		Teknologidokumenter	70t
104	Analyse og research probemekanisme	Eivind	Eivind, David og Maria		Teknologidokumenter	70t
105	Research lover og regler	Maria	Alle			10t
106	Analyse og research festemekanisme	Morten	Alihsan og Morten		Teknologidokumenter	50t
107	Teknologidokument	Morten	Alle		Teknologidokumenter	100t
108	Design og prototype	Morten	Alihsan og Morten		Teknologidokumenter	100t
109	Kontakt med leverandører	Morten	Morten		Teknologidokumenter	15t

5.3. Konstruksjonsfasen

Aktivitetslisten for konstruksjonsfasen inneholder de samme aktivitetene som for Utdypningsfasen, men her er noen av aktivitetene tatt bort som tidligere. Siden design er en stor del av denne fasen har aktiviteter slik som for eksempel analyse og research av multiverktøy endret navn til analyse, research og design av multiverktøy.

Tabell 5.3.1: Aktiviteter konstruksjonsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
1	Research	Alle	Alle			300t
3	Oppdatere aktivitetslisten	Maria	Maria		Prosjektplan	20t
5	Kravspesifikasjon	Morten og Eivind	Morten og Eivind		Kravspesifikasjon	60t
6	Testspesifikasjon/plan	David og Aliihsan	David og Aliihsan		Testspesifikasjon/plan	60t
7	Lage Webside	David	David		Websiden	40t
9	Timeliste	Morten	Alle		Oppfølgingsdokument	10t
10	Gantt-diagram og tidsplan	Maria	Maria		Prosjektplan	30t
12	Kundemøter (KDA)	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
13	Veiledermøter	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
14	Skrive møtereferat	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument og møtereferat	17t
19	Oppfølgingsdokument	Morten	Alle	Hver Torsdag	Oppfølgingsdokument	20t
21	Administrativt	Eivind	Eivind og Aliihsan		Oppfølgingsdokument	15t
25	Korrekturlesing av dokumenter	Maria	Alle		Alle dokumenter	35t
28	Dokumenthistorie	David	Alle		Dokumenthistorie	5t
29	Prosjektplan	Maria	Alle		Prosjektplan	30t
31	Forberede presentasjoner	Maria	Alle	23.03.17		75t
33	Iterasjons/revisjons - rapporter	Eivind	Alle		Revisjonsdokument	35t
34	Dokumentasjon	Maria	Alle		Alle	50t
35	Presentasjon 2	Maria	Alle	24.03.17		2,5t

Tekniske aktiviteter

Tabell 5.3.2: Tekniske aktiviteter konstruksjonsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
101	Simulasjon/ Praktisk arbeid med robotarmen	David	Alle			400t
102	Analyse og research av kraftsensor	Eivind	Eivind, David og Maria		Teknologidokumenter	30t
103	Analyse, research og design av multiverktøy	Morten	Aliihsan og Morten		Teknologidokumenter	70t
104	Analyse, research og design av probemekanisme	Eivind	Eivind, David og Maria		Teknologidokumenter	70t
106	Analyse, research og design av festemekanisme	Morten	Aliihsan og Morten		Teknologidokumenter Produktutvikling	50t
107	Teknologidokument	Morten	Alle		Teknologidokumenter	100t
108	Design og prototype	Morten	Aliihsan og Morten		Teknologidokumenter	100t
109	Kontakt med leverandører	Morten	Morten		Teknologidokumenter	15t
110	HMS works	Morten	Aliihsan og Morten			100t
111	Beregninger	Morten	Morten		Produktutvikling	30t
112	Praktisk arbeid med prototype	Aliihsan og Morten	Aliihsan og Morten		Testrapport, Produktutvikling	75t
113	SAT Testing	Aliihsan	Alle		Testrapport	150t
114	FEM Testing	Aliihsan	Morten		Testrapport	25t
115	KK Testing	Aliihsan	Aliihsan		Testrapport	20t
116	Testrapport	Aliihsan	Aliihsan		Testrapport	50t
117	Produktutviklings - dokument	Morten	Alle		Produktutvikling	

5.4. Overføringsfasen

Aktivitetslisten for overføringsfasen inneholder de samme aktivitetene som de tidligere fasene, men her er noen av aktivitetene tatt bort slik som tidligere. Nå er vi i den siste fasen av prosjektet hvor vi skal fokusere på å ferdigstille arbeidet vårt. Aktivitetslisten har derfor fjernet noen av aktivitetene som er vært i fokus tidligere, men vi har beholdt aktiviteter som fortsatt er relevante.

Tabell 5.4.1: Aktiviteter overføringsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
3	Oppdatere aktivitetslisten	Maria	Maria		Prosjektplan	20t
5	Kravspesifikasjon	Morten og Eivind	Morten og Eivind		Kravspesifikasjon	60t
6	Testspesifikasjon/plan	David og Aliihsan	David og Aliihsan		Testspesifikasjon/plan	60t
7	Lage Webside	David	David		Websiden	40t
9	Timeliste	Morten	Alle		Oppfølgingsdokument	10t
10	Gantt diagram og tidsplan	Maria	Maria		Prosjektplan	30t
12	Kundemøter (KDA)	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
13	Veiledermøter	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument	50t
14	Skrive møtereferat	Eivind	Alle		Oppfølgingsdokument og møtereferat	17t
19	Oppfølgingsdokument	Morten	Alle	Hver Torsdag	Oppfølgingsdokument	20t
21	Administrativt	Eivind	Eivind og Aliihsan		Oppfølgingsdokument	15t
25	Korrekturlesing av dokumenter	Maria	Alle		Alle dokumenter	35t
28	Dokumenthistorie	David	Alle		Dokumenthistorie	5t
29	Prosjektplan	Maria	Alle		Prosjektplan	30t
31	Forberede presentasjoner	Maria	Alle	23.03.17		75t
33	Iterasjons/revisjons - rapporter	Eivind	Alle		Revisjonsdokument	35t
34	Dokumentasjon	Maria	Alle		Alle	50t
36	Lage plakat	Maria	Alle	29.05.17		10t
37	Presentasjon 3	Maria	Alle	06.06.17		2,5t

Tekniske aktiviteter

Tabell 5.4.2: Tekniske aktiviteter overføringsfasen

Aktivitets nr:	Navn på aktivitet:	Ansvarlig:	Hvem utfører:	Frist:	Hvilket dokument aktiviteten berører:	Estimert tid:
101	Simulasjon/ Praktisk arbeid med robotarmen	David	Alle			400t
102	Analyse, research og implementering av kraftsensor	Eivind	Eivind, David og Maria		Teknologidokumenter	30t
103	Analyse, research og design av multiverktøy	Morten	Aliihsan og Morten		Teknologidokumenter	70t
104	Analyse, research og design av probemekanisme	Eivind	Eivind, David og Maria		Teknologidokumenter	70t
106	Analyse, research og design av festemekanisme	Morten	Aliihsan og Morten		Teknologidokumenter Produktutvikling	50t
107	Teknologidokument	Morten	Alle		Teknologidokumenter	100t
111	Beregninger	Morten	Morten		Produktutvikling	30t
112	Praktisk arbeid med prototype	Aliihsan og Morten	Aliihsan og Morten		Testrapport, Produktutvikling	75t
113	SAT Testing	Aliihsan	Alle		Testrapport	150t
114	FEM Testing	Aliihsan	Morten		Testrapport	25t
115	KK Testing	Aliihsan	Aliihsan		Testrapport	20t
116	Testrapport	Aliihsan	Aliihsan		Testrapport	50t
117	Produktutviklings - dokument	Morten	Alle		Produktutvikling	
118	Testing av sammensatt system	Aliihsan	Alle		Produktutvikling, testrapport	50t

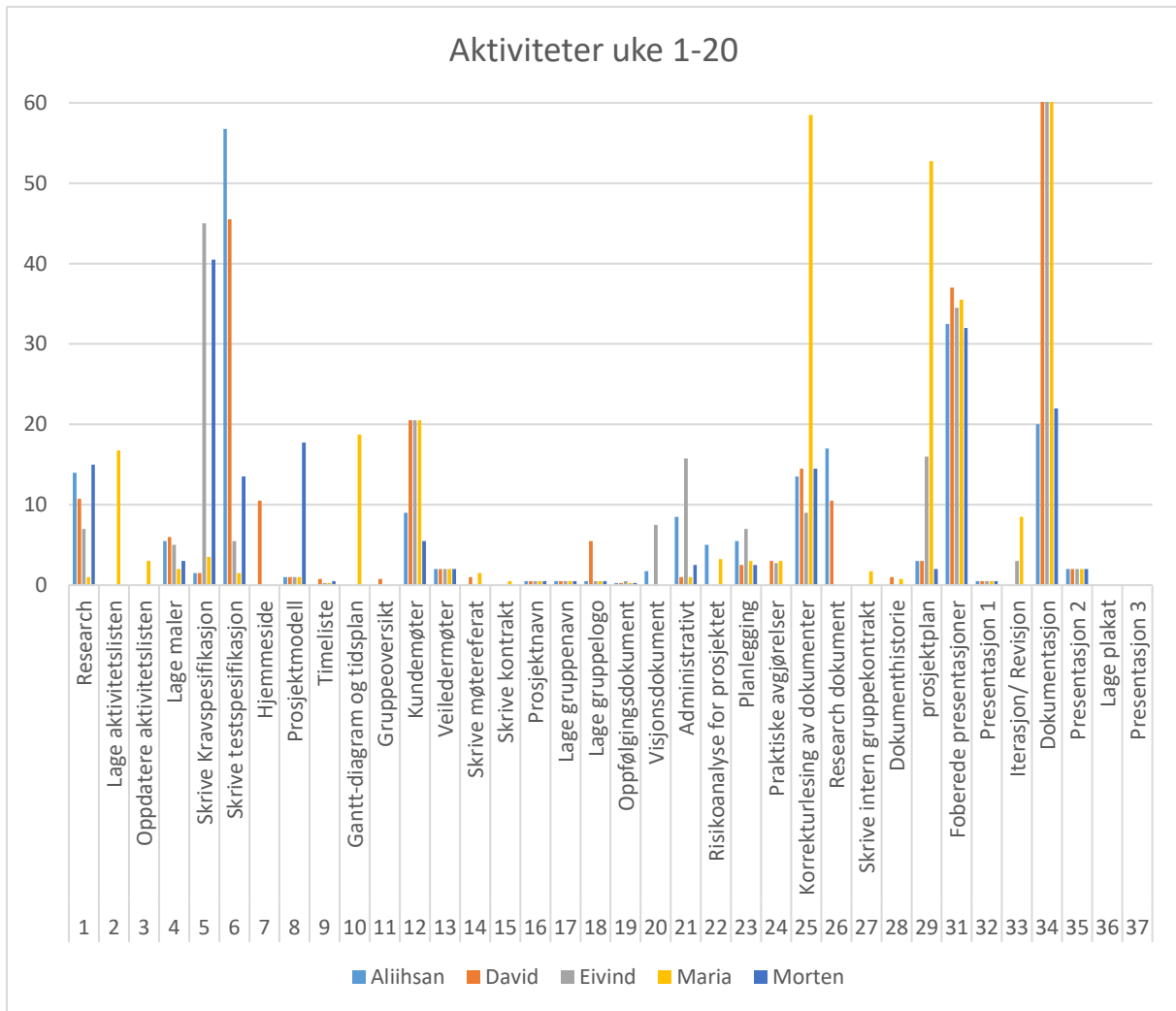
5.5. Tidsbruk per aktivitet

Vi har laget en oversikt over tiden som blir brukt på hver aktivitet per person. På denne måten kan vi enkelt ha en oversikt over hvor mange timer som totalt er brukt på en aktivitet, men også hvem som har brukt tid på aktiviteten og hvor mye tid denne personen har brukt. På grunn av manglende aktivitetslister de første dagene i prosjektet vil den totale tiden avvike noe fra virkelig tid bruk av tid.

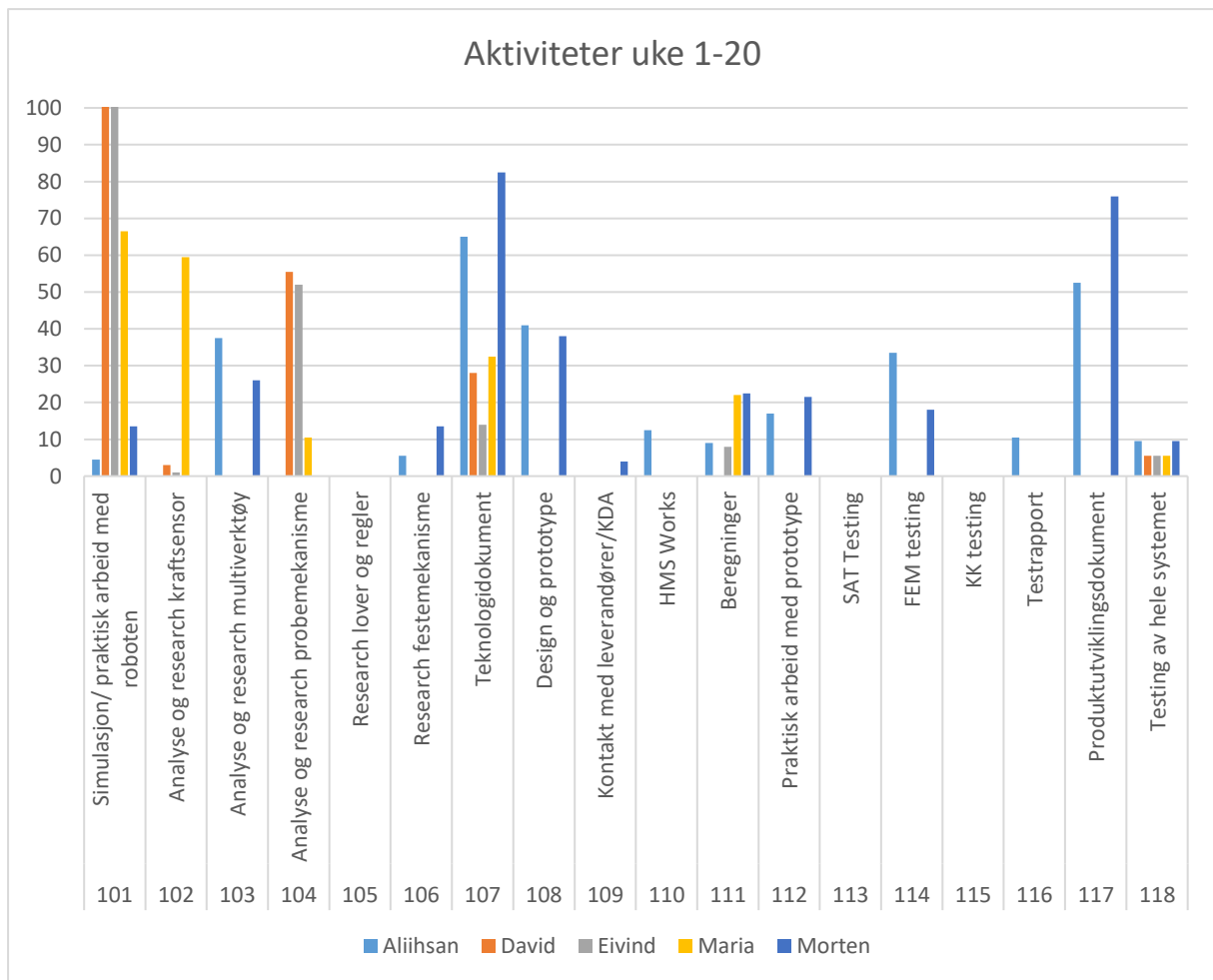
Tabell 5.5.1: Tidsbruk per aktivitet

Aktivitets nr:	Aktivitet	Uke 1-20					Total tid brukt
		Aliihsan	David	Eivind	Maria	Morten	
1	Research	14	10,75	7	1	15	47,75
2	Lage aktivitetslisten				16,75		16,75
3	Oppdatere aktivitetslisten				3		3
4	Lage maler	5,5	6	5	2	3	21,5
5	Skrive Kravspesifikasjon	1,5	1,5	45	3,5	40,5	92
6	Skrive testspesifikasjon	56,75	45,5	5,5	1,5	13,5	122,75
7	Hjemmeside		10,5				10,5
8	Prosjektmodell	1	1	1	1	17,75	21,75
9	Timeliste		0,75	0,25	0,25	0,5	1,75
10	Gantt-diagram og tidsplan				18,75		18,75
11	Gruppeoversikt		0,75				0,75
12	Kundemøter	9	20,5	20,5	20,5	5,5	76
13	Veiledermøter	2	2	2	2	2	10
14	Skrive møtereferat		1		1,5		2,5
15	Skrive kontrakt				0,5		0,5
16	Prosjektnavn	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5
17	Lage gruppenavn	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5
18	Lage gruppelogo	0,5	5,5	0,5	0,5	0,5	7,5
19	Oppfølgingsdokument	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	1,5
20	Visjonsdokument	1,75		7,5			9,25
21	Administrativt	8,5	1	15,75	1	2,5	28,75
22	Risikoanalyse for prosjektet	5			3,25		8,25
23	Planlegging	5,5	2,5	7	3	2,5	20,5
24	Praktiske avgjørelser		3	2,75	3		8,75
25	Korrekturlesing av dokumenter	13,5	14,5	9	58,5	14,5	110
26	Research dokument	17	10,5				27,5
27	Skrive intern gruppekontrakt				1,75		1,75
28	Dokumenthistorie		1		0,75		1,75
29	prosjektplan	3	3	16	52,75	2	76,75
31	Foberede presentasjoner	32,5	37	34,5	35,5	32	171,5
32	Presentasjon 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5

33	Iterasjon/ Revisjon			3	8,5		11,5
34	Dokumentasjon	20	89,5	84,5	69,5	22	285,5
35	Presentasjon 2	2	2	2	2	2	10
36	Lage plakat						
37	Presentasjon 3						
101	Simulasjon/ praktisk arbeid med roboten	4,5	165,5	191	66,5	13,5	441
102	Analyse og research kraftsensor		3	1	59,5		63,5
103	Analyse og research multiverktøy	37,5				26	63,5
104	Analyse og research probemekanisme		55,5	52	10,5		118
105	Research lover og regler						0
106	Research festemekanisme	5,5				13,5	19
107	Teknologidokument	65	28	14	32,5	82,5	222
108	Design og prototype	41				38	79
109	Kontakt med leverandører/KDA					4	4
110	HMS Works	12,5					12,5
111	Beregninger	9		8	22	22,5	61,5
112	Praktisk arbeid med prototype	17				21,5	38,5
113	SAT Testing						
114	FEM testing	33,5				18	51,5
115	KK testing						
116	Testrapport	10,5					10,5
117	Produktutviklingsdokument	52,5				76	128,5
118	Testing av hele systemet	9,5	5,5	5,5	5,5	9,5	35,5
	Sum timer:	498,75	529	542,25	510,5	502,5	2583

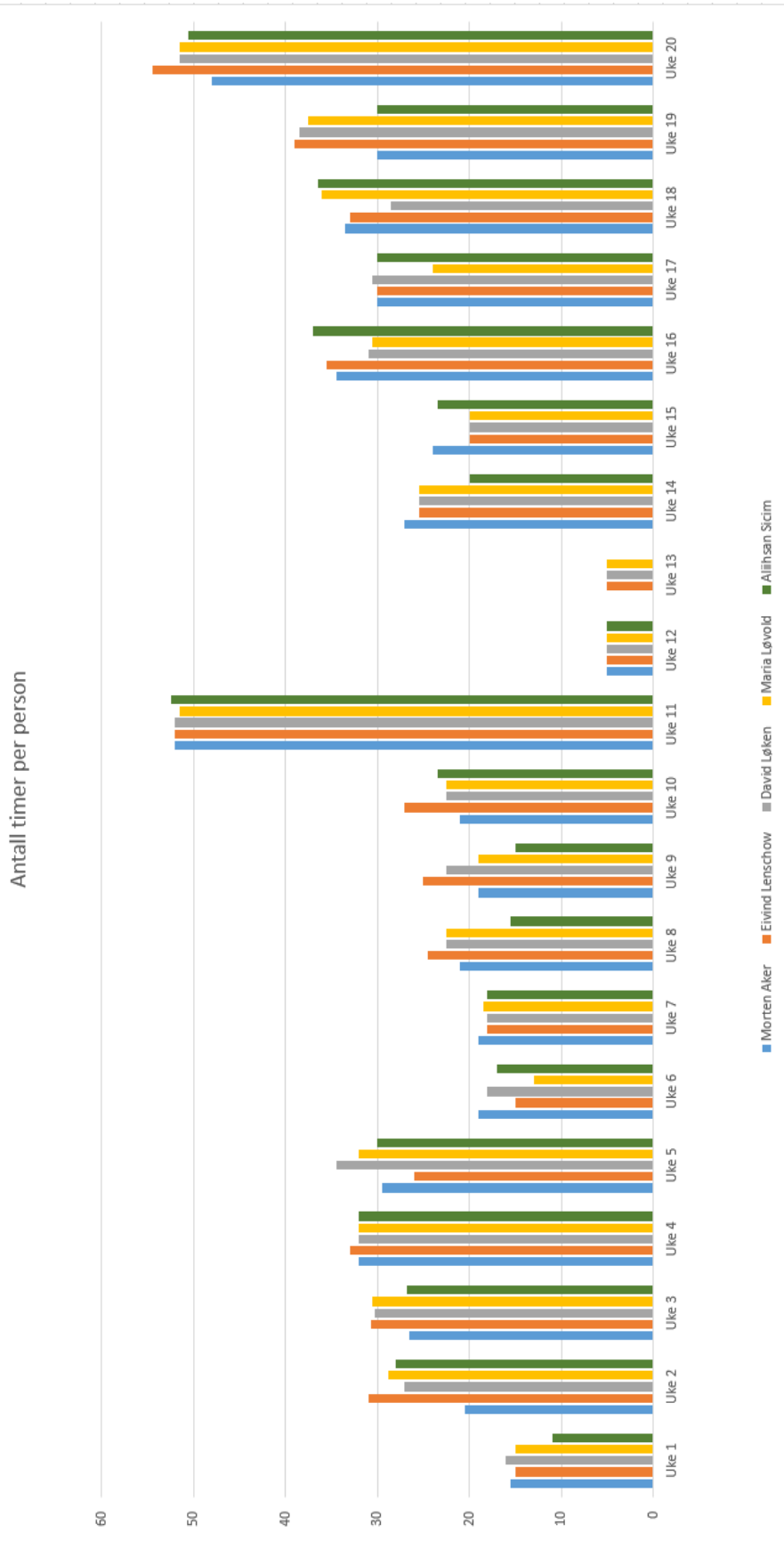


Figur 5.5.1: Aktivitetsdiagram med antall timer brukt per person del 1



Figur 5.5.2: Aktivitetsdiagram med antall timer brukt per person del 2

I figur 5.5.3 vises et diagram som inneholder hvor mye tid hvert gruppe-medlem har brukt på prosjektet hver uke. Dette diagrammet er helt nøyaktig med antall timer brukt på prosjektet. Ukene i prosjektet er definert med ukestart på fredag og ukeslutt på torsdager da vi har veiledningsmøter på fredager. Det er brukt mindre tid på prosjektet i uke 12 og 13. Grunnen for dette er at vi hadde eksamensperiode og påske i disse ukene hvor vi valgte å ta noen dager fri fra prosjektet.



Figur 5.5.3: Antall timer per person per uke

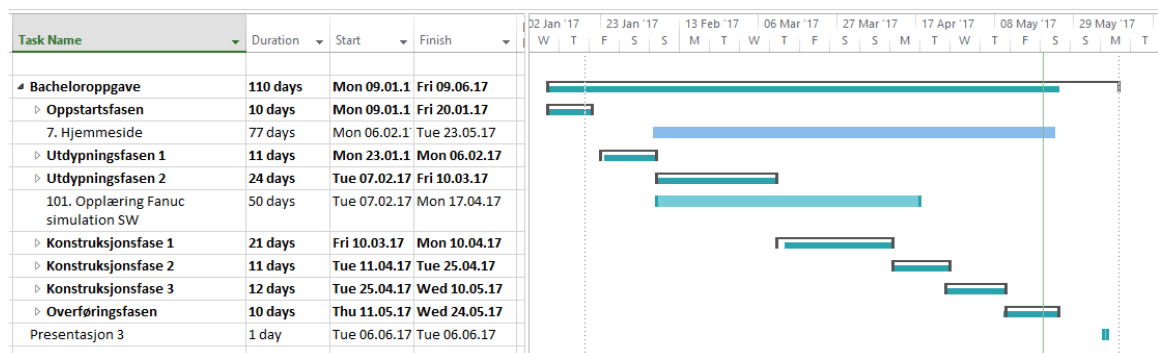
5.6. Gantt-diagram

Gantt diagram blir ofte brukt til prosjektstyring. Ved bruk av Gantt diagram er det lett å få oversikt over forskjellige oppgaver, aktiviteter og presentasjoner. Det gir også oversikt over når hva skal gjøres og hvor lang tid det tar. Gantt diagram gir en oversikt som gjør det mulig fort kunne se:

- Hvor lang tid hver aktivitet er planlagt og vare.
- Hvor aktiviteter overlapper, og hvor lenge aktiviteter overlapper.
- Start og slutt-tid for hele prosjektet.

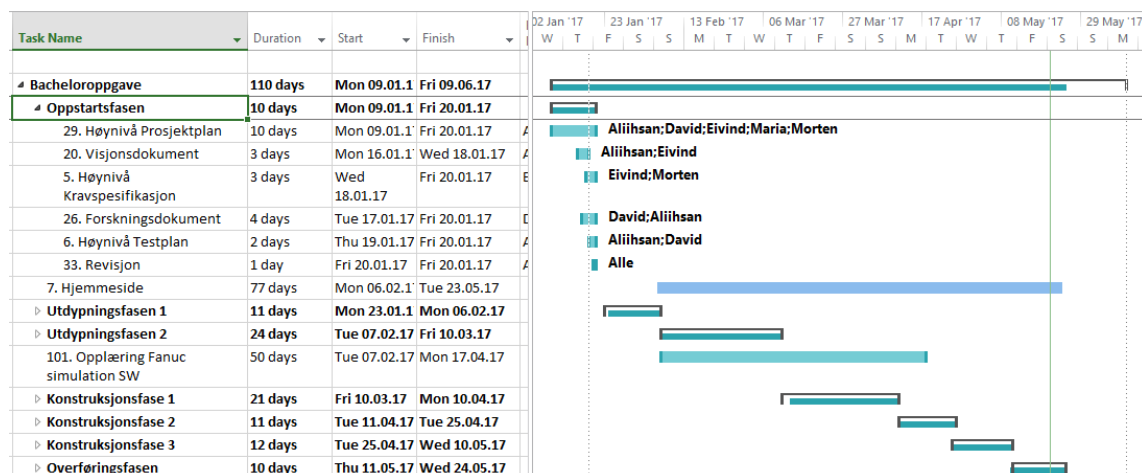
Dette gir en god oversikt over prosjektet i sin helhet i forhold til tid noe som er spesielt viktig når man har et prosjekt som har faste frister (presentasjonene) og fast sluttdato. Vi har valgt å ha med et slikt Gantt-diagram for å ha oversikt over vårt prosjekt og fremgang i prosjektet. Et slikt diagram vil være til stor hjelp både når det gjelder oversikt over prosjektet, samtidig som man vil måtte jobbe effektivt for å holde seg innenfor tidsfristene.

I denne første figuren av Gantt-diagrammet ser man hvordan vi har delt opp fasene og hvor lenge de enkelte fasen vil vare. Utdypningsfasen er delt opp i to deler, disse to delene representerer iterasjoner. Det samme gjelder konstruksjonsfasen som også er delt opp i flere iterasjoner.



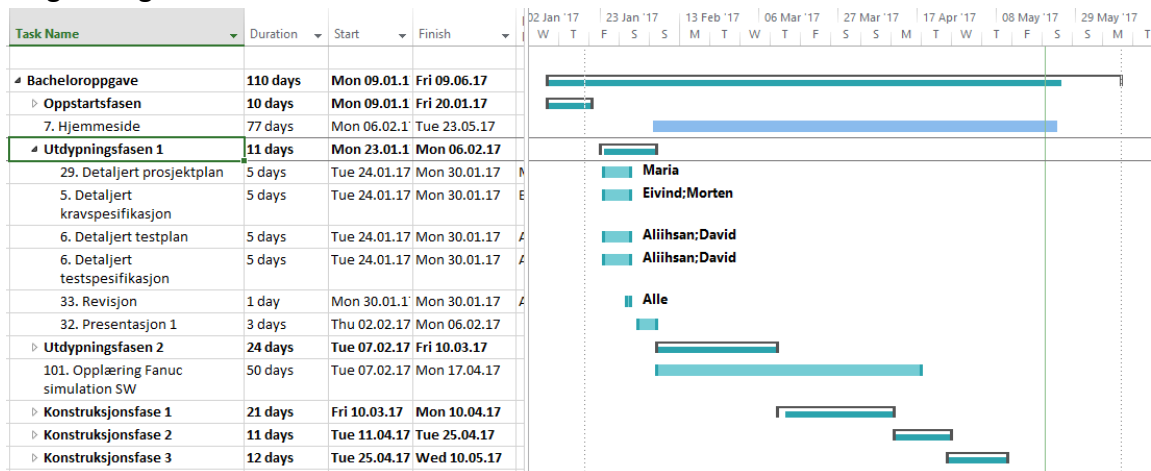
Figur 5.6.1: Gantt-diagram oversikt

I neste figur kan man se hva som foregår i oppstartsfasen og hva vi har gjort der.



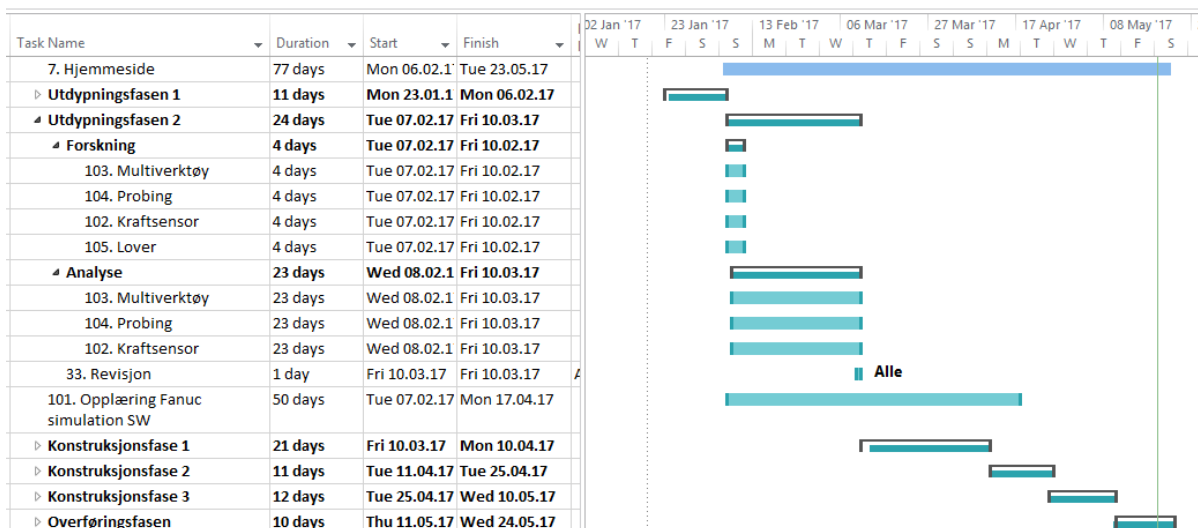
Figur 5.6.2: Gantt-diagram for oppstartsfasen

I utdypningsfase del en skal detaljerte versjoner av kravspesifikasjon, prosjektplan og testspesifikasjon/plan være ferdig før den første presentasjonen. Dette er illustrert i Gantt-diagram figur 5.6.3.



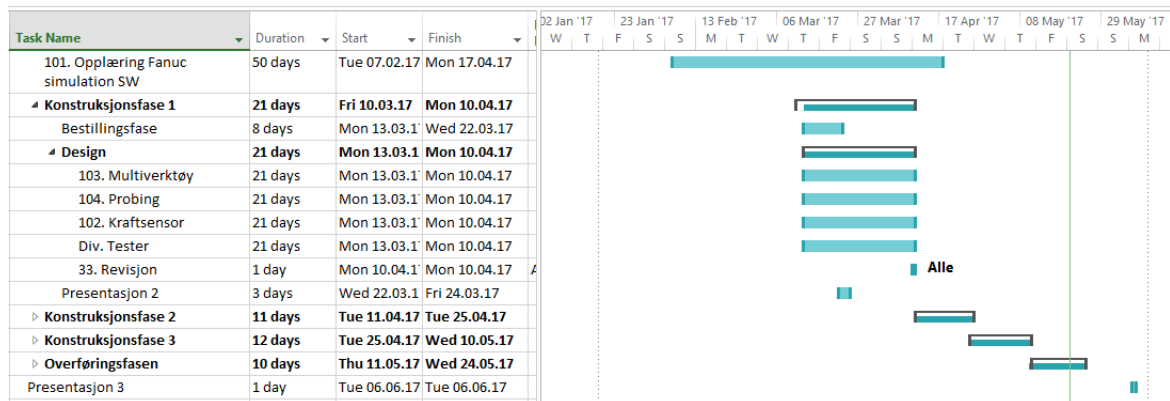
Figur 5.6.3: Gantt-diagram for utdypningsfase 1

I den andre iterasjonen av utdypningsfasen begynner research og analyse av multiverktøy, probing og kraftsensor. Her skal vi også begynne med opplæring i simuleringsprogrammet Roboguide. Dette er illustrert i figur 5.6.4.



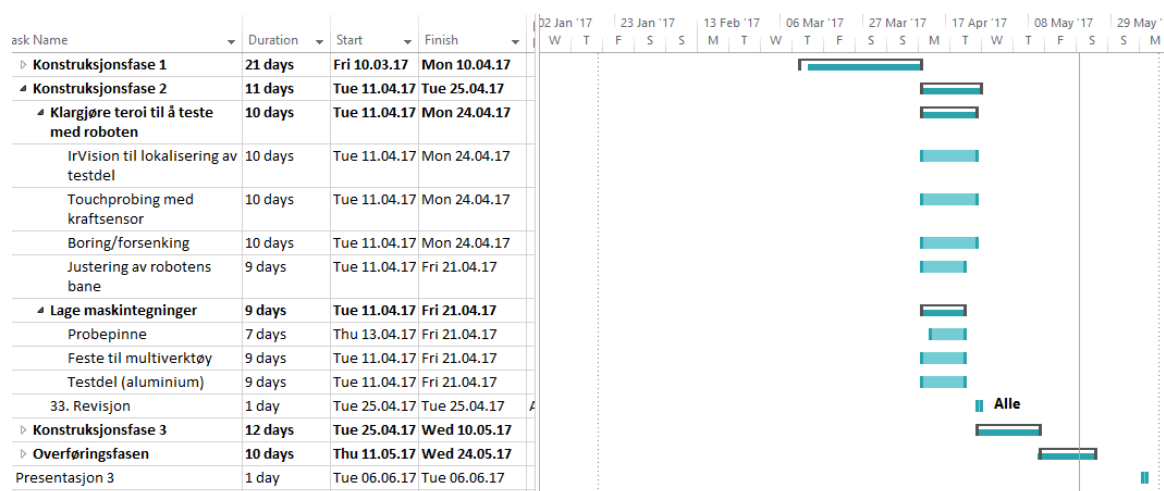
Figur 5.6.4: Gantt-diagram utdypningsfase 2

I figur 5.6.5. er iterasjon en i konstruksjonsfasen illustrert ved hjelp av Gantt-diagram. Her begynner designet av multiverktøy, probemekanisme og bruken av kraftsensoren til dette. I denne fasen skal også den andre presentasjonen være.



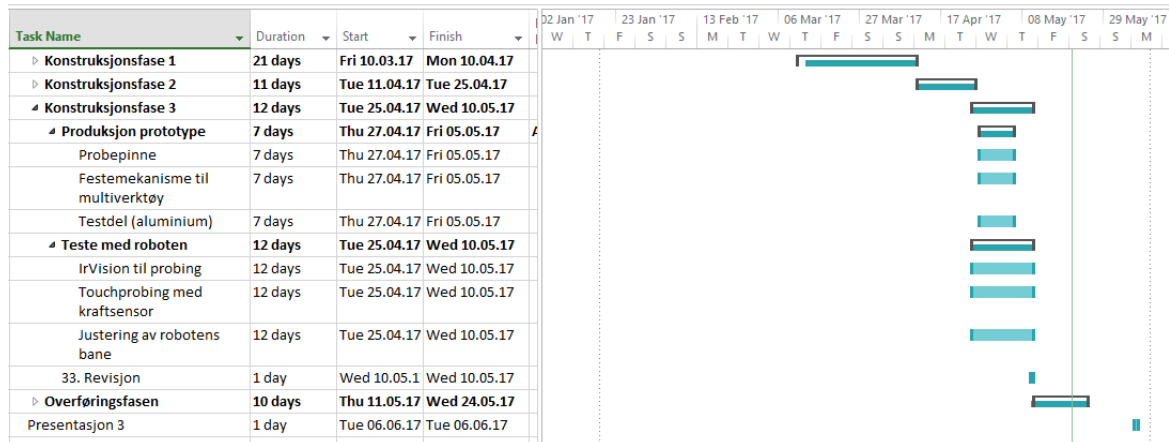
Figur 5.6.5: Gantt-diagram konstruksjonsfase 1

I andre iterasjon av konstruksjonsfasen legger vi vekt på å lage maskintegninger av probepinne, feste til multiverktøy og testdel. Her blir det også brukt mye tid på å klargjøre teori slik at vi kunne begynne og teste probing, boring og forsenkning når testdelene blir klare.



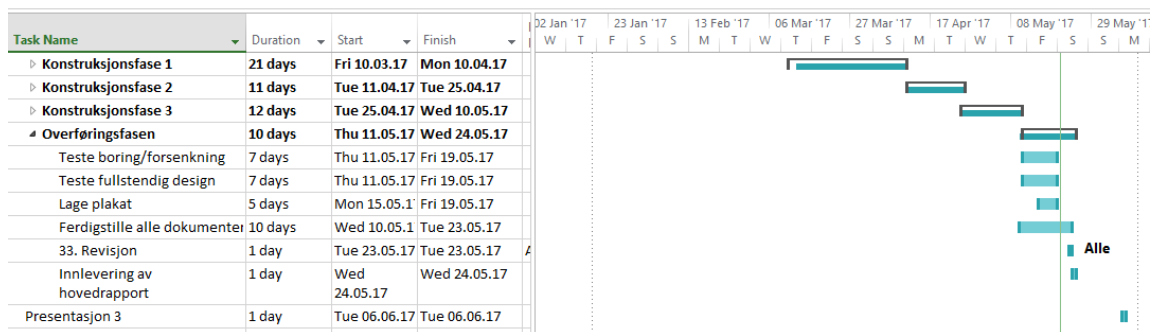
Figur 5.6.6: Gantt-diagram konstruksjonsfase 2

I den tredje og siste iterasjonen av konstruksjonsfasen skal prototypen produseres, her skal vi også teste «iRVision» til probing, kontaktprobing (Touchprobing) med kraftsensor og robotens bane.



Figur 5.6.7: Gantt-diagram konstruksjonsfase 3

I overføringsfasen skal vi teste boring og forsenkning samt det fullstendige designet. Her skal vi også lage plakat samt ferdigstille all dokumentasjon.



Figur 5.6.8: Gantt-diagram overføringsfasen

6. Budsjett

I alle prosjekter er det viktig å ha med et budsjett for å holde oversikt over kostnader. KDA har ikke gitt oss noe absolutt budsjett, men heller et veiledende budsjett på sika 10 000 kr. Budsjettet på 10 000 kr er satt for at vi skal holde oss innenfor rimelighetens grenser. Vårt mål er å være så kosteffektive som mulig uten at dette skal gå utover kvaliteten. Budsjettet i tabell 6.2.1 viser utgiftene som er direkte knyttet til vårt produkt. Vi har fått bruke materialer som KDA har tilgjengelig hos seg i tillegg, disse er ikke tatt med i budsjettet da det er vanskelig å vite nøyaktig pris på dette.

6.1. Estimert budsjett

I tabell 6.1.1. kan du se vårt estimerte budsjett, her har vi med selve spindelen og materialet til prototypen. På tidspunktet dette budsjettet ble laget var vi ikke klar over de ekstra kostnadene som ville komme til produksjon av prototypen og tilbehøret til spindelen.

Tabell 6.1.1: *Estimert budsjett*

Estimert budsjett		
Hva	Kostnad	Tilgjengelige midler
Spindel	9 000 kr	10 000 kr
Materiale til prototype	1 000 kr	1 000 kr
Sum	10 000 kr	10 000 kr

6.2. Budsjett

I tabell 6.2.1 kan du se vårt faktiske budsjett. Her har vi med tilleggskostnadene som kommer til spindelen hvor vi trenger slanger, koblinger og pneumatisk ventil som er ting vi ikke regnet med når vi lagde det estimerte budsjettet. Den største tilleggskostnaden var produksjonen av prototypen. Det vil si testdelene, spindelfeste, probefeste og probepinnen.

Tabell 6.2.1: *Budsjett*

Budsjett		
Hva	Kostnad	Tilgjengelige midler
Totalt Budsjett:	-	10 000
Spindel	14000	-4 000
Pneumatisk ventil	565,88	-4 566
Bor/forsenker	500	-5 066
Slanger og koblinger	208	-5 274
Lyddemper	49,1	-5 323
Signalkabel	179,96	-5 503
SUM	15502,94	-5502,94
Tilleggskostnader	-	-
Produksjon av prototype	15000	-20 503
SUM	15000	-20502,94

6.3. Innkjøp

Som en del av budsjettet har vi også valgt å lage en kort oversikt over hvilke leverandører vi har gjort våre innkjøp hos, hvor lang leveringstid som er forventet og hvor de hører til.

Tabell 6.3.1: *Leverandører og leveringstid*

Hva	Hvem	Hvor	Leveringstid oppgitt	Faktisk leveringstid
Spindel	Deprac	Tyskland	4-6 uker	Mer enn 6 uker
Pneumatisk ventil	Festo	Oslo	2-3 dager	1 dag
Lyddemper	Festo	Oslo	2-3 dager	1 dag
Signalkabel	Festo	Oslo	2-3 dager	1 dag
Bor/forsenker	KDA	Kongsberg	-	-
Slanger og koblinger	Tess	Kongsberg	Kjøpt i butikk	-

6.4. Konklusjon

Tidligere i prosjektet utførte vi et grovt estimat av hva budsjettet ville gå til, her hadde vi bare to punkter da vi ikke visste hva alle utgiftene til vårt produkt ville være enda. Vi har gått over det veiledende budsjettet vi fikk i starten av prosjektet. Vi har prøvd å holde oss innenfor budsjett, men når det kom til spindelen var det viktig å prioritere kvalitet. Vi har gjennom innkjøpene lært at det vil komme flere utgifter enn først antatt. Pris er også vanskelig å estimere før man har utført research på det som skal kjøpes inn.

7. Prosjektstyring

Hensikten med et prosjektstyringsdokument er å dokumentere hvilke programvarer vi har brukt for å styre prosjektet og hvorfor vi har valgt akkurat de programvarene vi har valgt. I et slikt prosjekt vi jobber med nå, hvor man har relativt kort tid, er det viktig å disponere tiden riktig. Ved å se på noen forskjellige programvarer og vurdere disse opp mot hverandre, kan man spare tid fremfor å bruke det første man finner. Når vi har valgt både skytjenester og programvarer til prosjektstyring var det viktig for oss å bruke noe som er lett å lære seg. Våre hensikter har vært å bruke minst mulig tid på å sette seg inn i avanserte programmer, men heller bruke noe tid til å finne frem til de beste og enkleste løsningene for oss. Selv om vi har brukt noe tid til å finne de riktige løsningene i starten, vil dette mest sannsynlig ha spart oss for tid når man ser på prosjektet i sin helhet.

7.1 Skytjenester

I løpet av prosjektet vil det bli opprettet og arbeidet med mange forskjellige dokumenter og filer som bør være tilgjengelig for alle som arbeider med prosjektet. For oss er det også viktig at vi har muligheten til å jobbe på samme dokument samtidig. Vi har sett på noen forskjellige alternativer til forskjellige skytjenester som kunne være aktuelle for oss. De forskjellige skytjenestene vi vurderte å bruke var Google Drive, OneDrive og Dropbox, som også var de vi var mest kjent med fra før. Vi gjorde en kjapp research på hver av disse tre skytjenestene hvor vi vurderte fordelene og ulempene de hadde, vi så også på brukervennligheten.

7.1.1. Google drive

Google Drive er en skytjeneste hvor man kan lagre dokumenter og filer på internett. Man kan også laste ned en lagringsmappe som gjør det mulig å ha alt tilgjengelig på sin datamaskin. Denne mappen synkroniserer seg med skytjenesten slik at man alltid har de nyeste dokumentene både i skyen og på mappen som ligger på datamaskinen [8].

Fordeler med Google Drive:

- 15 GB gratis lagringsplass
- Flere kan arbeide på samme dokumenter samtidig
- Vi har alle brukt denne tjenesten i mindre prosjekter før

Ulemper med Google Drive:

- For å arbeide på samme dokumenter må man bruke Google sine verktøyer.
- Når man skal konvertere filene til Microsoft filer kan dokumentene få et annet format og derfor bli rotete.

7.1.2. Dropbox

Fordeler med Dropbox:

- 2,5 GB gratis lagringsplass
- Kan dele dokumenter og filer
- Vi kjenner godt til denne tjenesten som en lagringsenhet

Ulemper med Dropbox:

- For å få mer lagringsplass må vi oppdatere til Dropbox Business (2TB lagring)
- Oppdatere til Dropbox business koster 10 euro/mnd
- Vi kjenner ikke til hvordan man jobber på filer samtidig i Dropbox [9]

7.1.3. OneDrive

OneDrive er en tjeneste som ligner veldig på både Google Drive og Dropbox hvor man kan dele filer men også arbeide på dem samtidig. OneDrive er Microsoft sin egen skytjeneste, hvor også filene blir redigert i Microsoft sine egne verktøyer. Denne skytjenesten gjør det også mulig å laste ned en lagringsmappe på datamaskinen som synkroniserer seg med skytjenesten automatisk [10].

Fordeler med OneDrive:

- 5GB gratis lagringsplass
- Vi har tilgang til OneDrive med stor lagringsplass
- Bruker Microsoft sine egne verktøyer som for eksempel Microsoft Office, Excel og PowerPoint.

Ulemper med OneDrive:

- Kan ta noe tid før man ser endringer en annen person gjør i dokumenter
- Må betale for mer lagringsplass (50 GB for 19,99 kr/mnd)

7.1.4. Konklusjon

Vi startet med å bruke Google Drive i begynnelsen av prosjektet, men fant fort ut at når vi lagret forskjellige dokumenter og skulle åpne disse i Microsoft Word, ble dokumentene ikke identiske med slik vi hadde laget dem. Google Drive var den skytjenesten vi hadde brukt i tidligere prosjekter, men vi hadde da ikke det samme behovet for struktur som vi nå har. Derfor valgte vi å gå over til OneDrive, på denne måten slapp vi å være bekymret for at dokumentene endret format når vi skulle bruke Microsoft sine verktøyer videre. Selv om OneDrive har mindre gratis lagringsplass enn Google Drive var det viktigere for oss at skytjenesten kunne opprettholde samme struktur i dokumentene som vi laget. Dessuten hadde flere av gruppemedlemmene allerede større lagringsplass på sin OneDrive. I forhold til Dropbox syntes vi også OneDrive var et lettere alternativ da vi ikke hadde brukt Dropbox til annet enn en lagringstjeneste før. Vi syntes også Dropbox hadde for liten gratis lagringsplass noe som også var med på å tidlig eliminere bort denne. Noen av gruppemedlemmene har større lagringsplass på OneDrive i utgangspunktet noe som gjør at størrelsen på lagringsplassen ikke er et problem ved bruk av OneDrive.

7.2. Programvare for Gantt-diagram

Gantt-diagram blir ofte brukt til prosjektstyring og vi valgte derfor å bruke dette også til vårt prosjekt. Ved bruk av Gantt-diagram er det lett å få oversikt over forskjellige oppgaver, aktiviteter og presentasjoner som skal gjennomføres. Det gir også oversikt over når hva skal gjøres og hvor lang tid det tar. Gantt-diagram gir en oversikt som fort gjør det mulig og kunne se:

- Hva de forskjellige aktivitetene er.
- Når hver aktivitet begynner og slutter
- Hvor lang tid hver aktivitet er planlagt og vare.
- Hvor aktiviteter overlapper, og hvor lenge aktiviteter overlapper.
- Start og slutt-tid for hele prosjektet [11].

Dette gir en god oversikt over prosjektet i sin helhet i forhold til tid, noe som er spesielt viktig når man har et prosjekt som har faste frister (presentasjonene) og fast sluttdato. For å lage Gantt-diagrammet trengte vi en programvare som var lett å bruke og redigere i, samtidig som at det skulle være lett å holde informasjonen i diagrammet ryddig. De forskjellige programmene vi vurderte var Microsoft Excel, Microsoft Project og Microsoft Visio. Alle disse tre alternativene til programvare er noe vi har gratis tilgang til gjennom høgskolen (HSN).

7.2.1. Microsoft Excel

Siden Microsoft Excel er et program vi er godt kjent med fra før vurderte vi å bruke dette til å lage et Gantt-diagram. Det finnes mange guider på internett om hvordan man lager ett Gantt-diagram i Excel, men å lage dette i Excel viste seg å ta lengre tid enn nødvendig da det var mye oppsett som måtte ordnes [12].

Fordeler med Microsoft Excel:

- Gratis programvare gjennom høgskolen (HSN)
- Det finnes mye informasjon om hvordan vi kan bruke Excel til dette formålet på internett

Ulemper med Microsoft Excel:

- Ikke så lett å bruke som først antatt
- Har ikke brukt Excel til Gantt-diagrammer før

7.2.2. Microsoft Project

Microsoft Project er et program laget for å være et hjelpeverktøy til og lage planer, delegere oppgaver, kunne følge med på prosessen og analysere arbeidsmengder. Dette er akkurat det man trenger for å lage et Gantt-diagram [13].

Fordeler med Microsoft Project:

- Gratis programvare gjennom høgskolen (HSN)
- Lett å bruke for å få et oversiktlig diagram
- Bra mal så man slipper å lage selve diagrammet fra bunnen av

Ulemper med Microsoft Project:

- Har ikke brukt programmet før

7.2.3. Microsoft Visio

Microsoft Visio er et program som i er laget for å kunne lage profesjonelle diagrammer raskt. Ved å lage slike diagrammer kan man forenkle kompleks informasjon ved å visualisere informasjonen man prøver å formidle. Man kan også lage Gantt-diagrammer i Visio [14].

Fordeler med Microsoft Visio:

- Gratis programvare gjennom høgskolen (HSN)
- Vi er kjent med programmet

Ulemper med Microsoft Visio:

- Kan fort bli rotete
- Fikk ikke det oppsettet vi ville ha, med tanke på et ønske om å ha aktiviteter under forskjellige faser på en ryddig og oversiktlig måte

7.2.4. Konklusjon

Når vi skulle lage et Gantt-diagram så vi på de tre forskjellige verktøyene som nevnt ovenfor. Vi kunne fort luke bort å bruke Excel, da vi fort fant ut at denne ville ta tid å lære seg, også Visio luket ut da vi oppdaget noen svakheter ved å bruke dette. Microsoft Excel er et program som er allsidig og kan brukes til mange forskjellige ting og er veldig bra på mye, men til å lage Gantt-diagram virket dette som et unødvendig tungvint program da vi hadde alternativer som er mye enklere å bruke. På grunn av dette valgte vi å bruke Microsoft Project som også virket som det letteste programmet å bruke, samtidig som at dette programmet ga et mer oversiktlig og et fint Gantt-diagram. Ved å bruke Microsoft Project kom vi fort i gang med å lage første utkast til vårt Gantt-diagram, mye fordi vi slapp å bruke mye tid på å sette oss inn i selve programmet.

8. Revisjonsdokument

8.1. Hensikt med dokumentet

Hensikten med revisjonsdokumentet er å dokumentere revisjonene etter hver iterasjon, for å se om vi har oppnådd de målene vi har satt for iterasjonen, samt evaluere hvordan arbeidsperioden har gått for gruppa. Etter hver av iterasjonene blir prosjektet evaluert hvor man foretar en beslutning på om målene i fasen er oppnådd eller ikke. Hvis man ikke har oppnådd målene må man gjennomføre en ny iterasjon av fasen før man går videre i prosjektet.

8.2. Oppstartsfasen (09.01.17 – 20.01.17)

I oppstartsfasen er fokuset på å få et helhetlig syn på hva som skal gjøres gjennom prosjektet. Her dannes mål for prosjektet, hvor mye tid går til prosjektplanlegging. Det dannes en overordnet prosjektplan, overordnet kravspesifikasjon, og en overordnet testplan. Det er også viktig at dokumentstruktur og hvilke tjenester vi bruker for prosjektstyring blir valgt. I denne fasen vil vi også starte med et forskningsdokument som skal dokumentere eksisterende eller lignende systemer og løsninger.

Mål for oppstartsfasen

- Overordnet prosjektplan
- Overordnet kravspesifikasjoner
- Overordnet testplan
- Mål og visjon for prosjektet
- Prosjektstyring og dokumentstruktur

Revisjon av oppstartsfasen

Mye tid har gått til valg av dokumentstruktur og valg av tjenester til prosjektstyring. Vi startet med å sette oss inn i prosjektmodeller og valgte bruk av modell (RUP). Vi valgte også tjenestene vi trengte for prosjektstyring og dokumentstruktur. Vi skrev visjonsdokument som forklarer oppgaven og mål ved prosjektet. Vi nådde også målene om å lage en overordnet prosjektplan, overordnet krav og behov og overordnet testplan. Forskningsdokumentet ble startet på, men ble ikke ferdig, det må jobbes videre på i neste fase. Målene for fasen ble oppnådd og godkjent.

Evaluerings av gruppearbeid

I denne fasen jobbet vi svært godt og mye. Det var stor arbeidsinnsats fra alle i gruppen. Oppgaver som dokumentstruktur og prosjektstyring tok lengre tid enn forventet, og det ble brukt endel tid på å organisere gruppen på en god måte. Gruppearbeidet har gått bra og vi har samarbeidet mye i denne fasen, hvor vi har tatt mange beslutninger etter gruppediskusjoner. Vi har også forbedringspotensialet på flere områder, og noen ting kan effektiviseres. Denne fasen var det mye gruppearbeid rundt samme oppgaver, men dette er naturlig da mye må avklares og diskuteres med hele gruppen. Fremover i prosjektet kan oppgavene inndeles mer til enkeltpersoner, dermed blir prosessene raskere og effektivisert.

8.3. Utdypningsfasen (23.01.17 – 10.03.17)

Utdypningsfasen er delt inn i to iterasjoner hvor den første omhandler detaljert prosjektplan, kravspesifikasjoner og testplan. Denne iterasjonen varte til og med dagen etter første presentasjon. Etter dette gikk vi inn i andre iterasjon av utdypningsfasen hvor vi så mer på research og analyse av selve multiverktøyet, probemekanismen og kraftsensoren. Det er i denne iterasjonen vi også har startet med opplæring i Roboguide softwaren vi skal bruke til simuleringer og programmering av robotarm, og hele systemet satt sammen før vi går videre til å lage en faktisk prototype senere i prosjektet.

8.3.1. Iterasjon en i utdypningsfasen (23.01.17 – 06.02.17)

I første iterasjon i utdypningsfasen er fokuset på å lage en detaljert prosjektplan vi kan følge gjennom prosjektet, lage detaljert kravspesifikasjoner og lage detaljert testplan og testspesifikasjoner. Til slutt i fasen skal vi levere første offisielle dokumentasjon og ha første presentasjon.

Mål for iterasjon en i utdypningsfasen

- Detaljert prosjektplan
- Detaljert kravspesifikasjon
- Detaljert testplan/spesifikasjon
- Presentere prosjektet på en god måte

Revisjon av første iterasjon i utdypningsfasen

Milepælene kom i mål dagen etter estimert tid og alt ble levert i tide, to arbeidsdager før presentasjonen. I denne iterasjonen jobbet i hovedsak Aliihsan og David med testplanen, Morten og Eivind med kravspesifikasjonen og Maria med prosjektplanen. Etter presentasjonen fikk vi tilbakemeldinger på blant annet orddelingsfeil og det at vi ikke var konsekvente med å bruke komma eller punktum ved desimaltall. På grunn av disse tilbakemeldingene valgte vi å gå gjennom alle dokumenter på nytt for å rette opp de tingene vi hadde fått tilbakemelding på. Når dette var gjort mente vi at milepælene for denne iterasjonen ble godkjente og kunne da gå videre til neste iterasjon.

Evaluering av gruppearbeid

I denne iterasjonen ble det jobbet veldig bra som gruppe og gruppesamarbeidet utviklet seg fort til å bli veldig bra. Vi hadde her en veldig høy intensitet på arbeidsmengden og tiden puttet inn i arbeidet. På denne måten fikk vi gode resultater i denne iterasjonen. I denne iterasjonen jobbet vi stort sett fire dager i uken mot de tre dagene i uken som egentlig er planlagt, til neste iterasjon må vi passe på at vi stort sett jobber tre dager i uken slik at vi har de to andre dagene i uken til å jobbe med fag ved siden av prosjektet. Vi er veldig fornøyde med denne iterasjonen og mener den gode innsatsen vi hadde ga gode resultater av det arbeidet som skulle leveres.

8.3.2. Iterasjon to i utdypningsfasen (07.02.17-10.03.17):

I den andre iterasjonen i utdypningsfasen har vi fokusert på en dypere forskning og analyse av produktet vi skal lage. Vi har forsket på og analysert multiverktøyet, probing, og kraftsensoren. Vi merket tidlig i iterasjonen at den avsatte tiden ikke ville være nok, derfor forlenget vi den. Opplæring av simulasjonsverktøyet har også vært en av hovedfokusene vi har brukt mye tid på her.

Mål for iterasjon to i utdypningsfasen

- Gi en fullstendig beskrivelse av multiverktøyet
- Gi en fullstendig beskrivelse av probemekanisme
- Gi en fullstendig beskrivelse av kraftsensor
- Er de aktuelle kostnadene akseptable sammenlignet med de planlagte kostnadene?
- Første iterasjon av konstruksjonsfasen skal være tilstrekkelig detaljert og nøyaktig

Revisjon av andre iterasjon i utdypningsfasen

Da sluttdatoen for utdypningsfasen i andre iterasjon nærmet seg, så vi at vi ikke ville nå milepælene våre. Vi valgte derfor å forlenge denne iterasjonen slik at vi skulle få tid til å nå disse milepælene før iterasjonen var ferdig. Mye tid har gått til simulasjon og research etter spindel.

Når vi startet med simulering hadde vi en bratt læringskurve. Ettersom tiden gikk i denne iterasjonen begynte læringskurven vi hadde på simuleringen å avta. Etter å ha «stått fast» i noen dager begynte det å løsne og progresjonen i simuleringen fortsatte. Simuleringen er et viktig læringsverktøy for å bli kjent med roboten og dens funksjoner. Vi fant også ut tidlig i denne iterasjonen at Roboguide ikke kan brukes å simulere fysikk. Dette betyr at vi ikke kan kjøre tester av systemet i simuleringsprogrammet. Det vi da bruker Roboguide til er å lære oss styring av roboten og dens funksjoner.

Vi fikk et budsjett fra KDA som var et sirka budsjett. Vi ser at vi vil gå over dette, men da med godkjenning fra KDA. Ved alle avgjørelser som har med innkjøp og pris å gjøre forsikrer vi oss med KDA om at dette er greit. Det vil si at vi har et noe fleksibelt budsjett å gå etter, derfor er det viktig at vi har god dialog med KDA slik at vi ikke baserer våre løsninger på noe som blir uakseptabelt for KDA med tanke på kostnader.

Vi har laget en fullstendig beskrivelse av hvordan probeverktøyet skal se ut. Når det kommer til hvordan vi skal utføre probingen står vi fortsatt overfor to alternativer vi kan gå for. Disse alternativene vil vi gjerne teste ut med robotarmen før vi tar et endelig valg på dette. Testingen for å bestemme endelig løsning på hvordan probingen skal utføres vil bli utført i konstruksjonsfasen. Denne milepælen er godkjent selv om vi nå står igjen med et avgjørende valg på hvordan vi skal utføre probingen.

For multiverktøyet har vi kommet frem til en fullstendig beskrivelse av hvordan dette skal se ut. Denne milepælen er derfor godkjent.

Vi har også satt oss dypere inn i kraftsensoren og dens funksjoner. Dette er blitt beskrevet og vi har funnet de funksjonene vi helst vil bruke. Når det kommer til kraftsensoren har vi også begynt å teste om vi får de forskjellige funksjonene til å fungere. På denne måten vil vi få en indikasjon på om vi kan bruke disse videre når vi designer probemekanismen ytterligere.

Første iterasjon av konstruksjonsfasen er også planlagt, hvor vi skal fokusere på design av multiverktøy, komme frem til en probemekanisme som kan fungere og se mer på kraftsensorens funksjoner som vi kan bruke videre. Vi har også planlagt at vi skal bruke noe tid på å gjennomføre noen enkle tester. Siden vi har kommet opp med to løsninger på hvordan vi kan løse probingen er denne milepælen godkjent. Hvor vi da velger endelig probemekanisme etter testingen av løsningene er utført.

Vi har kommet til konklusjon om at våre milepæler for denne iterasjonen er godkjente og vi vil dermed gå videre til første iterasjon av konstruksjonsfasen.

Som nevnt tidligere har vi måtte justert noe på tidsestimater som ble satt tidlig i prosjektet. Prosjektmodellen har blitt fulgt, men vi har gjort noen justeringer der det har vært behov for dette. Det at vi har måtte flytte litt rundt på datoer, er noe vi har vært klare over at vi mest sannsynlig måtte gjøre siden vi ikke har estimert tid på arbeidsmengder på denne måten før. For eksempel så gikk vi ikke videre inn i neste fase av prosjektet før milepælene for den fasen ble godkjente. Resultatet ble at fasen ble forskjøvet slik at vi fikk ferdig milepælene. Ifølge den justerte prosjektmodellen ligger vi nå i rute med planlagt progresjon av arbeidet.

Evaluering av gruppearbeid

Vi har fortsatt jobbet godt sammen som en gruppe. I denne iterasjonen har vi vært noe mer splittet på hvordan oppgaver vi har jobbet med, men vi har opprettholdt et godt samarbeid hvor alle kommer med sine forslag og ønsker på tvers av hverandres hovedoppgaver. Aliihsan og Morten har i hovedsak jobbet med selve multiverktøyet og laget teknologidokument for dette. David, Eivind og Maria har i hovedsak jobbet med simulering, probemekanisme og kraftsensor. Vi har også sett hvordan vi ønsker forskjellig designløsninger basert på hva vi jobber med. Her må vi gjøre kompromisser og snakke sammen for å finne den beste løsningen. Alle gruppemedlemmene har tatt del i å skrive teknologidokumentet. Alt i alt er vi fornøyde med gruppens og gruppemedlemmenes innsats i denne fasen.

8.4. Konstruksjonsfasen (10.03.17 – 10.05.17)

Konstruksjonsfasen er delt inn i tre iterasjoner hvor den første omhandler design av multiverktøy, probing og hvordan kraftsensoren kan brukes til probing og boring/forsenkning. Denne iterasjonen varte til og med 10.04. Noe av tiden i denne iterasjonen gikk bort til eksamenslesing. Den andre iterasjonen omhandler å få laget en fullstendig simulasjon av robotens bane, hvor vi skal lage maskintegninger til prototype og testdel, samtidig som vi skal begynne å implementere teori i praksis med de 3D-printede delene på probeprosessen. I den tredje iterasjonen skal vi produsere prototypen og teste en fullstendig probeprosess.

8.4.1. Iterasjon en av konstruksjonsfasen (10.03.17- 10.04.17)

I den første iterasjonen av konstruksjonsfasen ligger fokuset på design. Vi skulle her komme frem til det designet vi skal bruke videre. Vi så at denne iterasjonen ble litt kort med tanke på eksamenslesing og valgte derfor å forlenge den. Det overordnede designet ble ferdig 15.04 og videre skal vi lage maskintegninger og prøve ut «iRVision» og kraftsensorens funksjoner.

Mål for iterasjon en i konstruksjonsfasen

- Design og designbeskrivelse
- Kravstabilitet
- Testing under design

Revisjon av første iterasjon i konstruksjonsfasen

Da sluttdatoen for den opprinnelige iterasjon en av konstruksjonsfasen nærmet seg, så vi at våre milepæler ikke kom til å komme i mål. Vi valgte derfor å forlenge denne iterasjonen slik at vi skulle få tid til å bli ferdig med disse milepælene før iterasjonen var ferdig. Mye tid har gått til design. Vi har nå bestilt spindel.

Vi har designet et multiverktøy, probepinnen og testdelen av aluminium. Vi har også i denne iterasjonen 3D-printet disse delene, slik at vi kan bruke dette til å utforske mer på probing med kraftsensor og «iRVision». Videre skal vi lage maskintegninger av designet slik at delene kan produseres. Milepælen ble godkjent noen dager etter estimert dato.

Når det kommer til design av probing har vi sett på to alternativer. Det første alternativet er med «iRVision» for å lokalisere delen, hvor vi så skal bruke kraftsensoren til å finne den eksakte posisjonen til hullene. Det andre alternativet er ved kontaktprobing hvor vi bruker kraftsensoren til å lokalisere delen, og fortsetter probingen på samme måte som ved «iRVision». Vi en klar teori på hvordan dette skal gjøres og i neste iterasjon skal vi gå dypere inn på hvordan vi kan gjøre dette i praksis. Vi skal da gjøre forsøk på dette med testdelene vi har 3D-printet.

Vi har også i denne iterasjonen startet med å lage en simulasjon på robotens bane som vi kan bruke når vi skal utforske probing ved hjelp av «iRVision» på de 3D-printede delene i neste iterasjon.

Vi har ikke utført noen offisielle tester under design på dette planet, men vil gjøre dette i neste iterasjon før vi lager maskintegninger.

Vi har også justert noe på tidsestimater for de neste iterasjonene da denne tok lengre tid enn først antatt. Vi hadde og andre presentasjon i denne iterasjonen og tar med oss tilbakemeldingene vi fikk videre inn i resten av prosjektet.

Evaluering av gruppearbeid

Samarbeidet i gruppen er god. I denne iterasjonen har Morten og Alihsan jobbet med designet av probepinnen og multiverktøyet. De har også funnet den spindelen vi skal bruke og bestilt denne. Maria har i hovedsak jobbet med kraftsensoren og hvordan denne skal brukes i videre design av probemekanisme og under boring/forsenkning. David har jobbet med «iRVision» hvor hovedoppgaven er å få denne til å lokalisere delen og finne et bestemt hull som skal være ett nullpunkt for videre probing. Eivind har i hovedsak jobbet med å programmere robotens bane. Vi har hatt god kommunikasjon slik at alles behov blir tatt i betraktning, noen ganger har vi måtte inngå noen kompromisser, men vi kommer frem til gode løsninger med hjelp av hverandre. Alle gruppe medlemmene har begynt å jobbe på utviklingsdokumentet, der vil vi dokumenterer hvordan vi utfører de forskjellige delene av oppgaven. Vi er fortsatt fornøyd med gruppens sammenlagte og gruppe medlemmenes individuelle innsats.

8.4.2. Iterasjon to av konstruksjonsfasen (11.04.17 – 25.04.17)

I den andre iterasjonen av konstruksjonsfasen har fokuset vært på å lage og ferdigstille maskintegninger for å kunne utføre produksjon i neste iterasjon. Det andre hovedfokuset har vært å prøve ut «iRVision» til lokalisering av den 3D-printede delen, bruke kraftsensorens funksjoner til probing av hullene og ha en simulasjon av fullstendig operasjon ferdig. Kraftsensoren vil også bli brukt under boring/forsenkning, vi har derfor gått dypere inn i hvilke funksjoner vi kan bruke til dette. KDA har gitt uttrykk for at de gjerne vil at vi skal prøve å få til både probing ved hjelp av «iRVision» og kontaktprobing, vi vil derfor gjøre vårt beste for å oppfylle dette ønsket.

Mål for andre iterasjon av konstruksjonsfasen

- Fullstendig simulasjon
- Testing under simulasjon (Utgår på grunn av at det ikke går å simulere fysikk i Roboguide)

Revisjon av andre iterasjon i konstruksjonsfasen

Denne iterasjonen har vi kommet i mål med det vi ville innen sluttdatoen på iterasjonen. Vi valgte å jobbe noen dager i påskeferien for å lage ett godt utgangspunkt for å bli ferdige med det vi skulle innen sluttdatoen av denne iterasjonen.

Vi har nå blitt ferdige med maskintegninger av probepinne, feste til multiverktøy og selve testdelen. Det har også blitt utført beregninger på de krefter som vil virke på spindelfestet og probefestet, samt krefter som vil virke på verktøyet i sin helhet.

Vi har også gjennomført noen kvalitetskontrolltester på blant annet spindel, sammensetting av multiverktøy, boret/forsenkeren og integrert probepinne i multiverktøy. De fleste av disse testene har blitt godkjent, men noen av testene til spindlene har ikke blitt godkjent.

«iRVision» har vi også fått til. Nå kan vi lokalisere den 3D-printede delen og finne et hull som blir brukt som nullpunkt/startpunkt for videre probing. På kraftsensoren har vi fått til «Shaft Insert» funksjonen til probing på den 3D-printede delen. Vi har satt disse funksjonene sammen slik at vi får en fullstendig prosess ut av det. For å sette dette sammen til en fullstendig prosess for probing har vi også programmert robotens bane og bevegelser.

For å teste kontaktprobing trenger vi et program for «Math Functions». Dette venter nå på å få og vi vil teste dette så fort vi får programmet.

Nå er alt klart til at vi i neste iterasjon kan produsere delene vi har laget maskintegninger av. Vi er også klare for å kunne utforske probing med «iRVision» på testdelene når disse er produsert, samt hele probeprosessen med dens funksjoner.

Evaluering av gruppearbeid

Vi kom til enighet om at vi skulle bruke ett parr dager av påsken til å jobbe med prosjektet. Gruppen jobbet også godt sammen gjennom hele iterasjonen. Morten og Aliihsan har i hovedsak jobbet med maskintegningene og skrevet utviklingsdokument. Maria har fortsatt jobben med kraftsensoren, hvor hun også har vært med å få denne til å fungere riktig i praksis. David har jobbet med «iRVision» og fått dette til å fungere. Eivind har programmert robotens bane. Både Eivind, David og Maria har også jobbet på utviklingsdokument innen sine områder. Alle på gruppen er flinke til å legge inn de timer vi har blitt enige om å legge ned i arbeidet denne iterasjonen. Vi har nå tatt et godt steg i vår fremdrift og ser frem til å gå inn i neste iterasjon hvor vi skal begynne å produsere vårt design.

8.4.3. Iterasjon tre av konstruksjonsfasen (25.04.17-10.05.17)

I den tredje og siste iterasjonen av konstruksjonsfasen har fokuset vært på å produsere de forskjellige delene til prototypen, det vil si probepinne, festemekanisme til multiverktøy og testdel. Vi har også hatt stort fokus på å teste at «iRVision» og kontaktprobing fungerer og justering robotens bane.

Mål for tredje iterasjon i konstruksjonsfasen

- Produksjon av prototype
- Fullstendig probeprosess

Revisjon av tredje iterasjon i konstruksjonsfasen

I denne iterasjonen har vi gjennomført alle målene vi har satt innen tidsfristen (10.05.17). Vi har nå fått til en fullstendig probeprosess med både «iRVision» og kontaktprobing sammen med kraftsensoren. Robotens bane er justert etter behov. Disse målene er nå oppnådd med de ekte prototypedelene samt den ekte testdelen vi skal utføre boring og forsenkning på.

Alle delene som skal produseres er ferdigprodusert og vi har brukt disse delene videre til å teste probeprosessen. Det vi mangler nå er å få spindelen. Dette har tatt lang tid og kan være en hindring for å få til den fullstendige prosessen innenfor kravene, da vi ikke får testet boring og forsenkning før vi får spindelen. Vi har nå blitt lovet at spindelen skal komme i løpet av denne uken (uke 19), dersom alt går på skinner har vi mulighet til å få det til i tide. Produksjonen av testdelene har foregått på KDA med hjelp av verkstedet de har der og en

ansatt som har hatt workshop med Aliihsan og Morten. Den originale planen var at disse delene skulle produseres på høgskolen, men da det viste seg vanskelig å få hjelp til CNC-maskinene måtte vi se oss nødt til å gjøre dette hos KDA.

Vi har også i denne iterasjonen brukt mye tid på å dokumentere arbeidet som er utført. Vi har jobbet med utviklingsdokumenter som forteller noe om utviklingen av multiverktøyet, «iRVision», kraftsensoren og programmeringen av robotens bane. Dette utviklingsdokumentet skal være til hjelp for å forstå bakgrunnen for de valgene vi har tatt og hvordan vi har utført det.

I neste iterasjon som er overføringsfasen, begynne vi å teste boring og forsenkning med hjelp av kraftsensoren så fort vi får spindelen. Da skal vi også utføre de resterende testene der vi er avhengig av å få spindelen. Overføringsfasen er den siste fasen i prosjektet, derfor skal også alt av dokumentasjon ferdiggjøres.

Evaluering av gruppearbeid

Gjennom denne iterasjonen har vi vært ekstra avhengige av god kommunikasjon og planlegging da vi var avhengig av at testdelene og prototypedelene skulle bli ferdig for å kunne teste kontaktprobing og probing ved hjelp av «iRVision» så nøyaktig som mulig. Dette har gått bra og vi har på grunn av dette rukket å utføre våre mål innen fristen vi hadde satt.

I denne iterasjonen har Morten og Aliihsan utført produksjon av prototypen i samarbeid med en ansatt på verkstedet til KDA. De har også jobbet med rapporten til FEM analysene hvor Morten har jobbet med analysene av spindelfestet, mens Aliihsan har jobbet med analysene på probepinnen og probefestet. De har også jobbet med utviklingsdokumentet. David har jobbet med «iRVision» for å få dette til å fungere på den virkelige testdelen vi skal bruke, samtidig som han har jobbet på utviklingsdokumentet på «iRVision». David har også jobbet med hjemmesiden til gruppen i denne iterasjonen. Eivind har jobbet med justering av robotens bane for å få denne til å være optimal, også han har jobbet med utviklingsdokument for dette samt andre dokumenter som har hatt behov for en finpuss. Maria har jobbet med kraftsensoren for å få dens funksjoner oppe å gå optimalt. Hun har også jobbet med en teori og beregninger for å kunne verifisere hullenes posisjon ved hjelp av kraftsensoren etter alt er probet. Eivind og David har også hjulpet til med den praktiske bruken av kraftsensoren.

8.5. Overføringsfasen (11.05.17-24.05.17)

I denne iterasjonen har hovedfokuset vært å teste boring/forsenkning med den fullstendige prototypen. Siden denne fasen avsluttes med innlevering av hovedrapporten, har også et stort fokusområde vært å gjøre ferdig alt av dokumentasjon.

Mål for overføringsfasen

- Fullstendig test av prototype
- Fullstendig dokumentasjon av prosjektet ferdig

Revisjon av overføringsfasen

I denne iterasjonen har vi brukt mye tid hos KDA. Der har vi fått testet prototypen og den fullstendige prosessen på testdelen vi har designet. Dette var vellykket og vi klarte å holde oss innenfor kravene satt for diameter og dybde på forsenkningen. Det som mangler nå er å få en perfekt sluttfinish på forsenkningene til hullene samt størrelsen på selvet hullene. Dette vil bli en oppgave for videre arbeid for sommerstudentene som skal jobbe videre med optimalisering av prosessen til sommeren. Vi har kommet frem til at vi trenger et mindre bor for at diameteren på hullene skal komme innenfor kravet.

For å få hullene riktig i forhold til kravene måtte vi gjøre en del justeringer på TCP og dybden robotarmen skulle føre boret/forsenkeren. Dette har vi gjort beregninger på, men siden det er veldig vanskelig å sette TCP helt perfekt må feilen i TCP kompenseres for. Vi fikk til dette og fikk derfor forsenkningene innenfor kravene.

Dessverre fikk vi ikke spindelen innenfor tidsrammen som ble lovet. Dette er uheldig da det hadde hjulpet mye med en ekstra uke til å optimalisere prosessen og kjøre flere tester.

Parallelt med testing av det fullstendige systemet og klargjøring til testingen har vi jobbet med dokumentasjonen. Vi har gjort ferdig utviklingsdokumentene, testrapporter og gått gjennom diverse andre dokumenter som har hatt behov for oppdateringer og klargjøring til levering. Dokumentene er nå ferdige og klare til innlevering.

Evaluering av gruppearbeid

I denne iterasjonen har vi igjen vært avhengige av godt samarbeid da vi har måtte dokumentere samtidig som vi har testet ferdig prosessen med roboten. Vi har alle vært hjelpelige der det har vært behov for dette. Den gode viljen til å klare dette sammen har vært avgjørende i en travel sluttperiode av prosjektet. Ikke bare i denne iterasjonen, men gjennom hele prosjektets løp, har gruppen hatt et godt samarbeid og en god arbeidsmoral.

9. Kilder

9.1. Visjonsdokument

Bilde av robotarm:

[1] "Fanuc Robot." *Fanuc.eu*. Fanuc, n.d. Web. 31 Jan. 2017. <<http://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/m10/generic/400x600/int-ro-pr-m1010m-r-1.jpg?w=400+>>.

Bilde av kraftsensor:

[2] "Fanuc Force Sensor." *Fanuc.eu*. Fanuc, n.d. Web. 31 Jan. 2017. <<http://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/brochures/force%20sensor%20brochure.pdf?la=en>>.

9.2. Prosjektmodell

[5] Hansson, Knut W. *Kort Om RUP*. N.p.: n.p., n.d. Word.

[6] "Unified Process." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 15 Dec. 2016. Web. 15 Jan. 2017. <https://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Process>.

[7] "Rational Unified Process." *Wikipedia*. Wikipedia Foundation, 7 Jan. 2014. Web. 15 Jan. 2017. <https://no.wikipedia.org/wiki/Rational_Unified_Process>.

9.3. Prosjektstyring

[8] Google. "Google Drive - Cloud Storage & File Backup for Photos, Docs & More." *Google Drive - Cloud Storage & File Backup for Photos, Docs & More*. N.p., n.d. Web. 01 Mar. 2017. <<https://www.google.com/drive/>>.

[9] "Dropbox." *Dropbox*. N.p., n.d. Web. 01 Mar. 2017. <<https://www.dropbox.com/>>.

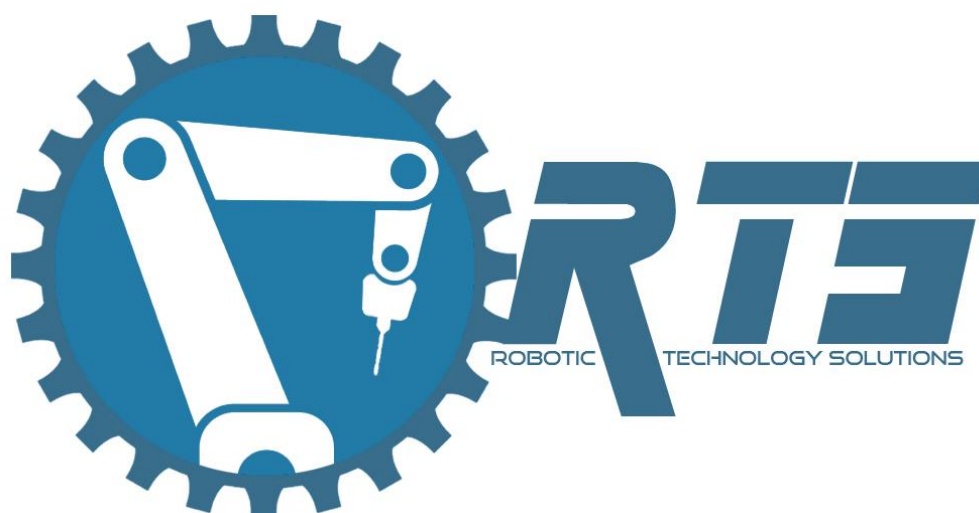
[10] "Velkommen Til Microsoft OneDrive." *Microsoft OneDrive - Access Files Anywhere. Create Docs with Free Office Online*. N.p., n.d. Web. 01 Mar. 2017. <<https://onedrive.live.com/about/nb-no/>>.

[11] "What Is a Gantt Chart?" *What Is a Gantt Chart? Gantt Chart Information, History and Software*. N.p., n.d. Web. 01 Mar. 2017. <<http://www.gantt.com/>>.

[12] "How to Create a Gantt Chart in Excel." *Smartsheet*. N.p., 01 Nov. 2016. Web. 01 Mar. 2017. <<https://www.smartsheet.com/blog/gantt-chart-excel>>.

[13] "Microsoft Project." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 18 Mar. 2017. Web. 19 Mar. 2017. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Project>.

[14] "Mest Populære Visio-funksjoner." *Opprette Profesjonelle Diagrammer, Populære Funksjoner I Visio*. N.p., n.d. Web. 01 Mar. 2017. <<https://products.office.com/nb-no/visio/microsoft-visio-top-features-diagram-software>>.



Kravspesifikasjon		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Alihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	02.02.2017	Første offisielle versjon
2.00	22.03.2017	Andre offisielle versjon
3.00	23.05.2017	Tredje offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	3
1.1. Dokumentets hensikt	3
2. Bakgrunn og oversikt	4
2.1. Prosessbeskrivelse	4
2.2. Behov	6
3. Krav	7
3.1. Kravprioritet	7
3.2. Kravkategorier	7
3.3. Interessent- og brukerkrav	8
3.4. Begrensninger og avhengigheter	9
3.5. Systemkrav	10
3.6. Krav til multiverktøy	11
3.7. Krav til festemekanisme for Arbeidsdel	13
3.8. Testkrav	14
4. Kilder	15

1. Innledning

1.1. Dokumentets hensikt

Hensikten med kravdokumentet er å gi en logisk og forstående beskrivelse av det systemet som skal utvikles. Beskrivelsen skal vise hvilke krav interessentene og brukerne har til systemet. Kravspesifikasjonen forteller også designere funksjonaliteten og karakteristikken det ferdigstilte systemet skal ha. Spesifikasjonene vil i tillegg tilrettelegge hva gruppen må demonstrere til kunden for å overbevise at deres krav er møtt. Dette klargjør hvor betydningsfullt det er at kravspesifikasjonen er fullstendig utformet før arbeidet på selve produktet kan starte, som bidrar til ett fundament til videre prosjektarbeid.

Dermed vil dokumentet i hovedsak inneholde en bakgrunn og en oversikt over krav der interessentens ønske og behov i tillegg til prosessbeskrivelse, forutsetninger og avhengigheter vil bli dokumentert. Kravkategorier, kravprioritering og spesifikke systemkrav som er både funksjonelle og ikke-funksjonelle vil også bli dokumentert.

2. Bakgrunn og oversikt

Bakgrunnen for kravene som beskrives i dette dokumentet er problemstillingen som er forklart i visjonsdokumentet, tilbakemelding og krav fra oppdragsgiver (KDA). Behovene til interessent og bruker er blitt formert, hvor systemkrav har blitt utarbeidet med hensyn på dette. Avhengigheter og begrensninger har også blitt definert for å hjelpe til å identifisere systemkrav, men disse er definert i neste seksjon av dokumentet.

2.1. Prosessbeskrivelse

Forberedning av Operatør:

Operatøren starter med å feste delene etter instruks. Dette innebærer å feste delene i riktig posisjon slik at roboten sin probeprosess bli suksessfull. Deretter må operatøren inspisere alle verktøy for å være sikker på at verktøyene ikke er skadet eller for slitte. Er verktøy skadet eller slitt må operatør rette opp i feilen. Dersom inspeksjonen blir godkjent kan operatøren starte programmet for probing, boring og forsenking.

«System»

Til å starte med, vil probeverktøyet være det aktive verktøyet. Etter valgt probeprosess innhentes informasjon om delens og hullenes posisjon og rotasjon. Når vi har dette, vil probeverktøyet ved hjelp av kraftsensorfunksjonen «Shaft Insert» bli plassert i hullene slik at vi får all nødvendig informasjon om hullene. Dersom «Shaft Insert» ikke treffer skråplanet på forsenkningen, betyr det at delen er plassert feil. Roboten vil da sende ut en feilmelding om dette. Denne prosessen er slik at om delen er litt feilplassert, så vil roboten kunne korrigere sin bane etter delen, men er feilen for stor vil feilmelding bli sendt. Etter «Shaft Insert» er utført på alle hullene, blir bore- og forsenkingsverktøyet det aktive verktøyet.

Med bore- og forsenkingsverktøyet som aktivt, vil roboten bevege seg i en bane i forhold til de variable punktene. Ut fra høyden til hullet, vil den bevege seg i en dybde slik at forsenking får diameter etter kravspesifikasjoner.

Legg merke til: Denne prosessen vil fungere for testdelen, men på den faktiske delen må vi ta i bruk styrepinner for å feste lokket og rammen ordentlig. Det betyr at noen hull som har styrepinner i, ikke kan bores og forsenkes med en gang. Operatøren må underveis i prosessen, bytte posisjonen til styrepinnene. Å løse dette slik at prosessen ikke trenger noe manuell hjelp er ikke en prioritet, men det vil bli gjort om vi har tid mot slutten av prosjektet.

Illustrasjon av prosessen er vist i figur 2.1.1.

2.2. Behov

Behov er problemer som interessenten har tenkt til å løse ved kjøp av ett produkt eller en tjeneste. Vår interessent er KDA og deres behov er listet i tabell 2.2.1. I tillegg har vi en bruker (operatør hos KDA) og deres behov er også listet i tabell 2.2.1.

Tabell 2.2.1: *Interessentbehov og brukerbehov*

Nummer	Interessentbehov og brukerbehov
B-001	System som er billig å produsere
B-002	System som er HMS-vennlig
B-003	System som kan i henhold til kravspesifikasjon bore i deler laget av aluminium
B-004	System som kan i henhold til kravspesifikasjon forsenke i deler laget av aluminium
B-005	System som er robotisert

3. Krav

3.1. Kravprioritet

For å få mer oversikt over vekten på de forskjellige kravene, har vi valgt å dele opp krav i tre prioriteringsklasser. Kravenes vekt vil derfor bli vurdert i henhold til disse klassene.

Tabell 3.1.1: *Kravprioriteringsklasser*

Prioritet	Beskrivelse
A	Kritiske krav som <i>må</i> oppfylles for systemets funksjonalitet
B	Viktige krav som <i>burde</i> oppfylles for systemets funksjonalitet
C	Krav som <i>kan</i> oppfylles for systemets funksjonalitet

3.2. Kravkategorier

For å få en mer oversiktlig struktur på kravene for systemet, har vi for enkelthetsskyld delt opp kravene i kategorier som vises i tabell 3.2.1

Tabell 3.2.1: *Kravkategorier*

Kravkategori	Beskrivelse
Interessentkrav	Overordnet krav fra interessenten, som skal forstås uten teknisk bakgrunn
Brukerkrav	Overordnet krav fra brukeren, som skal forstås uten teknisk bakgrunn
Begrensninger	Systembegrensende krav påsatt av interessent og brukerkrav
Systemkrav	Spesifikke krav for hva systemets prosess må oppnå
Krav til multiverktøy	Krav for design av multiverktøy
Krav til festemekanisme	Krav for design av festemekanisme for flystrukturer
Testkrav	Krav til validering av krav

3.3. Interessent- og brukerkrav

Interessent- og brukerkrav beskriver kravene interessenten og brukeren har til systemet som skal designes. Interessentkrav og brukerkrav, som er KDA, er listet i tabell 3.3.1.

Tabell 3.3.1: *Interessentkrav og brukerkrav*

Nummer	Prioritet	Interessentkrav og brukerkrav	Sporet fra
K-001	A	Systemet skal i henhold til kravspesifikasjon bruke FANUC M-10iA/10S robot til å bore i deler laget av aluminium 2124 T851	B-003, B-002, B-005
K-002	A	Systemet skal i henhold til kravspesifikasjon bruke FANUC M-10iA/10S robot til å forsenke i deler laget av aluminium 2124 T851	B-004, B-002, B-005
K-003	A	Systemet skal ikke skade flystrukturene	B-003, B-006
K-004	C	Multiverktøyet skal koste mindre enn 10 000 kr å produsere	B-001
K-005	A	Systemet skal bruke et multiverktøy til probing, boring og forsenkning	B-003, B-004, B-005
K-006	A	Systemet skal bruke en festemekanisme til å holde delene på plass under boring og forsenkning	B-003, B-004
K-007	A	Systemet skal avlaste operatøren fra fysisk belastning	B-002
K-009	A	Systemet skal bruke kraftsensor FS-15iA	B-003, B-002, B-005

3.4. Begrensninger og avhengigheter

Avhengigheter og begrensninger er personer og ting som vi er bundet til i prosjektet og som påvirker beslutninger og løsninger til problemstillingen. Begrensningene våre har vi definert i følgende tabell 3.4.1. Merk at J1, J2 osv. er ledd i FANUC M-10iA/10S.

Tabell 3.4.1: *Begrensninger*

Nummer	Begrensninger	Sporet fra
BA-001	FANUC M-10iA/10S har maks bæreevne på 10kg [4]	K-001, K-002
BA-002	FANUC M-10iA/10S har rekkevidde på 1098mm [4]	K-001, K-002
BA-003	FANUC M-10iA/10S har en spesifikk festemekanisme for verktøy [4]	K-001, K-002
BA-004	FANUC M-10iA/10S har 6 funksjonelle akser [4]	K-001, K-002
BA-005	FANUC M-10iA/10S er fastmontert [4]	K-001, K-002
BA-006	FANUC M-10iA/10S J1 har bevegelsesområde på $\pm 340^\circ$ [4]	K-001, K-002
BA-007	FANUC M-10iA/10S J2 har bevegelsesområde på $\pm 250^\circ$ [4]	K-001, K-002
BA-008	FANUC M-10iA/10S J3 har bevegelsesområde på $\pm 340^\circ$ [4]	K-001, K-002
BA-009	FANUC M-10iA/10S J4 har bevegelsesområde på $\pm 380^\circ$ [4]	K-001, K-002
BA-010	FANUC M-10iA/10S J5 har bevegelsesområde på $\pm 380^\circ$ [4]	K-001, K-002
BA-011	FANUC M-10iA/10S J6 har bevegelsesområde på $\pm 720^\circ$ [4]	K-001, K-002
BA-012	FANUC M-10iA/10S J1 har maksfart på $220^\circ/s$ [4]	K-001, K-002
BA-013	FANUC M-10iA/10S J2 har maksfart på $230^\circ/s$ [4]	K-001, K-002
BA-014	FANUC M-10iA/10S J3 har maksfart på $270^\circ/s$ [4]	K-001, K-002
BA-015	FANUC M-10iA/10S J4 har maksfart på $410^\circ/s$ [4]	K-001, K-002
BA-016	FANUC M-10iA/10S J5 har maksfart på $410^\circ/s$ [4]	K-001, K-002
BA-017	FANUC M-10iA/10S J6 har maksfart på $610^\circ/s$ [4]	K-001, K-002
BA-018	FANUC M-10iA/10S har en repeterbarhet på $\pm 0,05\text{mm}$ [4]	K-001, K-002
BA-019	FANUC M-10iA/10S trenger tilgang på 380-575 V 3-fase strømforsyning [4]	K-001, K-002
BA-020	Delene er laget av aluminium 2124 T851	K-001, K-002
BA-021	Aluminium 2124 T851 har flytegrense på 393.0012679461961 MPa [1]	K-001, K-002
BA-022	Aluminium 2124 T851 har fasthetsgrense på 455.0540997271744 MPa [1]	K-001, K-002
BA-023	Systemet er ikke fullstendig autonomt og har derfor behov for en operatør	K-006
BA-024	FS-15iA kraftsensor veier 0,57 kg [3]	K-009
BA-025	FS-15iA kraftsensor kan måle kraft opp til 147 N (15 kgf) [3]	K-009
BA-026	FS-15iA kraftsensor kan måle arbeid opp til 11,8 Nm [3]	K-009
BA-027	FS-15iA kraftsensor har nøyaktighet på mindre enn 2% [3]	K-009
BA-028	FS-15iA kraftsensor kan måle kraft i oppløsning på 0,39 N [3]	K-009
BA-029	FS-15iA kraftsensor kan måle arbeid i oppløsning 0,016 Nm [3]	K-009
BA-030	FS-15iA kraftsensor har 6 frihetsgrader [3]	K-009
BA-031	FANUC M-10iA/10S veier 130 kg [4]	K-001, K-002
BA-032	FANUC M-10iA/10S har en 30iB A size controller	K-001, K-002

3.5. Systemkrav

Systemkrav er en mer utdypende beskrivelse av interessent og brukerkrav. Systemkravene er dermed basert på interessentkrav, brukerkrav og begrensninger. Systemkravene angir i spesifikke verdier hva systemet må oppnå med prosessen og under prosessen. Systemkravene består av både funksjonelle og ikke-funksjonelle krav. Tabell 3.5.1 tar for seg systemkravene til hele systemet.

Tabell 3.5.1: Systemkrav for hele systemet

Nummer	Prioritet	Beskrivelse	Sporet fra
K-101	A	Borehull skal ha diameter mellom $\varnothing 6,604 - 6,680$ mm	K-001
K-102	A	Borehullvinkel skal være 90° på overflaten $\pm 2^\circ$	K-001
K-103	A	Forsenkningen skal være $100^\circ \pm 0,5^\circ$	K-002
K-104	A	Forsenkning skal ha diameter ved overflaten mellom $13,360 - 13,970$ mm	K-002
K-105	A	Forsenkningvinkel skal være 90° på overflaten $\pm 2^\circ$	K-002
K-106	B	Systemet skal utføre en full boringsprosess	K-001
K-107	B	Systemet skal utføre en full forsenkingsprosess	K-002
K-112	A	Borehullsenter skal ha avvik fra optimalt senter mindre enn $0,2032$ mm	K-001
K-116	A	Systemet skal bore $8,128$ mm (gjennomgående)	K-001
K-117	A	Systemet skal ikke skade delene	K-003
K-118	A	Forsenkning skal være på en dybde slik at naglehodet som settes inn etter prosessen blir liggende $0,08 - 0,48$ mm under overflaten etter montering	K-002

3.6. Krav til multiverktøy

Basert på Interessentkrav, operatørkrav, systemkrav og begrensninger har vi kommet frem til noen krav multiverktøyet vi skal designe må oppnå. Tabell 3.6.1 tar for seg disse kravene.

Tabell 3.6.1: *Krav til multiverktøy*

Nummer	Prioritet	Beskrivelse	Sporet fra
K-201	A	Boret skal ha en diameter mellom $\varnothing 6,650 \pm 0,02$ mm	K-101
K-202	A	Forsenker skal ha vinkel på $100^\circ \pm 0,2^\circ$	K-103
K-203	A	Multiverktøyet skal kunne festes til FANUC M-10iA/10S	BA-003
K-204	A	Multiverktøyet skal ha utstyr til probing	K-005
K-205	C	Multiverktøy skal koste mindre enn 10000 kr	K-004
K-206	B	Boret skal ha en rotasjonshastighet mellom 2000-6617 RPM [2] [KDA]	K-003
K-207	A	Boret skal kunne skjære materialet uten å stoppe	K-003, K-109
K-208	B	Forsenker skal ha en rotasjonshastighet på 600-1000 RPM [KDA]	K-003
K-209	A	Forsenker skal kunne skjære materialet uten å stoppe	K-003, K-111
K-210	A	Boret skal være låst fast i multiverktøyet for å unngå utkast under boring	K-003, K-101
K-211	A	Forsenker skal være låst fast i multiverktøyet for å unngå utkast under forsenking.	K-003, K-103
K-214	B	Skjæreverktøy skal ha et material egenskap av HSS eller Karbid	BA-020
K-215	B	Boring skal foregå under tørre forhold	BA-020, K-001, K-003
K-216	B	Forsenking skal foregå under tørre forhold	BA-020, K-002 K-003
K-217	A	Multiverktøy skal veie under 9,43 kg	BA-001, K-009
K-218	B	Boret skal ha en integrert forsenker	K-001, K-002
K-220	A	Multiverktøyet skal ha utstyr til boring	K-005
K-221	A	Multiverktøyet skal ha utstyr til forsenking	K-005
K-222	A	Spindelfeste til multiverktøy skal tåle belastning på 115 N	K-001, K-002, K-003

Tabell 3.6.2: *Krav til probeverktøy*

Nummer	Prioritet	Beskrivelse	Sporet fra
P-101	A	Tuppen sin diameter skal være maksimum 0,07 mm mindre enn det forborede hullet	K-204
P-102	A	Kontaktflaten sin diameter skal være større enn ferdig forsenket hull (<13,970 mm)	K-204
P-103	B	Tuppen skal være minimum like lang som dybden til hullet (8,128 mm)	K-204
P-104	A	Verktøyet skal være låst i sin posisjon under operasjon	K-204
P-105	A	Probe og probefestet til multiverktøyet skal tåle belastning 50 N	K-005

3.7. Krav til festemekanisme for Arbeidsdel

Basert på Interessentkrav, operatørkrav, systemkrav og begrensninger har vi kommet frem til noen krav som festemekanismen for arbeidsdelen må oppnå. Tabell 3.7.1 tar for seg disse kravene.

Tabell 3.7.1: *Krav til festing av arbeidsdel*

Nummer	Prioritet	Beskrivelse	Sporet fra
K-301	A	Delene skal være låst for bevegelse i x-planet under prosessen	K-006
K-302	A	Delene skal være låst for bevegelse i y-planet under prosessen	K-006
K-303	A	Delene skal være låst for bevegelse i z-planet under prosessen	K-006
K-304	A	Delene skal være låst for bevegelse i w-aksen under prosessen	K-006
K-305	A	Delene skal være låst for bevegelse i p-aksen under prosessen	K-006
K-306	A	Delene skal være låst for bevegelse i r-aksen under prosessen	K-006
K-307	A	Delene skal festes innenfor et markert område på 23,5 x 16 cm	K-006
K-307	B	Delene skal festes innenfor et markert område på 20 x 13 cm	K-006
K-307	C	Delene skal festes i nøyaktig samme posisjon for hver operasjon	K-006
K-308	A	Delene skal festes innenfor 20° av optimal rotasjonsvinkel for hver operasjon	K-006
K-308	B	Delene skal festes innenfor 10° av optimal rotasjonsvinkel for hver operasjon	K-006
K-308	C	Delene skal festes i nøyaktig samme rotasjonsvinkel for hver operasjon	K-006
K-309	A	Ytterste borehull skal være innenfor rekkevidde FANUC M-10iA/10M	BA-002
K-310	A	Delenes hull skal være låst ovenfor hverandre under prosessen	K-006

3.8. Testkrav

Testkrav er krav som forteller hvilket systemkrav som må, burde eller kan bli verifisert av tester. Dette er organisert etter prioriteringsklassene til systemkrav. Tabellen 3.8.1 illustrerer dette.

Tabell 3.8.1: *Testkrav*

Nummer	Prioritet	Beskrivelse
T-001	A	Klasse A krav <i>må</i> bli verifisert av tester
T-002	B	Klasse B krav <i>burde</i> bli verifisert av tester
T-003	C	Klasse C krav <i>kan</i> bli verifisert av tester

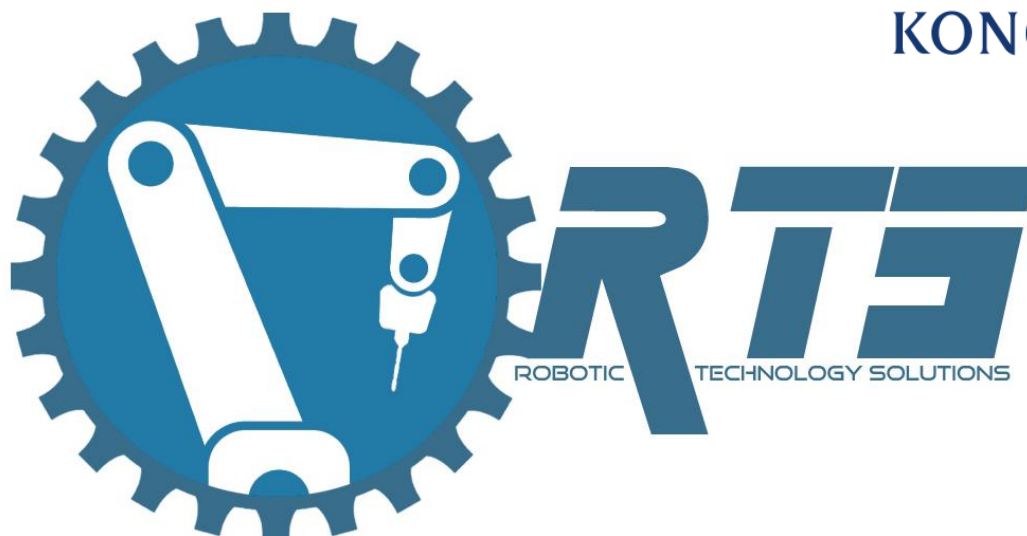
4. Kilder

[1] Metals, TW. "2124 ALUMINUM PLATE." *TW Metals*. TW Metals, n.d. Web. 30 Jan. 2017. <<http://www.twmetals.com/2124-aluminum-plate.html>>.

[2] Rick. "Recommended Cutting Speeds and Feeds for Carbide Tools." *CCE00000.jpg*(n.d.): n. pag. *Drill-Service*. Drill Service (Horley) Ltd. Web. 30 Jan. 2017. <http://www.drill-service.co.uk/images_Technical/Speeds-and-Feeds.pdf>.

[3] "Fanuc Force Sensor." *Fanuc.eu*. Fanuc, n.d. Web. 31 Jan. 2017. <<http://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/brochures/force%20sensor%20brochure.pdf?la=en>>.

[4] "Fanuc M-10iA/10S." *Https://www.robots.com/fanuc/m-10ia-10s*. Fanuc, n.d. Web. 31 Jan. 2017. <<https://www.robots.com/pdf/builddatasheet/robot/940>>.



Testplan		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Aliihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	02.02.2017	Første offisielle versjon
2.00	22.03.2017	Andre offisielle versjon
3.00	24.05.2017	Tredje offisielle versjon

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	3
1.1. <i>Antakelser</i>	3
1.2. <i>Dokumentets hensikt</i>	4
1.3. <i>Mål</i>	4
2. Fremgangsmåte	5
2.1. <i>Testtyper</i>	5
2.1.1. FEM	5
2.1.2. Kvalitetskontroll	6
2.1.3. SAT	6
3. Begrensninger	7
4. Forklaring av tabell	8
5. Testspesifikasjon	9

1. Innledning

Testplanen er et dokument som forklarer hvilket krav som skal verifiseres av tester og hvordan. Planen vil inkludere testens hensikt i forbindelse med krav som er knyttet til den, når den skal utføres, hva målet med testingen er og hvordan testen vil bli utført.

Før prototypetesting kan begynne må det gjennomføres design- og kvalitetskontroll. Designtester vil blant annet være «Finite Element Method» (heretter FEM)-analyser i «SolidWorks». Komponenter som vurderes må først gjennomgå en kvalitetskontroll (heretter KK) slik at vi kan være sikre på at gitte krav blir oppfylt. Prototypetestingen skjer mot slutten av prosjektfasen, der hele systemet blir testet opp mot kravene.

Vi bruker kravspesifikasjonenes prioriteringer til å prioritere testene. En hensiktsmessig test skal påvise om kravene som er stilt kan tilfredsstilles. Krav som testes er klassifisert i prioriteringsklasser A-C i avtagende rekkefølge vist i tabell 1.1.

Tabell 1.1: *Testkrav.*

Prioritet	Beskrivelse
A	Klasse A krav <i>må</i> bli verifisert av tester
B	Klasse B krav <i>burde</i> bli verifisert av tester
C	Klasse C krav <i>kan</i> bli verifisert av tester

Kongsberg Defence & Aerospace (heretter KDA) har gått til innkjøp av en robotarm av type FANUC M-10iA/10S, en tilhørende kontrollenhet av typen R-30iB og en kraftsensor FS-15iA som skal brukes sammen med armen. Med dette følger også simuleringsprogramvaren «RoboGuide» (heretter RG). RG kan bli brukt til å simulere deler og hele armens prosess.

1.1. Antakelser

- Vi antar at det vil oppstå komplikasjoner underveis i prosjektet. Derfor kan vi med sikkerhet si at tiden for testingen og resultater vil variere avhengig av godkjente og ikke godkjente tester.
- Vi antar at noen av komponentene som skal brukes kan anskaffes på skolen. Dette vil kunne ha en innvirkning på om testene blir gjennomført innenfor gitte tidsfrister.
- Vi antar at prototypetester med robotarm vil bli utført ved KDA, avdeling Kongsberg.

1.2. Dokumentets hensikt

Hensikten med å lage en testplan er å kunne ha optimale prosedyrer under testingen. Har man dette vil en kunne utføre feilsøking og eliminere problemer på en strukturert måte underveis. Når testprosedyrene følges vil man alltid vite hvor i systemet man befinner seg og hvilket krav man prøver å tilfredsstille. Om en test ikke kan utføres eller testen mislykkes, vil ikke testen bli godkjent. Da må en vurdere om kravene knyttet til testen kan verifiseres. Hvis det ikke er tilfelle, må kravene justeres og/eller design endres for å oppnå en realistisk løsning. Ved å følge testplanen vil man få en god indikasjon om systemet fungerer som ønsket eller ikke.

1.3. Mål

Målet med testene er at alle komponentene som systemet består av innfrir kravene som er satt, og fungerer på en hensiktsmessig måte. Alle testene som utføres skal være innenfor målet, dersom de ikke er det må kravene endres og testene må utføres på nytt.

2. Fremgangsmåte

Fremgangsmåten i testplanen er å fordele ulike type tester over de forskjellige testperioder. På denne måten kan testing starte tidligere i prosjektet og vil sørge for en mer strukturert progresjon. Testing vil innebære å teste for verifisering av systemkrav for systemet som delsystemer og helhet. Alle testbare systemkrav skal testes.

Gjennom hele testprosessen har vi hovedsakelig to hovedområder for testing som er statisk og dynamisk testing. Den statiske delen vil vi begynne med allerede i utdypningsfasen av prosjektplanen. Dette vil stort sett bestå av analyse og design av de forskjellige komponentene. Testingen av komponenter og utstyr for hvert delsystem, men også som et helhetlig system vil bli designet og satt sammen etterhvert. Når feilene har blitt avdekket og korrigert i den statiske delen kan den dynamiske testingen av delsystemene starte. Dette vil innebære kvalitetskontroll samt «Site Acceptance Testing» hvor vi utfører fysiske tester for å se om resultatene innfrir kravene.

For hver enkel test har vi konstruert oversiktlige tabeller som inneholder viktig informasjon om testen og dens vilkår. Dette er for å gjøre prosessen mer strukturert. Sporing gjennom eksterne dokumenter som kravspesifikasjon blir forenklet. Ettersom tester blir utført skal resultatet dokumenteres i en testrapport. Om resultatet er godkjent vil det ikke være nødvendig å gjøre noe mer for den testen. Kravene relatert til den unike test-IDen vil være oppfylt. Om testen mislykkes må ett nytt forsøk utføres. Som nevnt i tidligere avsnitt, må krav muligens justeres og design endres før ett nytt forsøk kan foretas.

2.1. Testtyper

Som nevnt over har vi valgt å separere ulike krav i ulike testtyper. Testmetoder vil bestå av FEM-analyser, kvalitetskontroll og «Site Acceptance Test». Tabell 2.1.1 viser forkortelse av testene. Under testspesifikasjon vil testtype stå i forkortet form.

Tabell 2.1.1: Forkortelser av tester.

FEM	Finite Element Method
KK	KvalitetsKontroll
SAT	Site Acceptance Test

2.1.1. FEM

FEM er et analyseverktøy som brukes for å undersøke hvordan et produkt reagerer på ytere krefter og andre fysiske påkjenninger. FEM analyser skal bli utført i «SolidWorks». Slike analyser og tester er statiske og inneholder ingen dynamiske kriterier ettersom programmet ikke er egnet for dette. Tester som utføres ved FEM dokumenteres deretter.

2.1.2. Kvalitetskontroll

Kvalitetskontroll er en test hvor kvaliteter til komponenter blir undersøkt opp mot kravene som er satt. For at testen skal godkjennes må kvaliteten på komponenten som undersøkes innfri komponentkravet. Slike tester er hovedsakelig egnet for prototyper, altså fysiske tester. Men vi utfører også en kvalitetskontroll av eventuelle komponenter som vurderes kjøpt.

2.1.3. SAT

En «Site Acceptance Test» er en test som gjennomføres på området der systemet skal operere. Testen kjøres når alle komponenter og undersystemer er integrert i sluttssystemet. SAT skal gjøres for å se om alle kravene er blitt tilfredsstilt. Dette er en test som ofte kjøres av gruppen, før den blir gjennomført med kunde.

3. Begrensninger

For vårt prosjekt har vi identifisert noen begrensninger som kan påvirke fremgangen i arbeidet. Disse begrensningene vil ha effekt på testplanen vår med tanke på tid. Begrensningen som må tas i betraktning under testplanen er beskrevet under.

En av de første og største begrensningene til gruppen er vår tilgang til lokalene til KDA. Grunnet strenge krav med tanke på sikkerhet og konfidensialitet har vi begrenset tilgang. I tillegg må vi ha en ansatt til å overvåke oss mens vi er på lokalene. Dette vil si at under testing av en prototype, kan ikke gruppen komme for å jobbe når man vil og hvor lenge man trenger. Dette kan føre til at testing av prototype vil ta lengre tid som kan føre til komplikasjoner i vår prosjektplan.

Tilgang til nødvendig utstyr vil også være en begrensning. Dersom verken KDA eller skolen har nødvendig utstyr for å kunne produsere de ønskede delene, kan det føre til at vi må revurdere valg av materiale eller design. I tillegg så kan dette også påvirke tidsplanen og tiden vi har til å utføre tester.

Grunnet begrensning til lokalene hos KDA vil vi få begrenset tid med FANUC-armen. Tid med dette systemet er viktig siden vårt design må bli implementert og integrert i systemet til FANUC-armen for at systemet i sin helhet skal ha ønsket funksjonalitet.

4. Forklaring av tabell

Som nevnt tidligere har vi konstruert tabeller eller kort for hver enkelt test. Disse tabellene inneholder en unik Test-ID som er identifikasjonen til den testen. Dette vil bli brukt til å gjenkjenne tabellen ved en senere anledning som i testrapportene. Testtype er da en annen klassifisering av selve testen og dens hensikt. Disse typene kan også tolkes som testnivåer. Tester kan bli utført på flere nivåer. Ved bruk av flere testtyper eller nivåer, kan man mer effektivt oppdage feil og mangler på tester som er tidlig i testperioden. Testene kan utføres raskt og parallelt med andre tester på et lavere nivå. Det vil også avdekke eventuelle feil ved hvert enkelt materiale og komponent. Høyt testnivå brukes ved integrering og systemnivå, der hele produktet testes.

Prioritet omhandler testens viktighet for at testen skal godkjennes. En test med A-prioritet må bli godkjent for å møte kundens krav. B-prioritet bør bli godkjent. C-prioritet kan bli godkjent. Dette vil også avgjøre om produktet er mulig å realisere eller ikke. Ved siden av prioritet finnes det krav-ID. Dette er da systemkrav som er relatert til den enkelte testen og disse kravene er da det testen prøver å verifisere. Kravene listet i hver av testkortene kan bli sporet til kravspesifikasjonsdokumentet hvor de opprinnelig ble definert. Kjernen av testkortet inneholder spesifikk informasjon om hva testen skal teste. Dette vil da gi en kort beskrivelse av hva testen skal gjøre for å teste de relaterte kravene. Deretter vil det beskrives hvordan man har tenkt til å utføre den spesifikke testen. Videre vil kortet inneholde en risiko som er knyttet til den enkelte testen og hva som kan gå galt under testing. Under risikobeskrivelsen finnes en liste av utstyr som trengs for å utføre testen som planlagt.

I bunnen av hvert testkort vil man kunne se hvor testen ble gjort. I vårt tilfelle vil dette variere mellom HSN og KDA. Tiden testen skal utføres vil også dokumenteres i bunnen. For å utføre testkortet, trenger man en sporings-ID fra testrapporten for å lett kunne finne fram til resultatet av testen. Resultatet vil bli dokumentert i et eget dokument kalt testrapport. Her vil den konkrete dato for testens utførelse finnes.

5. Testspesifikasjon

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-508	KK	A	K-203
<p>Hva: Multiverktøyet skal passe på enden av robotarm.</p> <p>Hvordan: Ved hjelp av teknisk data, vil gruppen designe en CAD-modell av festet til multiverktøyet.</p> <p>Risiko: Feilberegninger som fører til at delen ikke passer på robotarm.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC ▪ SolidWorks 			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-002	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-509	FEM	A	K-222
<p>Hva: Spindelfeste til multiverktøy skal tåle belastning på 115 N</p> <p>Hvordan: Kjøre FEM analyser av spindelfeste for multiverktøy med 115 N belastning.</p> <p>Risiko: Belastningen blir for stor i forhold til valg av material.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC ▪ Solidworks 			
Hvor: HSN	Når: Under Finite Element Method	Testrapport ID: TR-016	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-511	SAT	A	K-207, K-209
<p>Hva: Teste om spindelen har nok kraft for å bore og forsenke uten at den stopper opp.</p> <p>Hvordan: Teste systemet med spindelen for å se om den innfrir kravet.</p> <p>Risiko: Spindelen kan underprestere i forhold til hva som er oppgitt i databladet, slik at den stopper opp under operasjonen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ PC ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: HSN	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-018	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-512	KK	B	K-206
<p>Hva: Teste om spindelen har en rotasjonshastighet mellom 2000-6617 RPM for boring.</p> <p>Hvordan: Undersøke markedet for en spindel som innfrir kravet.</p> <p>Risiko: Spindelen kan underprestere i forhold til hva som er oppgitt i databladet.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC 			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-001	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-514	KK	C	K-205
Hva: Pris på multiverktøy kan ikke overstige et budsjett på 10000 kr.			
Hvordan: Lage ett prisbudsjett og fordele budsjettet på de forskjellige områdene.			
Risiko: Delene vi trenger er dyrere enn hva vi har budsjettet for, slik at vi overstiger 10.000 kr.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ PC			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-003	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-515	KK	B	K-214
Hva: Skjæreverktøy skal ha et material egenskap av HSS eller Karbid			
Hvordan: Ser i databladet til det aktuelle boret.			
Risiko: Boret har ikke de spesielle egenskapene.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ PC			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-004	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-518	KK	B	K-215, K-216
Hva: Boret og forsenkeren må klare å bore og forsenke uten kjølevæske.			
Hvordan: Ser i databladet til det aktuelle boret.			
Risiko: Datablad finnes ikke. Eller boret egner seg ikke for bruk under tørre forhold.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ PC			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-005, TR-006	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-520	KK	B	K-218
Hva: Bor med integrert forsenker.			
Hvordan: Å undersøke om det finnes alternativer for bor med integrert forsenker.			
Risiko: Finnes, men ikke med egenskaper som tilfredsstillende funksjonelle krav.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ PC			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-007	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-521	KK	A	K-201
Hva: Finne et bor med diameter \varnothing 6,650 mm \pm 0,02 mm			
Hvordan: Undersøke om det det finnes leverandører som tilbyr bor med riktig diameter.			
Risiko: Lang leveringstid.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ PC			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-008	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-522	KK	A	K-202
Hva: Forsenker må ha en vinkel på $100^\circ \pm 0,2^\circ$			
Hvordan: Undersøke forskjellige leverandører som leverer verktøy av høy kvalitet.			
Risiko: Verktøy er av dårlig kvalitet og er av materiale som blir fort slitt.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ PC			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-009	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-523	KK	A	K-204, K-220, K-221
<p>Hva: Multiverktøyet skal ha mulighet for å kunne bore, forsenke og probe.</p> <p>Hvordan: Sette sammen alle delene for multiverktøyet i en sammenstilling i SolidWorks. Kontrollere at alt passer sammen og er koblet sammen som de er ment.</p> <p>Risiko: Delen ikke passer sammen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC ▪ SolidWorks 			
Hvor: KDA	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-010	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-524	SAT	A	K-101
<p>Hva: Systemet blir kjørt hos arbeidsgiver. For å se om vi får borehulldiameter mellom Ø 6,604 – 6,680 mm.</p> <p>Hvordan: Kjører hele systemet for å lage hull. Måler hullet om den er innenfor kravet.</p> <p>Risiko: Bore kan knekke. Hullet kan bli større eller mindre enn kravet.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Systemet ▪ Arbeidsdel ▪ Bor 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-019	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-526	SAT	A	K-102
<p>Hva: Tester om systemet borer med vinkel som tilfredsstiller krav. Skal være $90^\circ \pm 2^\circ$ i forhold til overflaten.</p> <p>Hvordan: Etter en utført boringsprosess skal vi med målevektøy ta målinger av hullet(ene) som er boret.</p> <p>Risiko: Angrepsvinkelen på boringen overskrider $90^\circ \pm 2^\circ$.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ PC ▪ Måleverktøy for vinkel ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-021	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-529	SAT	A	K-105
<p>Hva: Tester om systemet forsenker med vinkel som tilfredsstiller krav. Skal være $90^\circ \pm 2^\circ$ i forhold til overflaten.</p> <p>Hvordan: Etter en utført boringsprosess skal vi med måleverktøy ta målinger av hullet(ene) som er boret.</p> <p>Risiko: Angrepsvinkelen på boringen overskrider $90^\circ \pm 2^\circ$.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ PC ▪ Måleverktøy ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-022	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-530	SAT	A	K-104
<p>Hva: Tester om forsenkningsdiameteren er mellom 13,360 – 13,970 mm.</p> <p>Hvordan: Først utføres en forsenkningsprosess. Deretter måles forsenkningsdiameteren med verktøy egnet til dette.</p> <p>Risiko: Dybden overskrider kravet. Vil påvirke flyets aerodynamiske egenskaper.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ PC ▪ Måleverktøy ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-023	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-531	SAT	B	K-106
<p>Hva: Systemet skal utføre en full boringsprosess.</p> <p>Hvordan: Boringsprosessen blir startet. Systemet kjører en full prosess.</p> <p>Risiko: Hullene blir ukorrekte. Resulterer i kassert del.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ PC ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-024	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-532	SAT	B	K-107
Hva: Systemet skal utføre en full forskningsprosess.			
Hvordan: Forskningsprosessen bli startet. Systemet kjører en full prosess.			
Risiko: Forskningsprosessene blir ukorrekte. Resultater i kassert del.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ PC▪ Arbeidsdel			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-025	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-533	SAT	A-C	K-307
Hva: Teste at vi klarer å feste arbeidsdelen innenfor A: 23,5 x 15 cmm, B: 20 x 13 cm og C: Samme posisjon hver gang.			
Hvordan: Måle om delen sitter innenfor kravet etter at den er festet.			
Risiko: Hvis vi ikke klarer å feste delen innenfor samme parameterne hver gang, kan dette føre til at systemet vårt ikke vil klare å utføre en operasjon.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ Arbeidsdel▪ Feste▪ Måle			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-026	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-534	SAT	A	K-204, K-220, K-221
<p>Hva: Multiverktøyet skal ha mulighet for å kunne bore, forsenke og probe.</p> <p>Hvordan: Sette sammen alle delene, visuelt kontrollere at alt passer sammen og er koblet sammen som de er ment. Kjøre en test der systemet prøver, borer og forsenker.</p> <p>Risiko: En del passer ikke, og vi må gjøre om på prototypen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ Verktøy▪ Arbeidsdel			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-027	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-536	SAT	A	K-217
<p>Hva: Multiverktøyet skal ikke overstige 9,43 kg.</p> <p>Hvordan: Veie multiverktøyet med verktøyene dens.</p> <p>Risiko: Multiverktøyet veier for mye, og vi må endre på enten materialet den er bygget opp av eller designet.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ Verktøy▪ Vekt			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-028	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-537	SAT	A	K-310
Hva: Flydelen består av 2 deler. Under operasjonen skal disse delene være låst opp mot hverandre.			
Hvordan: Låse delene fast sammen og bevege på den sammensatte delen og observere om det blir en bevegelse mellom dem.			
Risiko: Selv om de er låst sammen, så kan nøyaktigheten være for dårlig.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ Flydelene▪ Låsmekanismen			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-029	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-538	SAT	A	K-309
Hva: Teste rekkevidden til robotarmen i forhold til del.			
Hvordan: Sette opp arbeidsdel der den skal være plassert og visuelt inspisere hvor langt robotarmen rekker.			
Risiko: Robotarmen rekker ikke over hele arbeidsdel.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-030	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-539	SAT	A	K-301, K-302, K-303, K-304, K-305, K-306
<p>Hva: Teste om delen som skal bores er låst fast i alle aksene (XYZ og WPR).</p> <p>Hvordan: Når delene er låst fast mellom dem skal de være låst i alle aksene under bore- og forsenningsoperasjonen. Ved å måle verdiene på hullene og forsennkingene kan vi garantere oss om at delen har vært låst under hele operasjonen.</p> <p>Risiko: Hvis ikke delen er låst skikkelig, vil vi få feil hull og forsennking, slik at en verdifull del vil bli kassert.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-031	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-540	SAT	A	K-211, K-210
<p>Hva: Teste om det er kast i spesialverktøyet.</p> <p>Hvordan: Montere boret med forsenkeren på spindelen og måle med måleverktøy om det er noe kast, eventuelt hvor mye.</p> <p>Risiko: Vi får utkast, slik at forsenkingen får uønsket parametere.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel ▪ Målingsverktøy 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-032	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-542	SAT	A	K-203
<p>Hva: Teste om multiverktøy kan festes på robotarmen.</p> <p>Hvordan: Feste multiverktøy til robotarm og visuell inspisere.</p> <p>Risiko: Multiverktøyet passer ikke robotarm, vi må redesigne multiverktøy og lage ny prototype.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-033	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-543	SAT	A	K-112
<p>Hva: Systemet blir kjørt. Borehullsenter skal ha avvik fra optimalt senterpunkt mindre enn 0,2032 mm.</p> <p>Hvordan: Systemet blir kjørt og den borer ett hull. Hullet blir målt om den har riktig posisjon.</p> <p>Risiko: Hullet har feil posisjon. Delen blir kassert.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel ▪ Måleverktøy 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-034	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-544	SAT	A	K-117
<p>Hva: Teste om systemet skader delen vi opererer på.</p> <p>Hvordan: Se etter visuelle skader og se om delen kommer igjennom godkjenningen.</p> <p>Risiko: Systemet skader delen, slik at den blir kassert.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-035	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-545	SAT	A	K-118
<p>Hva: Teste om naglehode er 0,08 – 0,48 mm under overflaten.</p> <p>Hvordan: Måle dybden etter at naglene har blitt skutt på plass, for å se om vi innfrir kravet.</p> <p>Risiko: Naglene stikker ut, og delen blir kassert.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel ▪ Nagle 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-036	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-546	SAT	A	K-103
<p>Hva: Teste om forsenkningen har riktig grad som er $100^\circ \pm 0,5^\circ$</p> <p>Hvordan: Måler vinkelen etter at systemet har forsenket.</p> <p>Risiko: Vinkelen blir feil og delen blir kassert.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-037	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-547	SAT	A	K-116
<p>Hva: Teste om systemet klarer å bore en dybde på 8,128 mm som er gjennomgående.</p> <p>Hvordan: Måler om boret klarer å bore gjennom begge delene.</p> <p>Risiko: Hvis ikke boret kommer igjennom blir ikke delen riktig for bruk.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel 			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-038	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-548	KK	B	K-208
<p>Hva: Teste om spindelen har en rotasjonshastighet mellom 600-1000 RPM for forsenking.</p> <p>Hvordan: Undersøke markedet for en spindel som innfrir kravet.</p> <p>Risiko: Spindelen kan underprestere i forhold til hva som er oppgitt i databladet.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC 			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-011	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-549	KK	A	P-101
<p>Hva: Tuppen av probepinne som skal inn i det forborede hullet, kan maksimum være 0,07 mm mindre enn det forborede hullet som er 5,59 mm.</p> <p>Hvordan: Design etter kravene. Måle probepinnen når den er ferdig produsert.</p> <p>Risiko: Hvis probepinnen blir for liten i forhold til hullet, vil posisjoneringen ha for stor avvik og prosessen vår vil feile.</p> <p>Utstyr: SolidWorks Måleverktøy</p>			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-012	

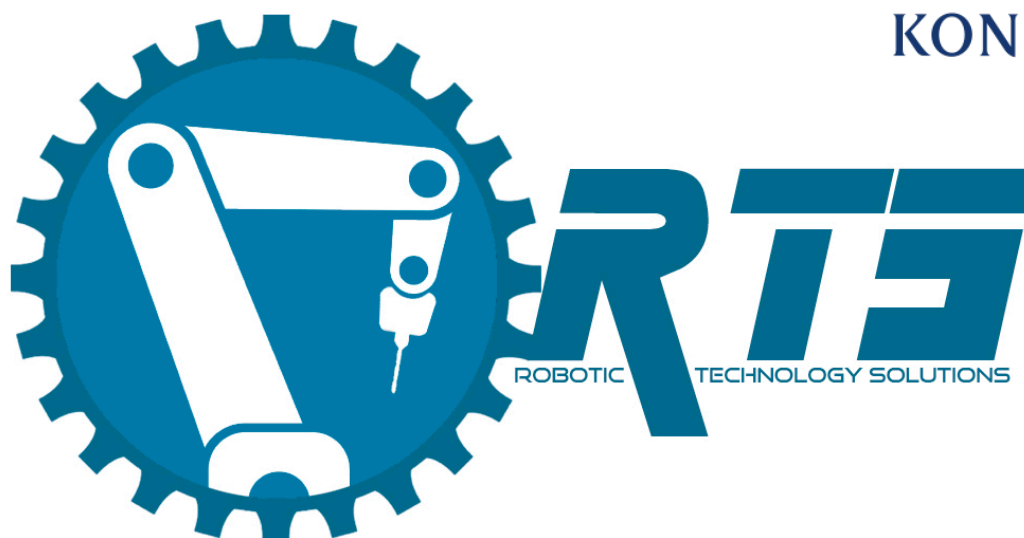
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-550	KK	A	P-102
<p>Hva: Kontaktflaten mellom probepinnen og arbeidsoverflaten skal ha en diameter som er større en det ferdige forsenkede hullet altså større en 13,970 mm.</p> <p>Hvordan: Design etter kravene. Måle probepinnen når den er ferdig produsert.</p> <p>Risiko: Hvis denne diameteren er mindre enn det den skal være, kan dette føre til at systemet vårt ikke vil klare å operere innenfor kravene.</p> <p>Utstyr: SolidWorks Måleverktøy</p>			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-013	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-551	KK	B	P-103
Hva: Tuppen av probepinnen som skal ned i hullet skal ha en lengde på minst 8,128 mm			
Hvordan: Design etter kravene. Måle probepinnen når den er ferdig produsert.			
Risiko: Hvis lengden blir for kort vil vi ikke sentrere probepinnen i forhold til helle hullet. Dette vil føre til at prosessen vår kan gi feil resultat.			
Utstyr: SolidWorks Måleverktøy			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-014	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-552	KK	A	P-104
Hva: Probepinnen skal være låst i sin posisjon, når den er festet til probefeste.			
Hvordan: Design etter kravene. Feste probepinnen til probefeste og sjekke visuelt om delen er låst mot hverandre.			
Risiko: Hvis probepinnen beveger seg under prosessen vil det gi negativ effekt på prosessen.			
Utstyr: Probefeste Probepinne Umbrako nøkkel Skure			
Hvor: HSN	Når: Under Kvalitetskontroll	Testrapport ID: TR-015	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-553	FEM	A	P-105
Hva: Probepinnen og probefestet skal tåle en belastning på 50 N.			
Hvordan: Etter å ha designet disse delene vil vi kjøre FEM analyse på dem, slik at vi kan garantere at disse delene vil tåle denne belastningen.			
Risiko: Risikoen er at første design kan være for dårlig og at vi må endre på dimensjonene av delene vi skal produsere.			
Utstyr: SolidWorks			
Hvor: HSN	Når: Under FEM	Testrapport ID: TR-017	

Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-554	SAT	A	K-308
Hva: Delene skal festes innenfor A: 20°, B: 10°, C: 0°, av optimal rotasjonsvinkel for hver operasjon.			
Hvordan: Sette opp arbeidsdel der den skal være plassert flere ganger og måle for hver gang. Slik at vi kan se hvor gjentagende og nøyaktig delen kan bli plassert.			
Risiko: Robotarmen rekker ikke over hele arbeidsdel.			
Utstyr: <ul style="list-style-type: none">▪ Feste▪ Arbeidsdel▪ System			
Hvor: KDA	Når: Under Site acceptance test	Testrapport ID: TR-39	



Teknologidokument		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Aliihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	22.03.2017	Første offisielle versjon
2.00	23.05.2017	Andre offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	4
2. Robotarm	5
2.1. FANUC M-10iA	5
2.2. Fanuc M-10iA/10S	5
2.2.1. Robotkontrolleren R-30iB	7
2.2.2. Teach pendant (iPendant)	10
2.3. Konklusjon	11
3. Roboguide og TP-programmering	12
3.1. Generelt om Roboguide	12
3.2. Oppstart	13
3.3. Frames	13
3.3.1. World Frame	14
3.3.2. User Frame	14
3.3.3. Tool Frame	15
3.4. Funksjoner i TP-programmering	16
3.4.1. Programmering av enkel bane	16
3.4.2. Globale punkter	18
3.4.3. Math functions	18
3.4.4. Programmering av kraftsensorfunksjoner	19
3.4.5. Programmering av visionfunksjoner	19
3.4.6. Kalle programmer	19
4. Kraftsensor	20
4.1. Hvorfor trenger vi en kraftsensor?	20
4.2. Funksjoner	20
4.3. Vår bruk av kraftsensoren	22
4.4. Fanuc FS-15iA	23
4.5. Konklusjon	23
5. «iRVision»	24
5.1. «Vision»-prosesser	25
5.1.1. 2D Single view vision process	25
5.1.2. 2D multi-view vision process	25
5.1.3. Depalletizing vision process	25
5.1.4. 2D Calibration-free vision process	25
5.1.5. Single view visual tracking	26
5.1.6. Single view inspection vision process	26
5.1.7. Reader vision process	26
5.2. Sony XC-56	26
5.3. Tamron 12VM1040ASIR	27
6. Probing	28
6.1. Utfordringer og nødvendig informasjon	28
6.1.1. Utfordring 1: Delens og hullenes posisjon	28
6.1.2. Utfordring 2: Midtpunkt til hullene	28
6.1.3. Utfordring 3: Høyde av flaten rundt hullene	28
6.1.4. Utfordring 4: Vinkelrotasjon i forhold til overflaten til hullet	29
6.1.5. Utfordring 5: Sette nøyaktig TCP	29

6.2.	<i>Probemetoder</i>	30
6.2.1.	3D iRVision	30
6.2.2.	2D iRVision	30
6.2.3.	Kontaktprobing	31
6.2.4.	Valg av probemetode	32
6.3.	<i>Probeverktøy</i>	33
6.3.1.	Klassisk probeverktøy	33
6.3.2.	Insertion probe 1 (IP1)	33
6.3.3.	Insertion probe 2 (IP2)	34
6.3.4.	Valg av probeverktøy	34
6.4.	<i>Probeprosesser</i>	36
6.4.1.	Probeprosesser som vil feile	36
6.4.1.	Prosesser for testing	37
6.4.3.	Fullstendige probeprosesser	38
6.4.4.	Valg av probeprosesser	40
6.5.	<i>Ekstra tiltak for å oppnå krav</i>	40
7.	Arbeidskomponent	42
7.1.	<i>Arbeidsmaterialet</i>	42
7.1.1.	Egenskaper	42
7.1.2.	Metallets toleranser og dimensjoner	42
7.1.3.	Festing av arbeidskomponent	42
7.1.4.	Testdel	43
7.1.5.	Hvorfor lage testdel?	43
8.	Multiverktøy (ekskludert probing)	44
8.1.	<i>Spindel/Motor</i>	44
8.1.1.	Hvorfor trenger vi spindel/motor?	44
8.1.2.	Elektrisk spindel	44
8.1.3.	Luftspindel	49
8.1.4.	Ting å ta i betraktning	57
8.2.	<i>Valg av spindel</i>	58
8.3.	<i>Bor/Forsenker</i>	59
8.3.1.	Hvorfor bor og forsenker?	60
8.3.2.	Type	60
8.4.	<i>Collet/Chuck</i>	61
8.4.1.	Chuck	61
8.4.2.	Collet	62
8.4.3.	Hvorfor collet/chuck?	63
8.4.4.	Ting å ta i betraktning	64
8.5.	<i>Montering av verktøy</i>	64
8.5.1.	Monteringsalternativer	64
8.5.2.	Ting å ta i betraktning	65
8.6.	<i>Pneumatisk solenoid ventil</i>	66
9.	Teknologi Programmer	67
9.1.	<i>SolidWorks</i>	67
10.	Kilder	68

1. Innledning

For prosjektet vårt er det mye tid som vil gå til forskning og analyse av forskjellige produkter, komponenter og metoder som kan bli implementert i vårt system for å tilfredsstille kravene i spesifikasjonene. Det er derfor viktig å ha et dokument som forsøker å samle disse områdene og gi et strukturert oppsett av forskning, analyse og konklusjoner gjort ut ifra dette. Dokumentet vil primært inneholde informasjon innhentet, kalkulert og vurdert for arbeidskomponent, spindel, verktøy, festemetoder, probing, kraftsensor, robotarm osv. Alt av denne informasjonen vil bidra til fremdrift i prosjektet og hjelpe til å dra konklusjoner mellom varierende konkurrenter i de forskjellige områdene av systemet vårt.

2. Robotarm

2.1. FANUC M-10iA

Fanuc M-10iA serien er et utvalg med relativt små men kraftige roboter. Disse robotene har en høy aksefart og akseakselerasjon som resulterer i raske «håndleddsbevegelser». De kan monteres på vegg, tak og på gulv noe som gjør den fleksibel i forhold til det formålet roboten skal brukes til. Fanuc sine M-10iA roboter er designet for å kunne utføre arbeid i små omgivelser. M-10iA robotene er også svært presise hvor de har stor nøyaktighet. Roboten og kontrolleren (R-30iB) er koblet sammen via kun en kabel noe som gir et kjappere oppsett, mindre ekstradelere/kabler og lettere vedlikehold. Integreert i roboten kommer det utstyr med 2D visjonskabel som går gjennom robotarmen (gjelder generelt for M-10iA serien, ikke vår robot), som gjør det mulig å sette opp ir-visjon, den er også paret med R-30iA kontrolleren og «teach pendant». [37]



Figur 2.1.1: M-10iA[49]

2.2. Fanuc M-10iA/10S

Kongsberg Defence and Aerospace (KDA) har kjøpt inn en robotarm av typen Fanuc robot M-10iA/10S. Robotarmen har en rekkevidde på 1098 mm, tyngde på 130 kg og kan bære en nyttelast opp til 10 kg. Siden vi skal ha en kraftsensor av typen FS-15iA, som KDA har kjøpt inn, kan vi ikke overstige en vekt på 9,43 kg i vårt design av multiverktøyet da kraftsensoren veier 0,57 kg. Selv om vi skal ha roboten montert på gulvet kan den også vegg- og takmonteres. Armen har noen nøkkelegenskaper som kan være avgjørende med tanke på at den skal bore og forsenke med veldig små feilmarginer. Den har seks frihetsgrader, altså seks akser, dette gjør den fleksibel i bevegelser og kan være avgjørende for at den skal kunne bevege seg i riktig posisjon til alle hullene den skal bore og forsenke i. Robotarmen har også en feilmargin på kun $\pm 0,05$ mm. Den har i tillegg integreert luft og elektriske tilkoblingsmuligheter fra J1 til J3 som kan kobles til et EOAT (end of arm tooling). [36]

Tabell 2.2.1: M-10iA/10S spesifikasjoner

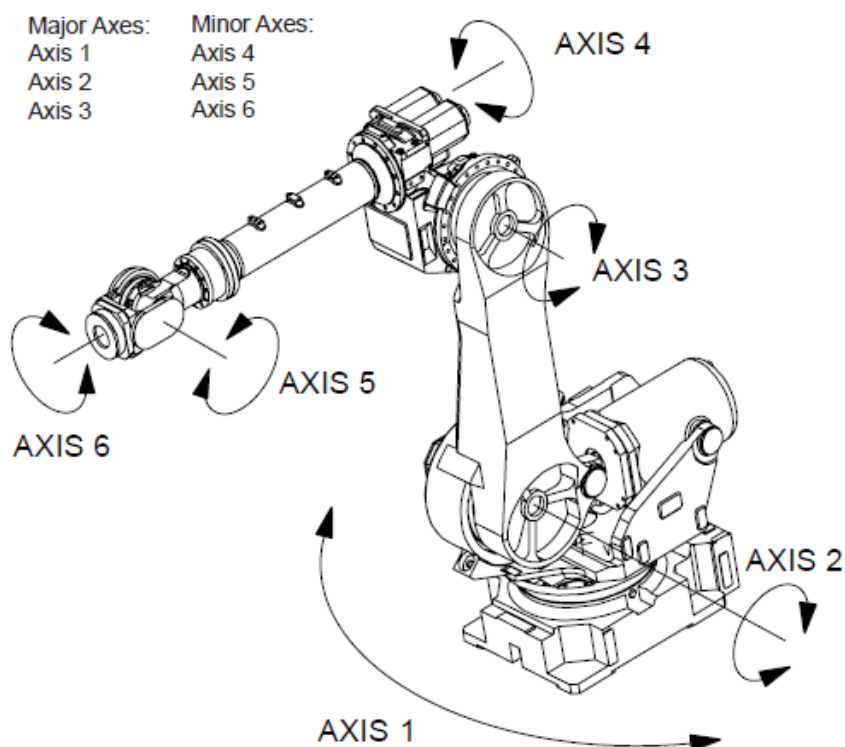
Spesifikasjoner Fanuc M-10iA/10S	
Kontrollerte akser	6
Nyttelast	10 kg
Rekkevidde	1098 mm
Repeterbarhet	±0,05 mm
Mekanisk vekt	130 kg
Mekaniske bremsere	Alle akser
Monteringsalternativer	Vegg, tak og gulv
Temperatur	0-45°C
Luftfuktighet	Normalt: 75% eller mindre Korttids: 95% eller mindre, ingen kondens
Vibrasjoner m/s ² (G)	4,9 eller mindre (0,5G eller mindre)



Figur 2.2.1: Fanuc M-10iA/10S[48]

Tabell 2.2.2: M-10iA/10S bevegelse restriksjoner

Bevegelser Fanuc M-10iA/10S				
Ledd	Bevegelsesspekter (°)	Bevegelseshastighet (°/s)	Moment «håndledd» (Nm)	Treghet «håndledd» (kgm ²)
J1	340	220	-	-
J2	250	230	-	-
J3	340 (kombinasjon av J2 og J3)	270	-	-
J4	380	410	22	0,63
J5	380	410	22	0,63
J6	720	610	9,8	0,15



Figur 2.2.2: M-10iA bevegelser i ledd [39]

I figur 2.2.2 vises det hvordan de forskjellige leddene kan bevege seg og i tabellen over vises det med hvor mange grader leddene kan bevege seg. Figur 2.2.2 er en illustrasjon av bevegelsene til vår robotarm, men roboten i denne figuren er ikke identisk med vår M-10iA/10S. Sammen med tabellen viser figuren et helhetlig bilde av hvordan robotens bevegelsesmuligheter er sammensatt. [39]

2.2.1. Robotkontrolleren R-30iB

Som nevnt tidligere kommer roboten med en kontroller R-30iB. I forhold til de nyere kontrollere laget for Fanuc sine CNC-maskiner er robotkontrollerne de lager mindre og mer kompakte. R-30iB kontrolleren har også blitt mer energieffektive og de krever mindre strømforbruk enn tidligere modeller. Kontrolleren og robotarmen er også som nevnt tidligere koblet sammen via en enkel kabel. Softwaren som blir brukt til kontrolleren er også Fanuc sitt eget software, på denne måten slipper man å bekymre seg over eventuelle virus og hacking problemer. [38]

Tabell 2.2.1.1: R-30iB Spesifikasjoner

Spesifikasjoner R-30iB kontroller	
Romtemperatur	0-45°C
Luftfuktighet	75% eller mindre, ingen konsens
Vibrasjoner	0,5G eller mindre
Strømforsyning	480V 3-fase, 575V valgfritt
Kommunikasjonsporter	To 100 Base-TX/10 Base-T Ethernet porter USB porter RS-232
Remote I/O	DeviceNet Profibus DP slave master Ethernet I/O (EGD og EIP) Interbus (Master og slave) CC-Link (Slave) Profinet FL-Net
Sikkerhets I/O	2in/2 out Cat.4 PL(e) SIL 3 (Safety integrity level)

Som vist i figur 2.2.1.1. kan man se at kontrollboksen har en stor rød nødstopknapp, noe som er viktig med tanke på sikkerheten på systemet. Trykker man på denne knappen stopper robotens bevegelser med en gang. Det finnes også en nødstopknapp på teach pendanten som fungerer på samme måte. R-30iB har også en «mode switch» som har tre forskjellige innstillinger roboten kan arbeide i ut ifra hvilken situasjon den skal brukes i. Når man bytter innstilling på «mode switchen» blir roboten satt på pause og man får beskjed på «teach pendanten». [39]

Tabell 2.2.1.2: Oversikt over input muligheter

Knapp på kontrollboksen	Hva knappen gjør
Nødstopknappen	Stopper roboten med en gang. For å slå av nødstopknappen vri med klokken
«Fault reset» knappen	Denne knappen vil lyse dersom en alarm er utløst
«Cycle starte» knappen	Denne knappen starter det valgte programmet. Knappen lyser når programmet starter

«Mode Switch»

«Mode Switchen» har tre forskjellige innstillinger T1, T2 og «Auto mode».

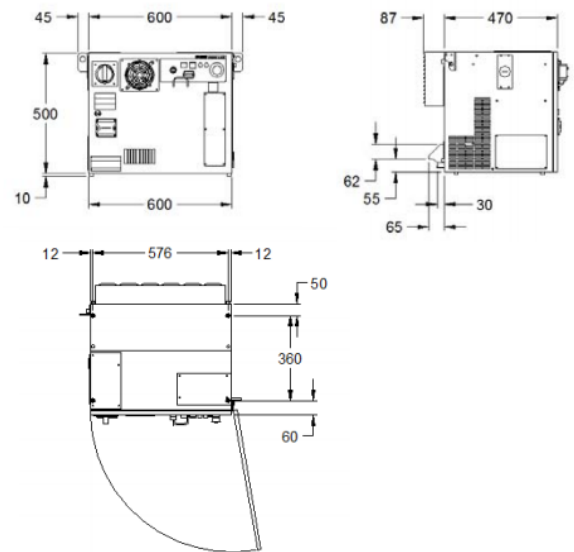
Tabell 2.2.1.3: *Switch input* [39]

T1 (Test Mode 1)	<p>Dette programmet kan kun bli aktivert fra «Teach pendant».</p> <p>Robotens hastighet:</p> <ul style="list-style-type: none">• Under «jogging» av roboten må farten være mindre enn 250mm/s og «joint» farten mindre enn 10% av maksimum «joint» fart.• Hvis programmets hastighet er mindre enn T1 sin sikkerhetskraft vil testkjøringen være på 100% samme hastighet. Hvis ikke vil hastighetene senkes til 250mm/s.
T2 (Test Mode 2)	<p>Dette programmet kan kun bli aktivert fra «Teach pendant».</p> <p>Robotens hastighet:</p> <ul style="list-style-type: none">• Under «jogging» av roboten, må farten være mindre enn 250mm/s og «joint» farten er mindre enn 10% av maksimum «joint» fart.• Under programmets testkjøring kan man kjøre programmet i full hastighet.
«Auto Mode»	<p>Dette programmet kan IKKE bli startet fra «Teach pendant».</p> <p>Robotens hastighet:</p> <ul style="list-style-type: none">• Roboten kan kjøre på maksimal definert hastighet <p>Sikkerhetsutstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">• Sikkerhetsgjerdet må kontrolleres, dersom det er åpnet mens programmet kjører vil roboten stoppe.



Figur 2.2.1.1: R-30iB kontrollert med iPendant [39]

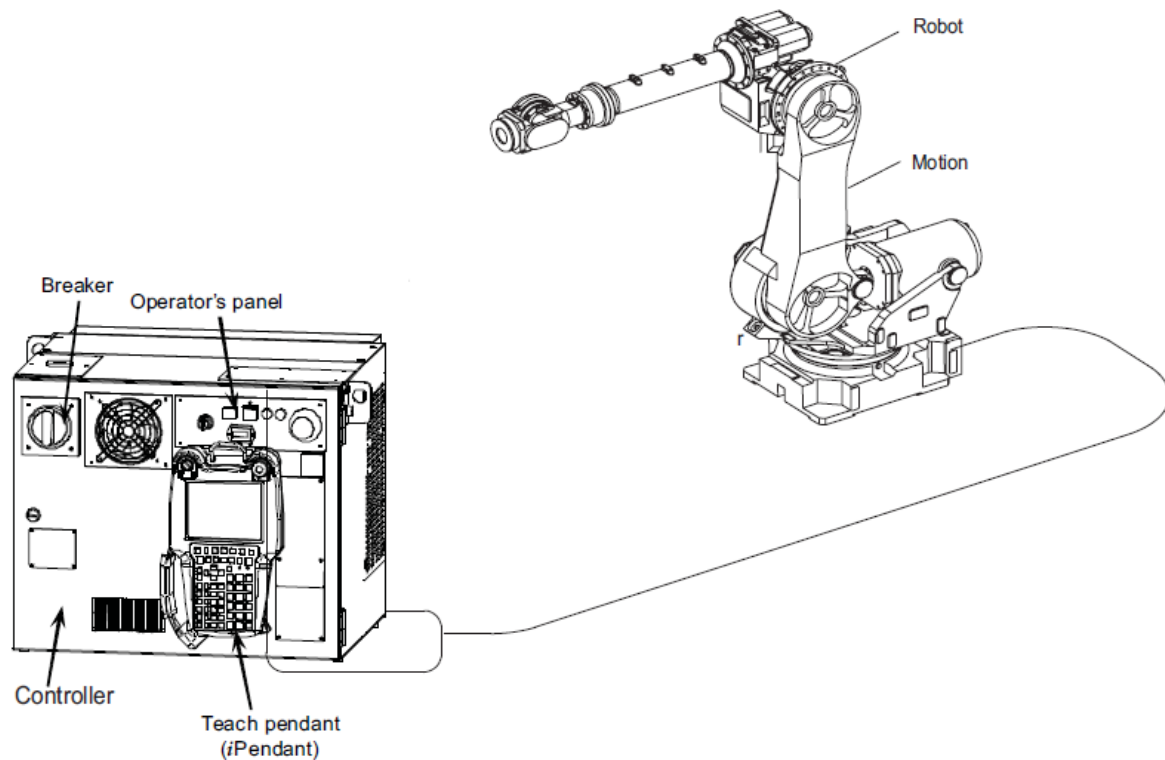
A-cabinet



Figur 2.2.1.2: Footprint av kontrollkabinettet [39]

2.2.2. Teach pendant (iPendant)

Robotkontrolleren kommer med en iPendant/teach pendant som skal være lett å bruke. Den har en berøringsskjerm med 4D-grafikk som viser prosessinformasjon og en faktisk prosessbane på selve iPendantskjermen, noe som gjør det enklere å sette opp systemet. Det er fra iPendant man kan styre og sette opp robotens bane og dens brukerfunksjoner. Ved bruk av iPendant Touch kan operatøren visualisere definerte sikkerhetssoner og bekrefte disse fra et 3D perspektiv utenfor robotens rekkevidde og arbeidsområde. «Dual Check Safety» DCS er en smart integrert software designet for å ivareta sikkerheten til operatøren, roboten og verktøyene. Ved å flytte noen av sikkerhetsfunksjonene inni roboten kan man spare gulvplass, fleksibilitet for systemets oppsett, redusere hardwarekostnader og forbedre påliteligheten til roboten. Tech pendanten har også en dødmannsknapp på baksiden som må holdes inne når roboten er i bevegelse. Hvis dødmannsknappen slippes eller trykkes ekstra hardt vil roboten stoppe sine bevegelser.



Figur 2.2.2.1: R-30iB, Teach pendant og en generell robot fra M-10iA serien [39]

2.3. Konklusjon

Dette er en robotarm som KDA har kjøpt inn på forhånd. M-10iA/10S er en svært presis robot som har en repeterbarhet på $\pm 0,05$ mm. Dette er noe vi er avhengig av for å kunne bevise at det å robotisere prosessen kan fungere selv med de «trange» kravene til boring og forsenkning i flystrukturen. Roboten og kontrolleren (R-30iB) er også relativt små og kompakte slik at den passer godt inn i rommet den skal være plassert. Denne roboten vil også være med å hjelpe å gjøre prosessen mer HMS vennlig, tids- og kostbesparende.

3. Roboguide og TP-programmering

3.1. Generelt om Roboguide

Roboguide (heretter RG) er et simuleringsprogram for roboter, utviklet av Fanuc. Det er et videreutviklet softwaren av deres tidligere «FANUCWorks». RG har en mye lettere brukergrensesnitt enn sin forgjenger og kommer i flere utgaver. For roboter som skal sveise brukes WeldingPRO, for malende roboter benyttes PaintPRO og for håndterende roboter som i vårt tilfelle, brukes HandlingPRO.

En av programvarens hovedegenskaper er at det skal være å lett kunne konstruere et arbeidsområde uten å faktisk gjøre det i virkeligheten. Dette er en billig måte å verifisere systemets oppsett. Med dette kan en tilse at kollisjoner blir unngått og at roboten er satt opp på en hensiktsmessig måte. Som vi ser av figur 3.1.1 kan arbeidscellen i RG representere den virkelige meget presist. Dette krever at alle mål og plasseringer er så nøyaktige som mulig.

RG brukes ofte til estimering og optimalisering av tid, og kan derfor bestemme hvor rask en produksjon går. Det er en liten investering med høy avkastning.

I dette prosjektet vil vi bruke roboguide til å lære oss om roboten, kontrolleren og programmering i Teach Pendant (heretter TP). Vi kan utføre programmeringen i TP og kjøre programmet i roboguide, for å deretter laste opp programmet i den virkelige roboten.

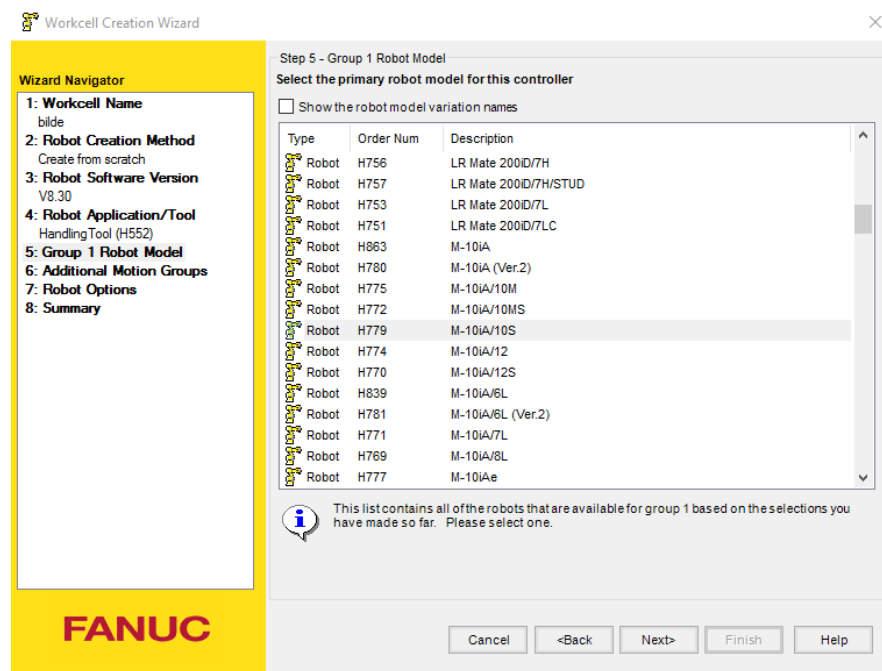
Det eneste negative vi har opplevd med programvaren er at den ikke simulerer fysikk, så den kjenner ikke krefter eller kollisjoner. Da kraftsensoren har en essensiell brukerfunksjon i dette prosjekter er det uheldig. Utfallet av oppdagelsen medfører at vi ikke får simulert den fullstendige prosessen i roboguide, og trenger dermed mer tid med roboten til å teste funksjoner til kraftsensoren.



Figur 3.1.1: RoboGuide vs virkeligheten.

3.2. Oppstart

Oppstarten av programmet er kanskje den enkleste delen, men her er det viktig å holde tunga rett i munnen for å velge rett robot og tilleggsfunksjoner.



Figur 3.1.2: Oppstart av programmet

3.3. Frames

En «frame» er et sett av tre plan som står vinkelrett på hverandre. Punktet hvor disse tre møtes danner et origo i det kartetiske koordinatsystemet. Så hvorfor er dette med Frames så viktig for oss?

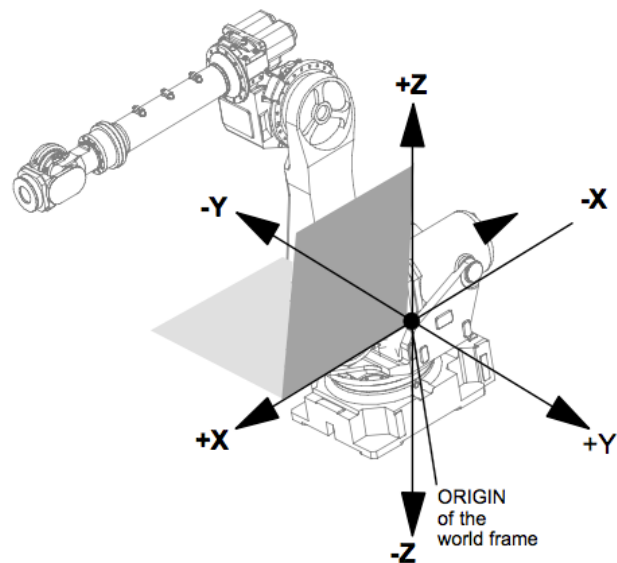
Vi bruker frames for å beskrive posisjon og orientering av et punkt. Lokasjonen er definert som avstander i x-, y- og z-retninger ut ifra referanseframens origo. Orientering er x-,y- og z-aksens rotasjon, og er kronologisk definert som w, p og r. Det vil si at når et punkt er satt, vil det automatisk bli vist med x, y, z, w, p og r i forhold til origoet til den aktuelle framen som brukes som referanse. Merk at:

- x, y, z har verdier i millimeter
- w, p, r har verdier i grader

Det finnes flere varianter av «frames», men vi er kun interessert i tre av de: World-, user- og tool- «frame».

3.3.1. World Frame

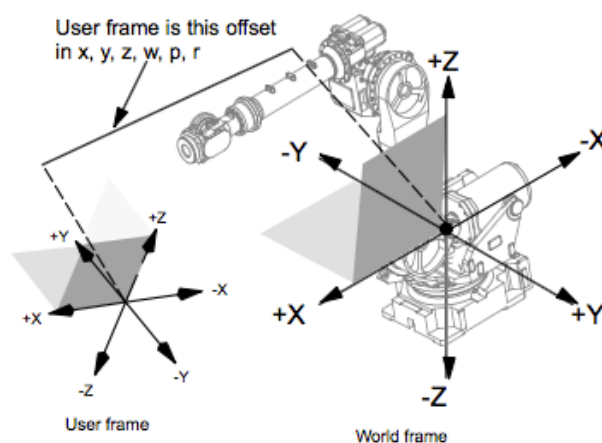
Dette er en frame som ikke kan endres, fordi det er robotens egen frame. World framen er standard og er referanseposisjonen for user frames. Den er ofte litt over basen til roboten.



Figur 3.3.1.1: Illustrasjon av «World Frame»[39]

3.3.2. User Frame

En user frame (heretter Uframe) er en egendefinert frame som kan plasseres i enhver lokasjon, med enhver orientering, som vist i figur 3.3.2.1.

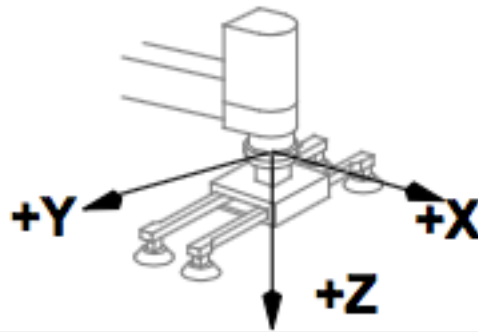


Figur 3.3.2.1: Eksempel på uframe vs world frame[39]

3.3.3. Tool Frame

Dette er et kartetisk koordinatsystem som er plassert på enden av verktøyet roboten bruker (EOAT). Dette punktet blir referert til som Tool Center Point (heretter TCP), og er viktig i jobber som sveising, boring, og maling for å nevne noen.

Fremgangsmåten for å sette opp en Tool Frame kan gjøres på forskjellige måter. Den første og enkleste metoden kan gjøres uten TP, men egner seg ut for RG-bruk. Her kan en dra koordinatsystemet manuelt til ønsket posisjon.



Figur 3.3.3.1: Standardposisjon TCP[39]

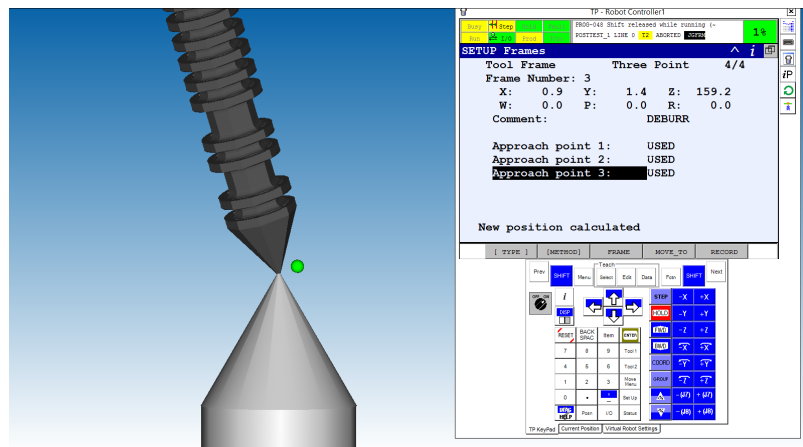
De metodene som blir brukt er de som kan gjøres via iPendanten. Noen av disse er «Direct entry method», «Three point method» og «Six point method»

«Direct entry» kan brukes om man vet de eksakte målene på delen, da er det bare å skrive inn x, y, z, w, p og r verdier ut fra robotens endeplate.

«Three point method» bruker tre punkter for å definere lokasjonen av tool ramen. Merk at +z-retning alltid vil være ut fra armens endeplate, som vist i figur 3.3.3.1.

«Six point method» blir brukt for å finne lokasjon og orientering. Dette er til fordel om verktøyets ende ikke står vertikalt på armens endeplate, som for eksempel en sveisepistol.

Figur 3.3.3.2 viser ferdig utførelse av «Three point method». Som beskrevet over blir det registrert tre punkter. Den mørke spissen av verktøyet berører den lyse fastmonterte spissen fra forskjellige vinkler. Ut i fra dette danner den seg et TCP, som i dette tilfellet ikke var veldig nøyaktig, men dette skyldes uregelmessigheter i fremgangsmetoden.



Figur 3.3.3.2: Oppsett av TCP

Unøyaktighetene kan sees

både på den grønne prikken på høyre side, men også x- og y-verdiene (mm) på TPen. Optimalt sett ville x og y vært lik 0, og z hatt samme verdi som nå.

3.4. Funksjoner i TP-programmering

Fanucs TP programmeringsspråk er et enkelt språk å lære seg å programmerer roboter i. Den gjør det enkelt å programmere bane, og har flere innebygde funksjoner som gjør det mulig å programmere fullstendige prosesser kun i TP. Her vil vi se på hvilke funksjoner vi har i TP.

3.4.1. Programmering av enkel bane

Første steg i ethvert program burde være å definere hvilken Uframe og Utool som brukes. Utool er det kartetiske koordinatsystemet som er plassert på TCPen til robotens verktøy. Har roboten flere verktøy, trenger vi flere TCPer og dermed har vi flere Utool.

Etter Uframe og Utool er satt, kan vi sette et punkt roboten skal gå til. Dette gjøres ved enten å bevege roboten til ønsket posisjon for å så ta opp («record») posisjonen, eller skrive inn posisjonen manuelt. Posisjonen er da i forhold til Uramen og Utoolen som er aktivt når punktet blir laget. Koordinatene til et punkt ser ut som vist på figur 3.4.1.1.

P[1]	UF:2	UT:1			CONF:NUT	000
X	47.018	mm	W		-135.098	deg
Y	-54.829	mm	P		3.343	deg
Z	-4.123	mm	R		86.651	deg

Figur 3.4.1.1: koordinater til punkt.

Når vi programmerer bane, skriver vi inn punkter etter hverandre og roboten beveger seg til disse punktene. Dette er vist i figur 3.4.1.2.

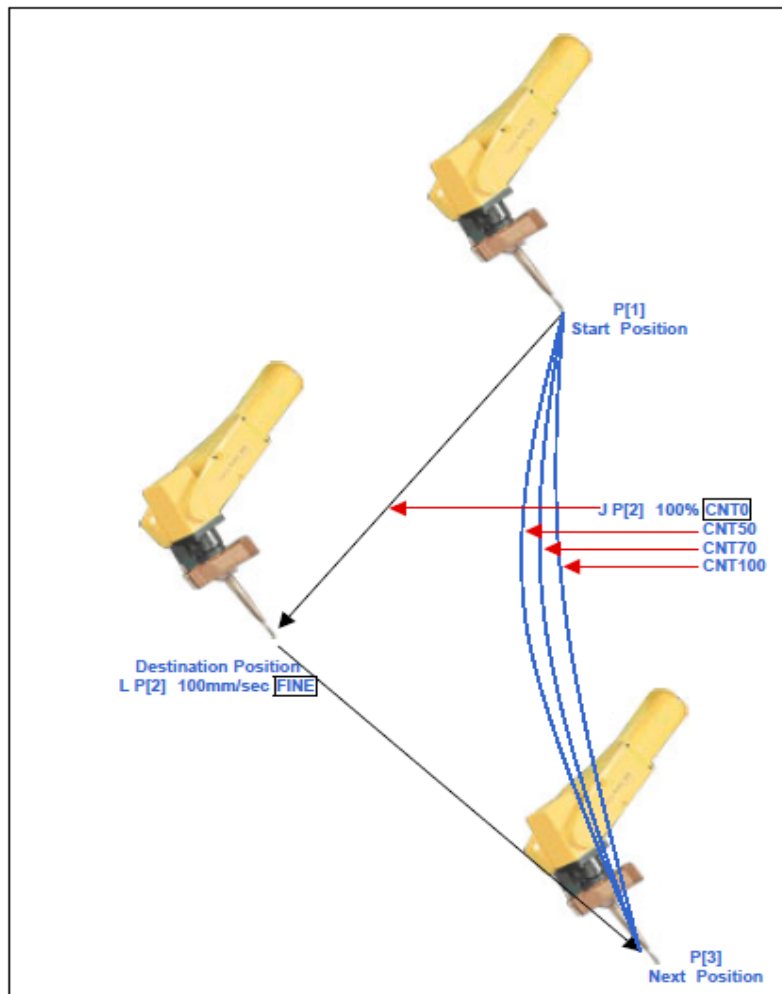
```
TEST1
1:  UFRAME_NUM=0
2:  UTOOL_NUM=1
3:L @P[1] 100mm/sec FINE
4:J @P[2] 10% CNT100
5:C @P[3]
   :  P[...] 100mm/sec FINE
6:A P[4] 100mm/sec FINE
[End]
```

Figur 3.4.1.2: Enkel bane.

På figuren over ser vi også bevegelsestypene som er tilgjengelig. L er lineær bevegelse, J er akselvis bevegelse (joint motion), C er sirkulær bevegelse og A er sirkuler bue bevegelse. L og J er mest brukt. Ulempen med lineær bevegelse er at en av akslene kan komme til sin grense, da vil den ikke kunne flytte seg videre og vi får «singularity error», som betyr at roboten ikke klarer å bevege seg videre mot punktet. Her har J, akselvis bevegelse, en fordel ved at den beveger hver aksel for å nå punktet på en raskere og ulineær måte, det vil da ikke oppstå noen «singularity error» så lenge punktet ligger innen rekkevidde til roboten. L, lineær bevegelse

oppgis i mm/sec, mens J, akselvis bevegelse oppgis i prosent (%) av robotens maksimale hastighet.

Vi velger også om bevegelsen skal være FINE eller CNT. Setter vi FINE, må roboten gå til nøyaktige posisjonen til punktet vi har programmert inn og stanse før den går videre. Velger vi CNT vil roboten runde av posisjonene og gå videre mot neste posisjon uten å stoppe. Vi kan her velge mellom 0-100, hvor 100 gir størst avrunding. Dette er vist i figur 3.4.1.3.



Figur 3.4.1.3: FINE og CNT bevegelse[39]

3.4.2. Globale punkter

Det finnes både globale og lokale punkter. Lokale punkter er de vanlige punktene hvor det kun står P[x]. Disse punktene er kun lagret i det spesifikke programmet de ble lagret i. Globale punkter derimot blir referert til som PR[x]. Disse punktene er lagret globalt i et posisjonsregister. PR[x] punktene kan dermed hentes inn i et hvilket som helst program, noe som kan være til stor fordel for ofte brukte posisjoner.

```

TEST1

1:L @P[1] 100mm/sec FINE
2:L PR[50] 100mm/sec FINE

[End]

```

Figur 3.4.2.1: Lokalt og globalt punkt

En forskjell mellom lokale punkter P[x] og globale PR[x] punkter er at de lokale punktene er alltid lagret i forhold til en spesifikk Uframe og et spesifikt Utool, det betyr at er det feil Utool eller feil Uframe aktiv, så vil den ikke klare å gå til punktet. PR fungerer derimot for alle Uframes og Utools. Bruker du et PR punkt i koden vil den bruke det aktive Utoolet og den aktive Uframen til å bevege seg til de koordinatene.

For eksempel, beveger du deg til et PR punkt med koordinater (0,0,0,0,0,0), så vil roboten bevege TCPen til den aktive Utoolen til origo av den aktive Uframen. Dette gjør den uansett hvor uframen er i rommet, så lenge posisjonen er innen rekkevidde.

3.4.3. Math functions

Det kan være interessant å kunne bruke trigonometriske mattefunksjoner (cosinus, sinus og tangens) for å regne ut rotasjon og posisjoner. Dette vil vi kunne gjøre i TP programmering. Og dette er mulig. Figur 3.4.2.3 viser noen mattefunksjoner som er mulig å bruke. Hvor da R[] er et «Register» vi kan lagre tallverdier i.

```

TESTMATH

Mixed Logic 1
1 (
2 DI[ ]
3 DO[ ]
4 R[ ]
5 F[ ]
6 On
7 Off
8 --next page--

Mixed Logic 2
constant
I[ ]
O[ ]
I[ ]
O[ ]
I[ ]
O[ ]
--next page--

parameter n
R[ ]
IMER[ ]
IMER_OVERF
R[i,j]
I[ ]
O[ ]
--next page--

Mixed Logic 4/11
1 RI[ ]
2 RO[ ]
3 SIN[ ]
4 COS[ ]
5 TAN[ ]
6 ASIN[ ]
7 ACOS[ ]
8 --next page--

10: R[...]= (...)
[End]
10: R[...]= (...)

```

Figur 3.4.2.2: Lokalt og globalt punkt

```

TESTMATH

1: R[1]=90
2: R[2]=45
3: R[3]=(COS[R[1]])
4: R[4]=(COS[R[2]])
5: R[5]=(TAN[R[2]])
6: R[6]=(EXP[R[5]])

[End]

```

Figur 3.4.2.3: Lokalt og globalt punkt

3.4.4. Programmering av kraftsensorfunksjoner

Når kraftsensorfunksjoner blir programmert inn i programmet så kaller vi kun på et «Schedule» som blir kjørt, som vi kan se i figur 3.4.4.1. I figuren under er «force ctrl» nummeret satt til 1, som i dette tilfellet er et «constant push» program. «Force ctrl» programmet blir kjørt etter innstillingene satt i den, mer om dette kan finnes i kapittel 4 kraftsensor. Det blir også satt et «errorLBL» nummer. I dette tilfellet er error-nummeret lik 1. Denne kommandoen slår inn når en feil slår inn under utførelse av «force ctrl». Er null satt som error-nummer vil programmet stoppe. Er et annet tall satt så vil programmet automatisk hoppe til den delen av programmet hvor LBL[1] står. Her kan det være en forhåndsprogrammert prosedyre for hva som skal gjøres ved feil.

```
TEST1  
  
1:  FORCE CTRL[1:Constant push]  
   :  ErrorLBL[1]  
[End]
```

Figur 3.4.4.1: Programmering kraftsensor

3.4.5. Programmering av visionfunksjoner

Programmeringen av visionfunksjoner er også veldig enkel. Her kaller vi på et visionprogram vi har satt opp, deretter har vi flere valg om hva vi kan gjøre med dette. En viktig funksjon er «vision get_offset». Dette kjører visionprogrammet og gir oss «offset» verdier, samt vil den hoppe til en valgt LBL, slik som ved error ved kraftsensor, om visionprogrammet feiler. Det er også mulig å lagre funnet posisjon VR[x] i et PR[x] register, for videre bruk i andre programmer. Disse funksjonene er vist i figur 3.4.5.1.

```
6:  VISION RUN_FIND 'DAVI1'  
7:  VISION GET_OFFSET 'DAVI1' VR[1]  
   :  JMP LBL[1]  
8:  
9:  PR[50]=VR[1].FOUND_POS[1]
```

Figur 3.4.5.1: Programmering visionfunksjoner

3.4.6. Kalle programmer

Det er også mulig å kalle programmer inni et hovedprogram. Dette kan komme godt til nytte om det er en del kode som må repeteres mye. Da er det enkleste å lage et eget program og kun kalle på programmet når det trengs, istedenfor å skrive mange linjer med kode.

```
1:  CALL PROBEPROG
```

Figur 3.4.6.1: Kaller på programmet «PROBEPROG» inni et program

4. Kraftsensor

Fanuc sine kraftsensorer gjør det mulig å «overvåke» kraft og moment brukt på en «end effector» med seks frihetsgrader. Dette gjør det mulig for roboten å nesten kunne fysisk «føle» det samme som et menneske og kan derfor ta over arbeid som tidligere har blitt utført av håndverkere. Fanuc leverer fem forskjellige kraftsensorer hvor fire av disse har seks frihetsgrader og den største av dem kan ha en nyttelast opptil 250 kg. Disse har svært presis nøyaktighet hvor feilmarginen ligger på under 2%. [40]

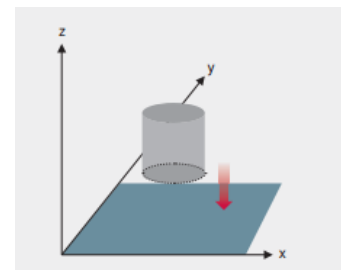
4.1. Hvorfor trenger vi en kraftsensor?

I dag gjøres prosessen med å bore og forsenske i flystrukturen manuelt. På denne måten har KDA klart å ivareta de «trange» kravene som er for å få et godt nok resultat. Når denne prosessen skal robotiseres er det viktig å komme innenfor kravene på både vinkel og dybde det skal bores og forsennes i. Det er viktig at vinkelen til verktøyet kommer 90° rett på flystrukturen. Det er også en vinkel på lokket som skal bores i, da er det spesielt viktig at robotarmen selv med denne vinkelen klarer å ivareta kravet til borings- og forsenkingsvinkelen i forhold til flystrukturlokket. Med en kraftsensor vil robotarmen rette seg opp til den vinkelen vi vil ha den hvis verktøyet skulle berøre flaten med feil vinkel. Kraften det skal bores, forsennes og probes med er også et viktig element da vi ikke må skade flystrukturen på noe som helst måte. En kraftsensor har også en rekke andre funksjoner som kan brukes til vår fordel under prosessen.

4.2. Funksjoner

Constant Push

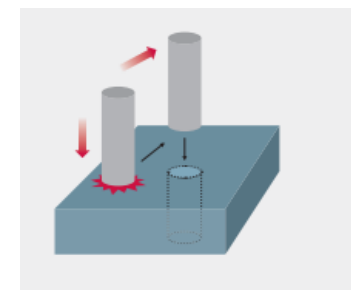
Gjør det mulig for roboten å trykke med konstant kraft i forhold til retning. Etter å komme til en forhåndsdefinert «Contact Force Threshold» vil roboten starte å trykke med en «trykkraft» i en bestemt tid. [41]



Figur 4.2.1: Constant Push

Hole Search

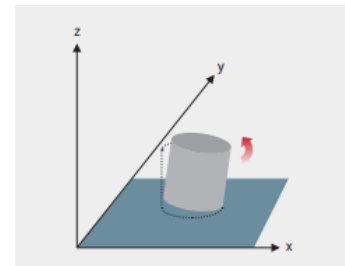
Gjør det mulig for roboten til å søke etter hull ved å bevege et objekt som skal bli posisjonert med riktig vinkel i et hull. Etter hullsøket kan man så sette objektet i hullet med den riktige vinkelen ved å kombinere «Hole Search» funksjonen og «Shaft Insert» funksjonen. Man kan også bruke denne funksjonen til å søke etter for eksempel spor. [41]



Figur 4.2.2: Hole Search

Face match

Denne funksjonen blir brukt ved sammenstillings- og konturoperasjoner. Det gir roboten muligheten til å plassere objektene på samme linje og matche formene til komponentene eller arbeidsstykkene som skal settes sammen. [41]

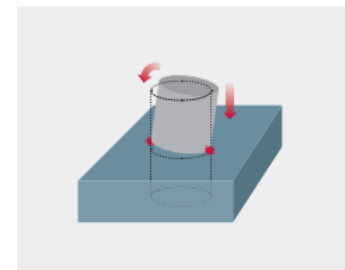


Figur 4.2.3: Face Match

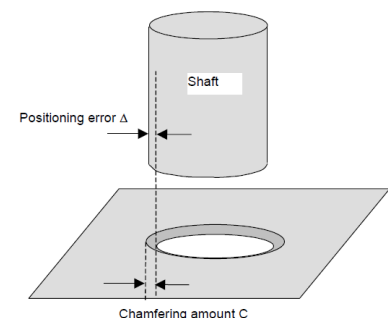
Shaft insert

Gjør det mulig at en «Shaft» kan sitte noe løst da kraftsensoren justerer vinkelen og posisjonen til akselen før den blir satt i hullet som illustrert på figur 4.2.4 [41]

Som illustrert i figur 6.2.4 kan man se at for å kunne «inserte» må «Shaftet» treffe innenfor det for forsenede forsenningsområde. Posisjonsfeilen kan ikke være større enn skråplanet (forsenkningen) til hullet. Hvis feilen er mindre enn skråplanet C (som illustrert i figur 4.2.5) vil delen kunne bli satt i hullet. Når den blir satt i hullet blir det brukt en forhåndsbestemt kraft, fart og dybde som er definert i «Teach pendant» programmet laget. [42]



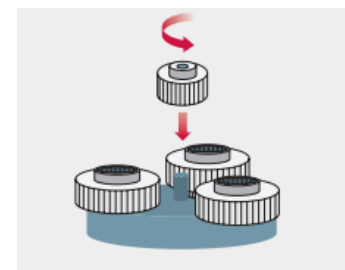
Figur 4.2.4: Shaft Insert



Figur 4.2.5: Shaft Insert

Phase match

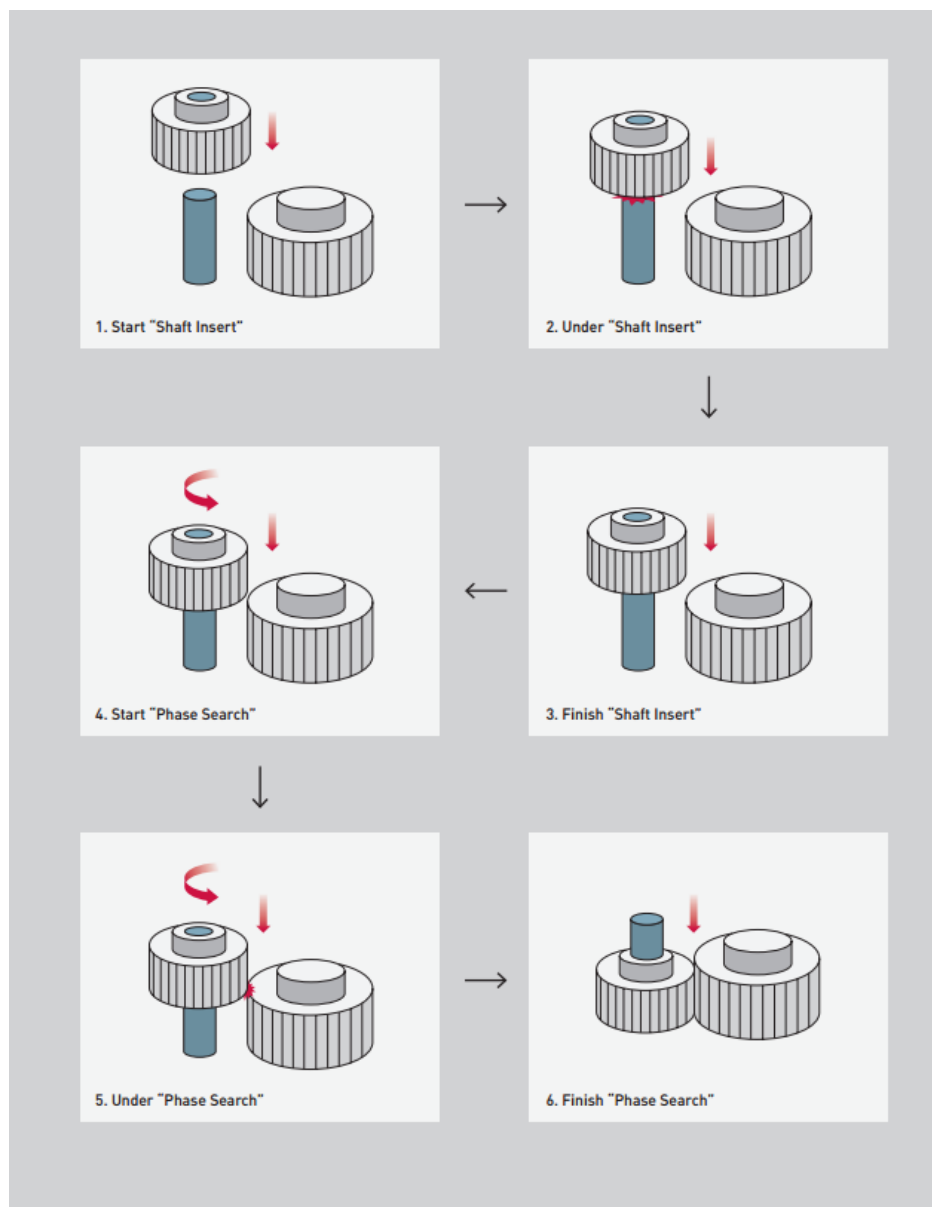
Denne funksjonen er beregnet på objekter med tenner slik som tannhjul. Med hjelp av en kraftsensor kan tennene bli matchet ved rotasjon og måling av objektet på en aksel før det så blir innsatt i riktig posisjon. [41]



Figur 4.2.6: Phase Match

Kombinasjon av funksjonene

Man kan kombinere en eller flere av disse funksjonene under operasjon av systemet. Et eksempel er hvordan man først kan bruke «Shaft Insert» funksjonen for så å fullføre operasjonen med en «Phase Search», dette er vist i figuren under. [41]



Figur 4.2.7: Kombinasjon av funksjoner [43]

4.3. Vår bruk av kraftsensoren

Kraftsensoren er nyttig for at vi kan utføre vår prosess av boring, forsenkning og probing på en god måte. I utgangspunktet var kraftsensoren ment for boringen og forsenkningen, hvor vi da må ha en eksakt vinkel når vi utfører dette, samtidig som robotarmen ikke må bruke for mye kraft da dette kan gjøre skade på flystrukturene. Ettersom vi nå har tilegnet oss mer kunnskap om kraftsensoren har vi kommet fram til at denne også kan brukes i prosessen med probing av flystrukturene. Kombinasjonen av å bruke «Hole Search», «Shaft Insert» og kraftmåling kan gjøre at probeprosessen både blir utført på kortere tid og mer presist enn ved å bare bruke en av funksjonene. Hvordan vi kan bruke kraftsensoren til probing står forklart i mer detaljer under kapitlet om probing.

4.4. Fanuc FS-15iA

Kraftsensoren KDA har kjøpt inn som vi skal ta i bruk er en FS-15iA. Dette er den nest letteste av de fem kraftsensorene Fanuc har, men den letteste og minste som samtidig har seks frihetsgrader. Ettersom robotarmen kun kan ha en nyttelast på 10 kg er det viktig at kraftsensoren ikke veier mye. [42]



Figur 4.4.1 Kraftsensoren vi skal bruke

Tabell 4.4.1: Spesifikasjoner for FS-15iA

Spesifikasjoner Fanuc FS-15iA	
Vekt	0,57 kg
Frihetsgrader	6
Måling av kraft	Opp til 147 N (15 kg)
Måling av arbeid	Opptil 11,8 Nm
Nøyaktighet	Mindre enn 2%
Måle kraft i oppløsning	0,39 N
Måle arbeid i oppløsning	0,016 Nm
Dimensjoner	94 x 43 (mm)

4.5. Konklusjon

KDA har kjøpt inn kraftsensoren FS-15iA som vi skal bruke i vårt system. Kraftsensoren skal hjelpe oss med å kunne utføre boring, forsenkning og probing så presist at vi holder oss innenfor de trange kravene vi har til feilmargin. Hovedfunksjonene vi kommer til å bruke fra kraftsensoren er «Shaft Insert» og «Constant Push». «Shaft Insert» og «Constant Push» skal vi bruke under probeprosessen, mens «Constant Push» kan også brukes under borings- og forsenkningsprosessen. Kraftsensoren er også svært presis noe som er viktig for at resultatet av probing, boring og forsenkningen skal bli så nøyaktig som mulig.

5. «iRVision»

Vi har benyttet programvaren til Fanuc, «iRVision», til å bestemme delens posisjon med x- og y-koordinater samt rotasjon om z-aksen(r). Det er designet for å være enkelt å installere i kontrolleren, lett å bruke og har mange bruksområder. I tillegg til å finne delens posisjon har den mulighet til å lese strekkoder, sortere deler basert på farge, observere samlebånd, vareplukk og mer. «iRVision» bidrar til økt produktivitet da behovet for dyre fiksturer og menneskelig muskelkraft elimineres. Figur 5.1 viser hvordan et produksjonsbånd bestående av kun roboter som tar i bruk «iRVision» kan se ut.



Figur 5.1: Eksempel på et samlebånd[44]

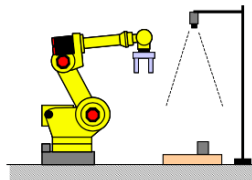
«iRVision»-kompatible 2D-kameraer er små og kan enkelt monteres på roboten eller over arbeidsområdet. KDA har allerede et kompatibelt kamera med linse vi skal ta i bruk. Det vil derfor ikke påløpe tilleggskostnader for bedriften å velge en slik løsning.

Når en skal utføre en vellykket «Vision»-prosess er det flere ting som må være på plass. Først og fremst må en bestemme seg om en skal ha kameraet på robotens EOAT(Engelsk: end of arm tool), eller om den skal være montert på en fast fikstur. Dette vil påvirke noen parametere, men også variere fremgangsmåten til for eksempel kalibrering. Kameraet må kalibreres i henhold til dets plassering. Til slutt må bildeprosesseringsverktøy velges og den aktuelle delen læres i prosessverktøyet som ble valgt. I alt finnes det 46 forskjellige bildeprosesseringsverktøy til 2D og 3D. En kan fokusere på linjer, mens en annen kan regne ut vinkelen basert tre punkter, og slik fortsetter listen. Til tross for at alle verktøyene har ulike formål baserer de seg likevel på ett verktøy: «GPM Locator Tool». Dette er verktøyet vi skal bruke for å finne karakteristikken til et spesifikt område på delen. [45]

5.1. «Vision»-prosesser

Basert på hvilke oppgaver en ønsker å utføre med «iRVision» er det også aktuelt å bestemme seg for riktig prosess. Avsnittene under gir informasjon om de syv «Vision»-prosesser som er kompatible med 2D-kamera. I alt finnes det 17, men de som ikke nevnes her er avhengige av et 3D-kamera.

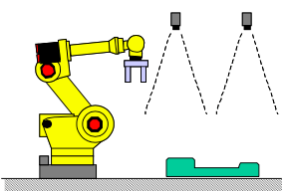
5.1.1. 2D Single view vision process



Finner delens to-dimensjonale posisjon og rotasjon (x , y , r) med ett kamera som er montert på et fikstur eller på robotarmen.

Figur 5.1.1.1: Illustrasjon «2D Single vision process»[45]

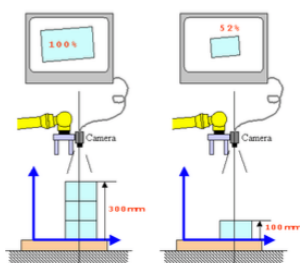
5.1.2. 2D multi-view vision process



Finner delens to-dimensjonale posisjon og rotasjon med to eller opptil fire kameraer. Hvert kamera kan fokusere på forskjellige områder. Effektivt hvis delen er for stor for synsfeltet til ett kamera.

Figur 5.1.2.1: Illustrasjon «2D Multi-view vision process»[45]

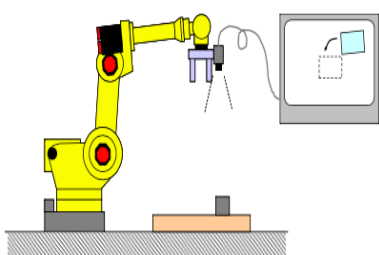
5.1.3. Depalletizing vision process



I tillegg til å finne to-dimensjonal posisjonsforskyvning utfører den også et vertikalt søk av posisjon i z-retning. Da prosessen benytter et 2D kamera som ikke kan finne z posisjon bruker den skalering. En fin forklaring av prosessen vil være: "Er delen så liten må den være så langt unna".

Figur 5.1.3.1: Illustrasjon «Depalletizing vision process»[45]

5.1.4. 2D Calibration-free vision process

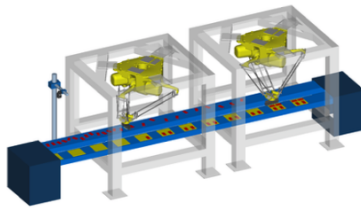


Dette er en prosess som ikke krever kalibrering av kameraet, heller ingen spesifiserte «Uframes». For å få til dette benytter den seg av et KAREL program, «IRVHOMING». Da vil roboten bevege seg slik at delen som kameraet ser er lik lært del. Prosessen er avhengig av at roboten beveger seg for å finne delen, og krever derfor mer tid enn den konvensjonelle metoden.

Figur 5.1.4.1: Illustrasjon «2D Cal-free vision process»[45]

5.1.5. Single view visual tracking

Dette er prosessen som benyttes når en del skal bli funnet og plukket opp på et samlebånd som ikke stopper opp.



Figur 5.1.5.1: Samlebånd med «2D Single vision process»[45]

5.1.6. Single view inspection vision process



I motsetning til vanlige prosesser som skal finne delen skal denne inspisere delen. Det kan være sjekk av delens lengde. Det vil forekomme ett av to resultater: Godkjent og ikke godkjent. Denne prosessen har blitt vurdert for sjekk av hull, men på grunn av for små toleranser vil det ikke være nøyaktig nok.

Figur 5.1.6.1: Bilde av godkjent del[45]

5.1.7. Reader vision process



Leser av strekkoder og QR-koder for å identifisere blant annet hvilken del det er og hvor den skal videre.

Figur 5.1.7.1: QR-kode med funnidentifikasjon(grønn)[45]

5.2. Sony XC-56

Dette er kameraet vi får bruke av KDA. Gruppen har ikke montert kameraet på armen selv, da dette ble gjort av ekstern veileder. Kameraet tar monokromatiske gråtonebilder, altså svart-hvitt bilder. For mer detaljerte spesifikasjon henvises det til vedlegg 8.

Tabell 5.2.1: XC-56 spesifikasjoner

Vekt(g)	50
Dimensjoner (b*h*d)(mm)	29 x 29 x 30
Driftstemperatur(°C)	-5 til 40
Forbruk(W)	1,5



Figur 5.2.1: Sony XC-56 uten linse [31]

5.3. Tamron 12VM1040ASIR

Dette er linsen som sitter på kameraet. Utstyrt med et innebygget infrarødt system, er denne linsen konstruert for 24-timers bruk. Den opererer like godt under både vanlige og mørke lysforhold. Linsen fokuseres manuelt og har en variabel fokallengde mellom 10 og 40 mm, noe som gjør den veldig allsidig. I tabell 5.3.1 finnes noen spesifikasjoner. Om mer informasjon ønskes kan datablad sees i vedlegg 9.[46]



Figur 5.3.1: Tamron 12VM1040ASIR[47]

Tabell 5.3.1: Spesifikasjoner Tamron 12VM1040ASIR

Vekt(g)	77±4
Dimensjoner(\varnothing_{maks})*L(mm)	42,6*61,9
Driftstemperatur(°C)	-20 til 60
Fokallengde(mm)	10-40

6. Probing

For at roboten skal kunne utføre boring- og forsenkingsprosessen, må vi først probe delen. Målet med probeprosessen er å samle nok informasjon til vi kan utføre en vellykket boring- og forsenkingsprosess.

6.1. utfordringer og nødvendig informasjon

Kravene som stilles til det ferdige produktet er strenge og vi må forholde oss til små toleranser. En av de største utfordringene når det kommer til toleranser i krav, ligger i kravet rundt forsenking, K-104. Dette kravet forteller oss noe om toleransen på diameteren ved overflaten til det ferdig forsenkede hullet. Toleransen til diameteren er 0,7 mm. For å få diameteren på overflaten med en forsenkning på 100°, må vi se på dybden som skal forsenkes og toleransen på dybden. Toleransen på forsenkningens dybde blir på 0,2557 mm. En utregning av dette kan sees i vedlegg 1. En annen toleranse ligger i krav K-112. Dette sier at borehullsenter skal ha avvik fra optimalt senter mindre enn 0,2032 mm.

Vi har en robot med «repeterbarhet» på $\pm 0,05$ mm. Det vil si at i teorien skal det være mulig å holde seg innenfor disse kravene, men dette vil skape utfordringer til nøyaktighet i alle ledd av prosessen.

Sett av kravenes toleranser og nøyaktigheten til roboten er det mulig å holde seg innenfor kravene, men dette krever at andre faktorer totalt sett ikke skaper en større feil.

Nødvendig informasjon:

- Nøyaktig midtpunktsposisjon til hullet, senter av hull (K-112)
- Nøyaktig høyde for flaten rundt hullet hvor boring/forsenking starter (K-104)
- Nøyaktig vinkelrotasjon i forhold til overflaten til hullet (K-102, K-105)
- Nøyaktig informasjon om verktøyets TCP

6.1.1. utfordring 1: Delens og hullenes posisjon

Den første utfordringen ved å skaffe denne informasjonen er at delen aldri vil være festet i helt nøyaktig samme posisjon for hver operasjon. Dette betyr at hullene vil være litt annerledes for hver gang. Derfor må dette undersøkes for hver operasjon.

6.1.2. utfordring 2: Midtpunkt til hullene

Etter hullenes posisjon er funnet må vi finne nøyaktig senterpunkt for hvert hull. Siden kravet er at det skal ha feil senter med mindre enn 0,2032 mm, og roboten kan ha en feil på 0,05 mm, så må midtpunktet vi finner være innenfor 0,1532 mm av virkelig midtpunkt. Dermed blir maksimal feil 0,2032 mm om vi kun regner med robotens feil. Vi ønsker helst litt større feilmargin å gå på, så midtpunktet vi finner burde ha mindre feilmargin enn 0,1532 mm fra virkelig midtpunkt.

6.1.3. utfordring 3: Høyde av flaten rundt hullene

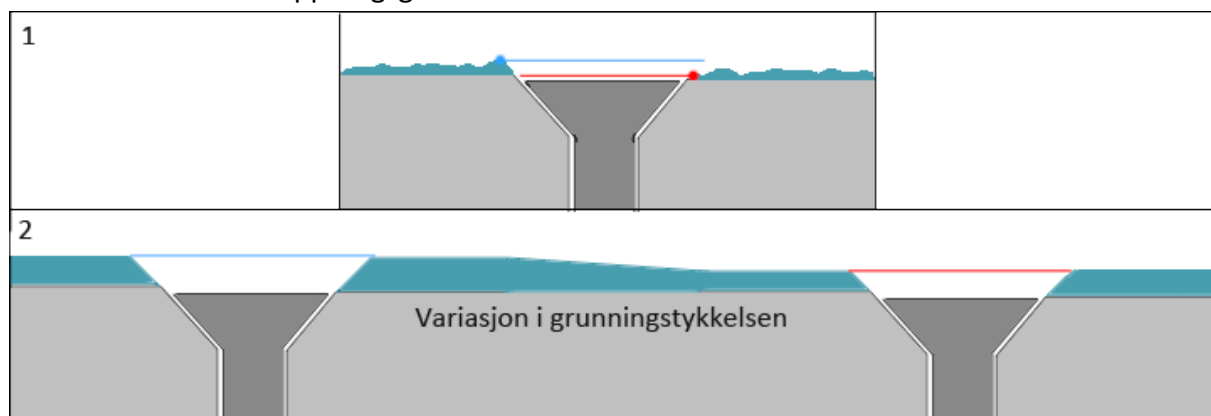
Den neste utfordringen er å få nøyaktig høyde for flaten rundt hullet, dette trenger vi å vite for å forsenke riktig dybde. En ekstra utfordring her kommer ved at det er malt på en type grunning som vil variere i tykkelse. Dette betyr at selv om delen er flat, så vil ikke alle hullene

ha samme høyde. Rundt noen hull vil det ligge mer grunning og rundt andre vil det ligge mindre.

Som vist i figur 6.1.3.1 har vi sett for oss to scenarier av denne grunningsutfordringen. Merk at denne differansen ikke vil være synlig for øyet.

1. Dette scenarioet illustrerer at grunningen har en tydelig høydeforskjell på hver side av hullet. Dette vil gjøre prosessen en god del vanskeligere da en er nødt til å probe rundt hele hullet, for så å finne det laveste punktet å gå ut ifra det.
2. Scenario to vil også ha en forskjell i høyden til grunningen, men denne vil være i forhold til et annet hull. Det vil si at i praksis vil høydeforskjellen være lik på begge sider av hullet, men variere utover delen.

Etter samtaler med oppdragsgiver ble det fastsatt at scenario 2 er det som er aktuelt.



Figur 6.1.3.1: Illustrasjon av hvordan grunningen ser ut.

Siden vi vet at forsenkingen skal være på 100° , kan vi bruke den informasjonen til å beregne den totale forsenkningsdybden. Fra overflaten til hullet må forsenkingstuppen (TCP) bevege seg $5,7332 \text{ mm} \pm 0,1279 \text{ mm}$ ned i materialet. Se vedlegg 1 for utregninger. Legger vi til at roboten kan gjøre en feil på $0,05 \text{ mm}$, så vi må vite høyden av flaten rundt hullet med $\pm 0,0779 \text{ mm}$ i forhold til virkelig verdi.

6.1.4. Utfordring 4: Vinkelrotasjon i forhold til overflaten til hullet

Vi må også ha riktig vinkel på boringen, dermed må vi vite rotasjonen til hullet. Etter krav K-102 skal vinkelen til hullet være $90^\circ \pm 2^\circ$ på overflaten. Dermed må vi vite rotasjonen slik med $\pm 2^\circ$ feilmargin slik at vi kan tilfredsstille dette kravet.

6.1.5. Utfordring 5: Sette nøyaktig TCP

Den siste utfordringen blir å sette en nøyaktig nok TCP til å kunne være innenfor kravene. Her gjelder det at både probe, bore og forsenkingsverktøyet sin TCP er så nøyaktig at eventuelle feil er såpass små at vi fremdeles innfrir kravene. I alle tidligere utfordringer har vi regnet på toleransen til kravet, lagt det sammen med feil på roboten, og endt opp med toleranser vi må være innenfor. Feil i TCP kan veldig enkelt dytte oss utenfor kravene. For eksempel så er det kun $\pm 0,0779 \text{ mm}$ feilmargin når det kommer til forsenkningsdybde. Er feilmarginen i TCP for probeverktøy og forsenkingsverktøy større enn dette vil vi ikke oppnå kravene.

6.2. Probemetoder

Det finnes mange forskjellige metoder å probe på. Kapitlene under tar for seg generelt forskjellige metoder delen kan probes på.

6.2.1. 3D iRvision

Dette er et programvaretillegg som leveres av Fanuc selv. Den tillater roboter å gjenkjenne og samhandle med delen som er plassert på hvilken som helst måte. I utgangspunktet er den rettet til roboter som plukker objekter. Det er da lett for roboten å selv bestemme hvilken del som er best tilgjengelig. Siden det er et Fanuc produkt integreres den også lett med robotkontrolleren.



Figur 6.2.1.1: Illustrasjon av 3D iRvision system. [29], [30]

Det er en effektiv løsning for å kunne posisjonere deler i xyz- wpr-planet. Til tross for dens effektivitet er prisen veldig høy. Fanuc sitt 3D iRvision har en prislapp på rundt 24.000 euro, omtrent 218.000 kroner. Dette vil kanskje lønne seg om man har store produksjonsbånd som holder et høyt tempo. Vi skal kun registrere en del om gangen. I tillegg er det ikke satt noen krav om hvor lang tid som skal bli brukt under prosessen.

6.2.2. 2D iRvision

Dette er et programvaretillegg som også levers av Fanuc selv.

Med 2D IRVision er det mulig å finne posisjonen til en del i x, y og r (r er rotasjon rundt z akse) med et kamera. Kameraet kan fort registrere en del og bestemme dens posisjon og rotasjon. Kalibrering av kamera, gjenkjenning av del må settes opp på forhånd. 2D iRvision kameraer er små og kan enkelt monteres på roboten eller over arbeidsområdet. KDA har allerede et 2D iRvision-kompatibelt kamera med linse tilgjengelig for bruk. Det vil derfor ikke påløpe noe ekstra kostnad om vi skulle bestemme oss for å ta i bruk et slikt kamera.



Figur 6.2.2.1: Sony XC-56, uten linse. [31]

6.2.3. Kontaktprobing

Kontaktprobing er å bruke et verktøy som "kjenner" kontakt med en del. Dette kan være den rimeligste metoden da det finnes mange forskjellige metoder å utføre kontaktprobing på, men prinsippet er det samme. Metoden baserer seg på at et signal blir sendt i det en "pinne" berører delen som skal probes. Deretter lagres koordinater i rommet med x-, y- og z-verdier, før den fortsetter med neste måling. Nøyaktigheten vil varieres ut ifra hvilken type probe som benyttes, hvor mange målinger vi velger å ta og ikke minst hvor nøyaktig TCP er. På en ujevn overflate med mye detaljer vil prosessen kreve flere punkter sammenlignet med en firkantet boks, og derfor forlenge probingstiden.



Figur 6.2.3.1: «Touch probe» fra Renishaw. [32]

Kontaktprobing med kraftsensor FS-15iA

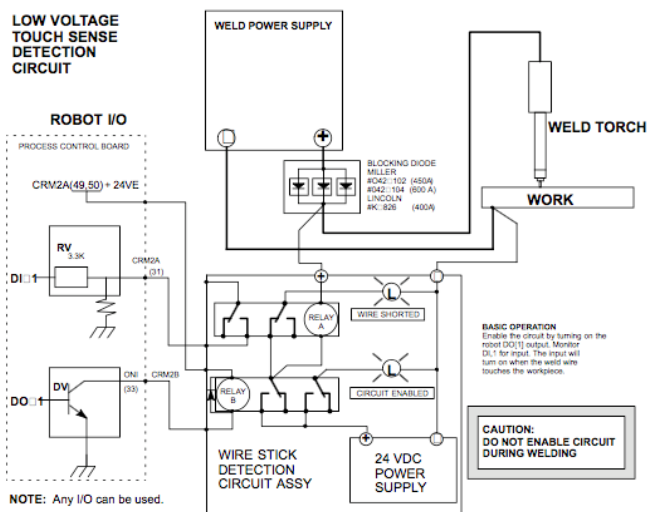
Kraftsensoren er en enhet som måler krefter påført i XYZ-retning, men også kraftmoment m_x , m_y og m_z . Dette er noe KDA allerede har gått til innkjøp av, så det vil ikke påløpe noe ekstra kostnader her. Den har mange funksjoner som kan utnyttes, blant annet "Face match" som gjør at roboten kan treffe delen vinkelrett. Her kunne en brukt selve boret som probe men siden dette mest sannsynlig vil skade grunningen på delen er alternativet å maskinere et enkelt spesialverktøy for denne oppgaven.



Figur 6.2.3.2: Fanuc FS-15iA [33]

Kontaktprobing med Touch Sense

«Touch Sense» er en tilleggsprogramvare som tillater roboten å endre en rute automatisk for å kompensere for deler som er feilplassert. Måten «Touch Sense» fungerer er å bevege robotens TCP med en forhåndsdefinert bevegelse, fart og retning. Den vil bruke et inngangssignal for å indikere at roboten har fått kontakt med den aktuelle delen. Deretter vil posisjonen lagres i posisjonsregisteret. Ut ifra dette vil feilplasseringer kompenseres for. I utgangspunktet er programvaren ment til roboter som utfører sveiseoperasjoner hvor sveiseelektroden fungerer som en probe. Hvis vi skal bruke touch sense er vi nødt til å lage en krets som vil bli sluttet når kontakt med delen oppnås. Da er det viktig at delen er i stand til å lede strøm. Figur 6.2.3.3 viser et eksempel på hvordan en slik krets kan kobles opp.



Figur 6.2.3.3: Eksempel på deteksjonskrets.

6.2.4. Valg av probemetode

Når vi velger probemetode er det viktig å se på den nødvendige informasjonen og utfordringene som kommer med å finne den. Samtidig er det viktig å se på hva som er enkle og vanskelige metoder, hvor vi har et stort fokus på å holde det enkelt så lenge vi er innenfor kravene, spesielt med tanke på den begrensede tiden til prosjektet. Et viktig punkt er kostnader og leveringstid. Vi har ikke et ubegrenset stort budsjett og vil ikke bruke unødvendig ressurser på å kjøpe inn noe om det ikke er nødvendig. Leveringstid vil også være svært viktig i et kort prosjekt, så lange leveringstider er en fordel å unngå her. Denne kan strekkes litt, men da er en nødt til å være veldig tidlig ute med bestilling.

Baser på disse kom vi frem til at både kontaktprobing med kraftsensor FS-15iA og probing med 2D iRVision er gode løsninger. Den store fordelen med disse løsningene er at KDA har både kraftsensoren FS-15iA og et 2D iRVision kamera fra før, slik at det ikke blir noen ekstra kostnader ved bruk av disse løsningene. Disse metodene ser også veldig realistiske ut. Etter vårt forslag har KDA blitt interessert i å se løsning ved begge metodene, derfor løser vi probeutfordringene med begge metodene. Fordelen ved å ta i bruk kraftsensoren er at da bruker vi ikke kameraet. Kameraet kan derfor brukes til andre oppgaver om KDA skulle ønske det. Fordelen med bruk av kameraet er å effektivisere probeprosessen med tanke på tid. Dette skyldes at 2D iRVision kun trenger å ta et bilde mens kontaktprobing krever mer robotbevegelse og tid. Tar vi i bruk 2D iRVision må vi ta i bruk kontaktprobing med FS-15iA i kombinasjon med kameraet siden 2D iRVision ikke kan finne all den nødvendige informasjonen, den kan ikke finne høyden til hullene i z-retning.

3D iRVision er også en svært god metode som kan gi svært nøyaktige resultater som er viktig for suksessfull utførelse av prosessen. Problemet med 3D iRVision er at det er svært dyrt. Vi har derfor bestemt at 3D iRVision ikke er nødvendig for å utføre denne prosessen.

6.3. Probeverktøy

Basert på valgte løsninger så er det fremdeles mange måter å utføre probeprosessen på. Her må vi avgjøre hva slags probeverktøy vi vil bruke til å få den nødvendige informasjonen. Vi har sett på forskjellige design til probeverktøy. Dette er basert på den nødvendige informasjonen som må innhentes for at bore- og forsenkningsprosessen skal bli vellykket.

6.3.1. Klassisk probeverktøy

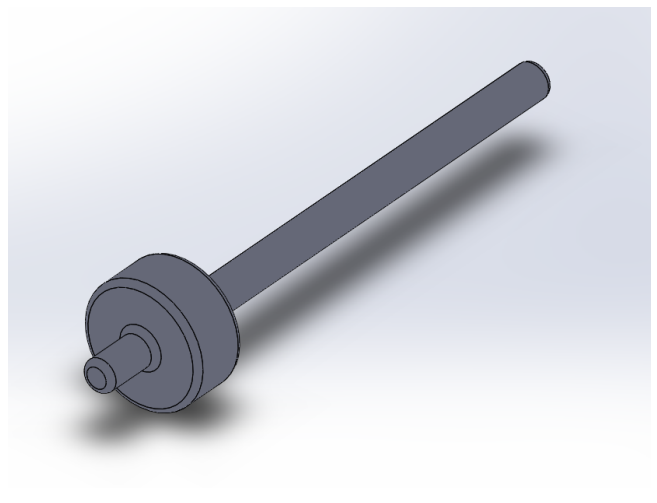
Det første designet er en tradisjonell probe, som vist på figur 6.3.1.1. Det er en tynn pinne med en lite kule på tuppen som da må bevege seg til mange punkter for å lage et helhetsbilde av delen og hull. En kuleformet tupp gjør den litt mer ergonomisk og det spiller liten rolle om den treffer delen vinkelrett. TCP vil alltid være definert i senter av denne kulen. Hvis tilfellet er annet vil poenget med en kuleformet tupp være borte, og unøyaktig posisjonssetting kan forventes. Om proben skal finne senterpunktet til et hull er den nødt til å sette minst fire punkter, for så å utføre noen matematiske beregninger. Dette må gjøres i hvert eneste hull. For å finne høyden rundt hullet må det probes rundt hele hullet, hvor en må finne det laveste punktet å ta utgangspunkt i det når lokket skal forsenkes. Dette krever en mer kompleks koding av programmet.



Figur 6.3.1.1: Varianter av probepinne. [34]

6.3.2. Insertion probe 1 (IP1)

Dette designet er et litt mer utradisjonelt design. Dette designet er spesial laget for å gjøre oppgaven enklest mulig og fremdeles få all nødvendig informasjon innenfor toleransene. Designet går ut på å lage en del som vist i figur 6.3.2.1. Probeverktøyet har en tupp som blir plassert i hullet, dette vil gi oss informasjon om både midtpunkt og rotasjonen til hullet. Over tuppen er en flate som vil legge seg på overflaten til hullet, dette vil gi oss informasjon om høyden rundt hullet. Dermed har vi all nødvendig informasjon ved kun å sette probeverktøyet inn i hullet på en ordentlig måte. Da er utfordring å sette probeverktøyet i hullet. For å gjøre dette så har vi allerede funksjoner som gjør dette enkelt for oss. Ved å ta i bruk kraftsensoren, og funksjonen «shaft insert» kan vi enkelt plassere probeverktøyet nøyaktig i hullet. Tuppen til IP1 er flat, dette er for å kunne bruke "Face match" funksjonen til kraftsensoren på overflaten til delen. Ved å bruke "face match" vil overflaten til proben være flatt på delen. Ved å lagre denne posisjonen kan vi enkelt få rotasjonen på overflaten. For å få all nødvendig informasjon innenfor toleranser stilles det krav til verktøyet.



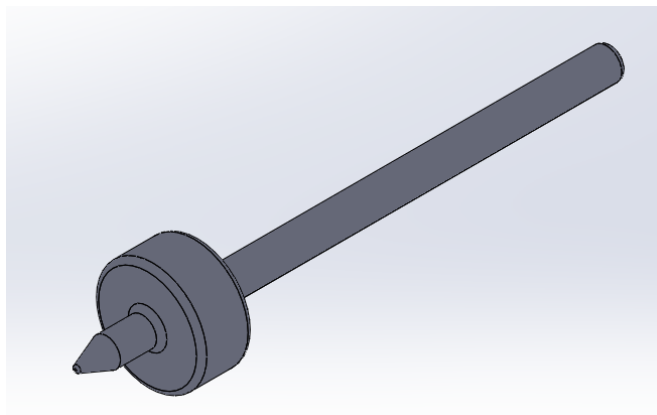
Figur 6.3.2.1: Design av IP1.

Tabell 6.3.2.1: *Krav til design av IP1 og IP2.*

Nummer	Prioritet	Beskrivelse	Sporet fra
P-101	A	Tuppen sin diameter skal være minimum 0,3 med mer mindre enn det forborede hullet (5,288mm)	
P-102	A	Kontaktflaten sin diameter skal være like stor som ferdig boret og forsenket hull ved overflaten (13,6652mm)	
P-103	A	Tuppen skal være minimum være like lang som dybden til hullet (8,128mm)	
P-104	A	Verktøyet skal være låst i sin posisjon under operasjon	

6.3.3. Insertion probe 2 (IP2)

IP2 er nesten helt lik som IP1 og er også spesiallaget for oppgaven vår. Forskjellen som du kan se i figur 6.3.3.1 er at tuppen på denne er koneformet og ikke flat. Fordelen med dette designet ligger i «shaft insert»-funksjonen. For å bruke «shaft insert» må vi være innenfor forsenkingsområdet, se vedlegg 2. Er det mye variasjon i delens og dermed hullenes posisjon og det er unøyaktighet i probingen av posisjon, vil en koneformet tupp hjelp med å treffe hullet, siden vi kan ha en større feilmargin. Det viktige er å få satt inn tuppen i hullet, da får vi all nødvendig informasjon. Det er da også en fordel med en presis spiss på verktøyet når vi skal sette en nøyaktig TCP. Ulempen med dette designet er at vi ikke kan bruke "face match" funksjonen til å finne rotasjonen til flatene. Så her må vi istedenfor finne rotasjon ved bruk av punkter og trigonometri eller matrise kalkulasjoner. Kravene til IP1 gjelder også for IP2.


 Figur 6.3.3.1: *Design av IP2.*

6.3.4. Valg av probeverktøy

Når vi velger probeverktøy, er enkelheten til løsningen svært viktig. Vi vil ikke gjøre det mer komplisert enn vi trenger, dette har også med den begrensede tiden til prosjektet. De verktøyene vi tok til videre inspeksjon var IP1 og IP2 verktøy. Ved bruk av et klassisk probeverktøy blir probeprosessen fort mye vanskeligere. Vi trenger flere punkter, og for eksempel å få tak i informasjon om hullets midtpunkt og overflaten rundt hullet blir mye vanskeligere. Hullets midtpunkt trenger vi for eksempel flere punkter inni hullet for å så bruke matematiske funksjoner til å regne ut midtpunktet. Å bruke IP1/2 metodene gjør det svært enkelt å få den nødvendige informasjonen, det er kun å sette verktøyet i hullet og lagre posisjonen.



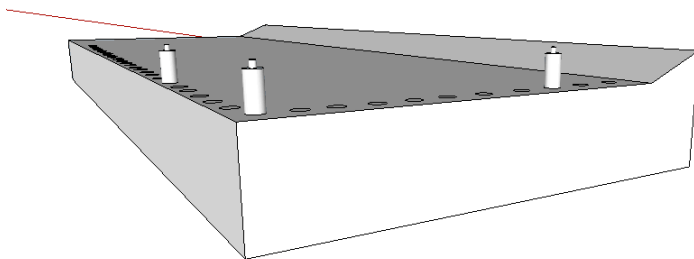
KONGSBERG

Vi har kommet frem til at IP2 er det beste verktøyet av IP1 og IP2. Den største og svært viktige fordelen med IP2 er at ved å ha en «spiss» tupp, blir det mye enklere å sette en nøyaktig TCP. Siden vi jobber med marginer på $\pm 0,13$ mm, er det svært viktig at TCP blir satt så nøyaktig som mulig, og dette er mye enklere med en «spiss» tupp. IP2 har også fordelen med at vi i teorien kan «bomme» mer på hullet og allikevel få satt inn probepinnen.

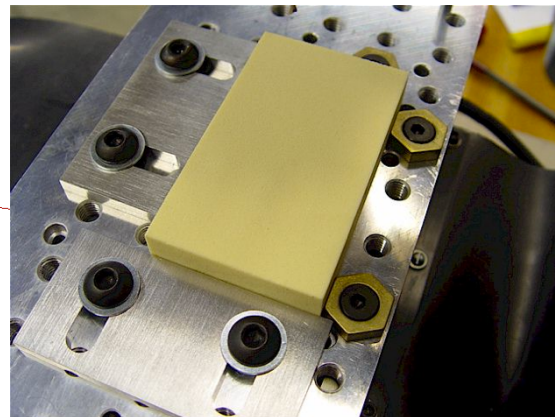
6.4. Probestprosesser

Nå har vi sett på nødvendig informasjon, utfordringer ved å få nødvendig informasjon og probeverktøy. Basert på disse punktene, kan vi se på forskjellige måter vi kan få den nødvendige informasjonen med det valgte probeverktøyet.

Når det kommer til forskjellige probeprosesser har vi både sett på enkle prosesser for å kunne teste og bevis om det er mulig å oppnå toleransene som settes av kravene, og prosesser for det ferdige fullstendige systemet. Prosesser for det ferdige fullstendige systemet vil være helt autonome prosesser. Disse prosessene vil være slik at etter at en operatør har gjort de nødvendige forberedelsene, som å feste delen og sjekke utstyr, så kan han bare kjøre programmet og hele prosessen vil utføres autonomt uten hjelp fra operatøren, dette innebærer både probing, boring og forsinking. Derimot må ikke prosesser for å bevise og teste om vi klarer å holde oss innenfor toleransene i boring- og forsinkingsprosessen være fullstendig autonome. Probestprosessene for å teste og bevise at boring og forsinkingsprosessen er mulig, kan være betydelig enklere slik at systemet kan testes før en fullstendig løsning på autonom probeprosess er på plass.



Figur 6.4.1: Tidlig probeidé.



Figur 6.4.2: Enkel fikstur. [35]

6.4.1. Probestprosesser som vil feile

Tidlig i prosjektet ble det vurdert mange forskjellige løsninger på hvordan vi skulle probe og om vi i det hele tatt hadde et behov for det. Det viste seg raskt at probing var en nødvendig del av oppgaven når vi ser på den nødvendige informasjonen og utfordringene. Til tross for det, er det fremdeles greit å nevne kort om hva som absolutt ikke ville fungert.

Den første prosessen som ikke ville fungert baserer seg på å finne minst 3 punkter for å lokalisere delen. Etter delen er lokalisert kan vi vite alle hullene sin posisjon og deretter begynne med boringen. Se figur 6.4.1. Denne prosessen vil ikke fungere på grunn av grunningen som har variabel høyde, og at denne prosessen ikke innhenter informasjon om høyden til hvert hull.

Den andre prosessen går ut på at delen blir festet i nøyaktig samme posisjon for hver eneste operasjon og benytte en fast bane som roboten skal bore og forsinke i. Se figur 6.4.2. Uansett hvor nøyaktig fikstur en måtte ha vil det ikke være mulig å oppnå ønsket toleranse på grunn av at det ikke vil være mulig å med sikkerhet feste delen i nøyaktig samme posisjon innenfor toleransene, og denne prosessen innhenter heller ikke informasjon om høyden til hvert hull, og vil dermed ikke fungere.

En tredje prosess som ikke vil fungere er å kun bruke et 2D iRVision kamera til å lokalisere hullene. Da dette også ikke innhenter noe informasjon om høyden rundt hullene.

6.4.1. Prosesser for testing

Prosesser for testing er de manuelle eller halvautonome metoden vi kan bruke til testing av bore- og forsenningsprosessen om det blir nødvendig.

Manuell probing

Operatøren må plassere probeverktøyet i alle hullene for å vite nøyaktig hvor overflaten befinner seg. Her kan operatøren manuelt plassere probeverktøyet over hullet, for å så kjøre «shaft insert» funksjonen for å plassere verktøyet riktig i hullet. Dette er en svært tidkrevende prosess, men kan hjelpe oss å teste om vi får den nødvendige informasjonen med «shaft insert».

Halvautonomt

En halvautomatisk probemetode er som navnet tilsier; en kombinasjon av manuell og autonom probing. Denne metoden kan også hjelpe oss å teste om vi får den nødvendige informasjonen for at bore- og forsenningsprosessen skal utføres suksessfullt. Her har vi vurdert flere prosesser.

Fra et starthull

Operatøren plasserer verktøyet i et fast starthull, deretter leter den etter ett nytt hull som ligger på linje med starthullet. Ved å finne ett til hull kan vi bruke vinkelen i forhold til roboten til å få posisjonen til delen og alle hullene. Vi vet ikke på hvilken side av starthullet det nye hullet er, så her kan vi kjøre en «shaft insert» test. Finner vi et hull og «shaft insert» er suksessfull så har vi riktig posisjoner. Finner vi ikke et hull og «shaft insert» ikke er suksessfull så vil det oppstå en feilmelding om at delen er plassert feil.

Basert på User Frame (UFrame)

Operatøren setter UFrame manuelt ved hjelp av 3 punkter: origo, et i x-retning og et i y-retning. Dette er en manuell metode som ligger inne på roboten. Ut fra dette vet vi noe om delens posisjon, og dermed posisjonen til alle hull. Deretter kan en autonomt bruke «shaft insert» til å sjekke alle hullene.

6.4.3. Fullstendige probeprosesser

Fullstendige probeprosesser er helautonome probeprosesser. Operatøren sørger kun for at delen er plassert innenfor et spesifisert område, trykker på start og probingen skjer autonomt. Det som kreves for å lage hele probeprosessen autonom er at den henter inn den nødvendige informasjonen og løser utfordringene med det. Det er to hovedsteg som da må utføres. Det første steget er å finne delens posisjon og rotasjon, som dermed gir oss informasjon om hullenes posisjon og rotasjon. Det andre steget er å da bevege probeverktøyet til hullet for å innhente all den nødvendige informasjonen om hullet. Dette er den ønskelige prosessen. Her har vi også sett på forskjellige måter vi kan automatisere hele prosessen

Kontaktprobing med IP2

For å utføre det første steget med å finne delens posisjon og rotasjon, vil vi her bevege IP2 verktøyet mot en sideflate av delen. Delen må være festet innenfor et spesifikt område, slik at vi vet hvor roboten skal bevege seg til å starte med. Vi vil bruke kraftsensoren til å registrere kontakt med delen. Når IP2 treffer delen vil vi lagre denne posisjonen. Deretter lagrer vi en til posisjon langs denne sideflaten. Disse to punktene gir oss nok informasjon til å regne ut rotasjonen til delen rundt Z-aksen(R) med trigonometriske funksjoner. Delen vil ligge flatt på et fikstur, så rotasjonen rundt de andre aksene er fastsatte og er ikke noe vi trenger å finne for hver operasjon. Men skulle det ønskes å finne dette for hver operasjon vil vi på samme måte bruke to punkter til å regne ut rotasjonen rundt aksene.

Etter at vi har rotasjonen rundt Z-aksen skal vi bevege oss mot en annen sideflate som ligger 90° på den første sideflaten. Når vi treffer flaten og lagrer et punkt vil dette gi oss nok informasjon til å sette et origopunkt i lik posisjon og lik rotasjon for hver eneste operasjon. Siden origopunktet er likt i forhold til delen for hver eneste operasjon, så kan vi programmere banen for «shaft insert» i forhold til dette origopunktet. Hvordan prosessen vil fungere og bli kalkulert i detalj kan du se under.

Roboten beveger seg først til $P_1 = (X1, Y1)$ og $P_2 = (X2, Y2)$ og lagrer verdiene, se figur 6.4.3.1. Her ser vi kun på X og Y verdiene til punktene. Etter disse to punktene er registrert starter vi kalkulasjonene. Vi regner ut vinkelen α , ved å ta:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{mot}{hos}$$

Hvor: $hosliggende = X2 - X1$

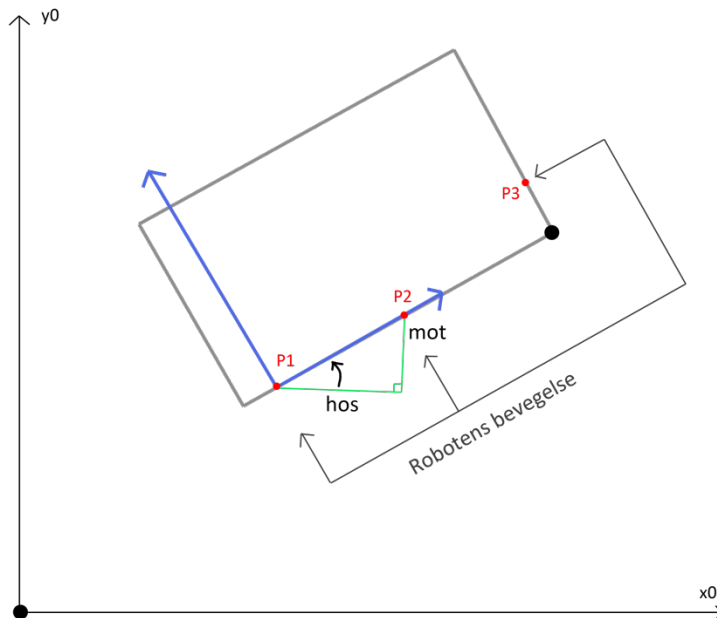
$$motstående = Y2 - Y1$$

Også mulig å bruke:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{hos}{hyp}$$

$$hyp = \sqrt{hos^2 + mot^2}$$

Vi setter origo i P_1 og legger til rotasjon rundt Z-aksen (R-aksen) lik α , dette vil danne en User frame (UFrame). Vi går til og lagrer P_3 . Dette punktet blir lagret i den nye Uframen, og vi tar i bruk X verdien fra P_3 . X verdien forteller hvor sideflaten er, så vi kan da bevege roboten fra P_1 pluss denne X verdien og lagre posisjonen som origo for Uframen. Dermed vet vi delens rotasjon R og delens posisjon. Vi har nå en Uframe plassert i hjørnet av delen med riktig akse.



Figur 6.4.3.1: Probestoress ved hjelp av IP2.

Etter å ha funnet delens posisjon og rotasjon vil vi bruke «shaft insert» i alle hullene. Dermed vil vi få all den nødvendige informasjonen om hullene. Her har IP2 en fordel i forhold til IP1 ved at en konet tupp gjør det enklere å være innenfor marginene som kreves for å «shaft insert».

Ved bruk av IP1

For å finne delens posisjon og rotasjon har IP1 en fordel fremfor IP2. Med IP1 kan vi bruke «facematch» til å finne rotasjonen rundt aksene, istedenfor å bruke flere punkter og trigonometri. «Facematch» på overflaten vil gi oss informasjon om både rotasjon rundt X- og Y-aksen, og «facematch» på en sideflate vil gi oss rotasjon rundt Z-aksen. Deretter bruker vi et punkt til på en sideflate som ligger 90° på den første sideplaten til å sette et origopunkt som vil være helt likt i forhold til delens posisjon og rotasjon for hver eneste operasjon. Bruk av «facematch» er derimot ikke bare en fordel. Det er en ekstra funksjon som blir implementert og brukt og muligens mer kode for å bruke funksjonen riktig.

Det neste steget vil fungere på samme måte som ved bruk av IP2, vi bruker «shaft insert» til å hente inn all nødvendig informasjon om hullene. Her ligger ulempen til IP2 ved at den ikke er koneformet og har dermed en mindre feilmargin til å utføre «shaft insert» på.

Med 2D iRVision kan vi ved bruk av kameraet finne posisjonen og rotasjonen til delen og hullene. Når vi har denne informasjonen vil vi som ved andre prosesser bruke «shaft insert» for å få all nødvendig informasjon om hullene.

Uten å sette Uframe eller 2D-syn

Autonom probing kan gjøres uten UFRAME eller 2D-syn ved å bruke «search»- eller «hole search»-funksjonene. Proben kan bevege seg over delen for å lokalisere eventuelle hull.

1. Søker etter hull «hole search» -> punkt 3 eller 4
2. Beveger seg Xmm i x eller y retning -> punkt 1
3. Finner ikke hull -> punkt 2
4. Finner hull -> punkt 5
5. «Shaft insert» i hull og lagrer hull -> punkt 2

Denne prosessen er en tidlig utgave som ikke er veldig god. Denne metoden vil ta veldig lang tid. Samtidig er den en stor ulempe å bruke «search» funksjoner, siden disse krever at vi beveger verktøyet langs overflaten til delen. Det er dermed veldig lett å ripe opp delen, noe som ikke kan skje etter kravspesifikasjoner.

6.4.4. Valg av probeprosesser

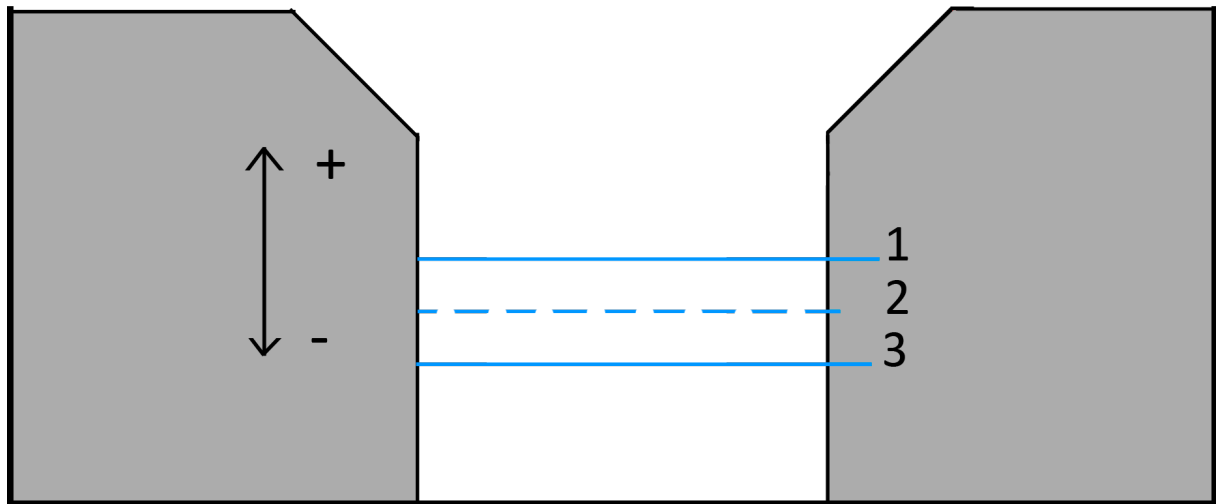
Probeprosessene vi vil bruke er kontaktprobing med IP2 og 2D iRVision med IP2. Grunnen til dette er at disse metodene er de beste med tanke på at de fungerer selv når delen er plassert med mye rotasjons- og posisjonsfeil. Disse metodene bruker også IP2 som vi har kommet frem til er det beste probeverktøyet for denne oppgaven. Bakgrunnen for at vi har to probeprosesser er fordi KDA er interessert i å se løsning med begge disse prosessene etter våre forslag.

6.5. Ekstra tiltak for å oppnå krav

Som nevnt tidligere er det svært små toleranser, spesielt når det kommer til diameter ved overflaten, som i vårt tilfelle blir til toleranse for forsenkingsdybde.

Ved for eksempel forsenking, så vil vi for øyeblikket sikte oss inn på en dybde som ligger midt mellom maksimum og minimum toleranseverdier. Som vist i figur 6.4.3.1 er dette punkt 2. Dette gir oss en mulig feilmargin på $\pm 0,1278$ mm. Om vi ikke alltid klarer å holde oss innenfor denne toleransen trengs vi ekstratiltak.

Et tiltak for å løse dette kan være å ta i bruk et måleverktøy. Med tanke på forsenking trenger vi et verktøy som enten må kunne måle dybde eller måle diameter ved overflaten. Vi kan sette måleverktøyet som et tredje ledd på multiverktøyet. Med dette verktøyet kan vi nå sikte forsenkingsprosessen inn på den minste dybden, punkt 1 i figur 6.4.4.1. Dermed kan det bli mye enklere å være innenfor toleransene, siden vi har mye mer å gå på i dybderetning. Vi har nå fått en litt større feilmargin i dybderetning (minus) å jobbe med. Så det blir enklere å holde oss innenfor toleransene. Får vi en feil i plussretning vil vi ha forsenket for lite. Da vil dette bli målt og vi kan si at vi skal bore litt til, helst så lite som mulig, for eksempel 0,05 mm. Og deretter kan vi sjekke hullet igjen.



Figur 6.4.4.1: Illustrasjon av feilmarginer.

7. Arbeidskomponent

7.1. Arbeidsmaterialet

7.1.1. Egenskaper

For å kunne bore og forsenke i materialet til flystrukturene, måtte vi få litt mer kunnskap om materialets egenskaper for å sikre oss at det ikke blir ødelagt under systemets operasjon. Ved å kontakte vår oppdragsgiver fant vi fort ut metallens legeringskode som er Aluminium 2124 T851. Dette materialet har en flytegrense på 393 MPa og en fasthetsgrense på 455 MPa. Komponentens består av ett lokk og en ramme som skal bli festet sammen med nagler. Operasjonen krever høy nøyaktighet og presisjon for at hullene skal oppnå toleransene som er satt.

7.1.2. Metallens toleranser og dimensjoner

Lokket og rammen har begge forborede hull før vi begynner med vår utarbeiding av komponentene. Hullene skal bores slik at de vil få en diameter mellom $\varnothing 6,604 - 6,680$ mm. Dette vil si at vi har en toleranse på 0,076 mm som vi må ligge innenfor slik at resultatet av boringen skal være akseptert. Forsenking skal være 100 grader og ha en dybde mellom 2,8232 mm – 3,2232 mm som vil gi oss en toleranse på 0,4 mm som er litt mer å gå på. Dette er svært strenge toleranser som krever verktøy med stor nøyaktighet i samarbeid med høy presisjon fra FANUC M-10iA/10s.

7.1.3. Festing av arbeidskomponent

Lokket og rammen festes i dag sammen med styrepinner som fester seg inni de forborende hullene. Dette fører til at lokket ikke beveger seg i forhold til rammen under boring og forsenking. Etter hullene er ferdigboret, blir pinnene plassert i ferdig utarbeidede hull slik at de resterende hullene også kan bores. Denne prosessen er ikke den mest effektive med tanke på måter man kan holde fast to komponenter under en behandlingsprosess, men grunnet tidsbegrensinger er det denne løsningen vi må jobbe etter. Styrepinnene kan justeres i diameter slik at det passer et spekter av hullstørrelser.

Hovedkomponenten (rammen) festes til en monteringsstasjon, boltet til bakken. Denne monteringsstasjonen har to klemmer som er spesialdesignet til å klemme fast rammen. Monteringsstasjonens øvre del er koblet via en kulefeste som kan bli brukt til å justere posisjonen til den øvre delen. Stammen til hodet på monteringsstasjonen plasseres da i ett hakk hvor den blir låst for bevegelse i XYZ retning. Rammen kan da bli montert i ønsket posisjon. Problemet med denne løsningen er at delen kan rotere i WRP retning som er uønsket og gjør det mer komplisert for FANUC armen til å lokalisere delens nøyaktige posisjon før boring og forsenking starter. Ved videre undersøkelse av monteringsstasjonen, fant vi ut at delen kan bevege seg når man påfører en liten kraft på dens overside. Dette vil ha store konsekvenser når roboten begynner å påføre en kraft på delen når den skal bore og forsenke. Denne ustabiliteten kan føre til økt vibrasjon og kan justere delens kartlagte posisjon slik at de andre hullene da blir boret feil siden deres koordinater har blitt forandret.

Ved å diskutere problemstillingen med KDA, har vi kommet til en konklusjon om at probing og kartlegging av komponenten under slik ustabilitet og usikre forhold ikke vil være mulig dersom vi skal holde oss innenfor ønskede toleranser. Dette vil da bety at en ny monteringsstasjon må bli designet og konstruert, slik at vi kan eliminere bort rotasjonsbevegelse og mulig ustabilitet ved påføring av kraft på delen.

7.1.4. Testdel

Vi vil designe en testdel og produsere denne for prototyping. Testdelen vil bestå av en forenklet modell som har tilnærmet hulldimensjon og forsenkning som den originale delen. På denne måten kan vi benytte samme multiverktøy med samme dimensjoner for bor og forsinker. Dette vil hjelpe med å komme nærmest mulig en gjenspeiling av den endelige prosessen.

Testdelen skal ha forenklet geometri slik at den er lettere å låse fast for bevegelser i alle retninger inkludert rotasjonsbevegelser. Den skal også bli laget av Aluminium for å bidra til gjenspeiling av resultatet på hullene i den endelige prosessen. Testdelen vil bli designet ved bruk av SolidWorks og bli enten produsert på skolen eller hos vår oppdragsgiver.

7.1.5. Hvorfor lage testdel?

Grunnen for at vi skal lage en testdel er på grunn at den virkelige delen systemet vårt skal operere på er kostbar. Ved å lage en testdel, kan vi teste systemet med mindre kostnader. Under testingen kan vi validere og verifisere at systemet vårt operer etter kravene. Under prosessen for å programmere roboten, må vi kunne utføre fysiske tester, siden simuleringsprogrammet ikke simulerer virkeligheten, men er mer som en veiledende programvare. Ved å lage en «billig» testdel som har like mål på hullene og forsenkningen som den virkelige delen, men med forenklet geometri kan vi utføre flere tester samt lære under denne prosessen. Testdelens hovedfunksjon er å kunne teste FANUC roboten og multiverktøyets funksjoner samt nøyaktighet på en billig komponent i tilfelle testing av operasjonen mislykkes.

8. Multiverktøy (ekskludert probing)

8.1. Spindel/Motor

En spindel er en høy-presisjon, høy-pålitelig motor som blir brukt til å rotere en aksel, hvor en collet eller en chuck er tilkoblet. For å kunne finne en spindel som passer vårt prosjekt må den oppfylle visse kriterier, slik at den kan utføre en vellykket operasjon. Spindelen kan driftes ved hjelp av elektrisitet eller luft, avhengig av spindeltypen. Spindelen må være kraftig nok til å bore og forsænke Aluminium med ønsket sluttresultat. Dens vekt kan ikke overstige 9,43 kg når den er montert med de resterende delene av multiverktøyet. Spindelen vil være kjernen til multiverktøyet og vil derfor ha størst påvirkning på resultatet av boringen og forsænkningen. Den må derfor kunne bore og forsænke innenfor en toleranse av 6,604 – 6,680 mm for boring og 13,360 – 13,970 mm overflatediameter for forsænkning. Det finnes mange forskjellige typer spindler som er elektrisk- og luftdrevet. Ved forskning har vi kommet fram til diverse alternativer som er inkludert i dokumentet.

8.1.1. Hvorfor trenger vi spindel/motor?

I vårt tilfelle har vi stor utnyttelse av en motor for vårt prosjekt siden det innebærer drilling og forsænkning i flystrukturer laget av aluminium. Som sagt så er motoren kjernen til multiverktøyet. Motoren driver da drillbiten, gir kraften og hastigheten som trengs for å skjære i materialet. En elektrisk motor overfører elektrisk energi til mekanisk energi, mens en luftmotor benytter seg bare av mekanisk energi gjennom komprimert luft. Videre så bidrar motoren til å sette multiverktøyet og dens komponenter i drift og forårsaker samarbeid mellom dem, til å utføre dens egnet funksjon.

8.1.2. Elektrisk spindel

En elektrisk spindel er en motor som konverterer elektrisk energi til mekanisk energi. De vanligste elektriske spindlene som blir brukt, er AC spindel. AC spindelen har høy ytelse med regulerbar hastighet. For de fleste situasjonene, krever det å holde en konstant verktøykraft og en konstant rotasjonshastighet. En AC spindel har evnen til å justere seg etter krefter og momenter som endrer seg underveis mens den skjærer. Dette er en stor fordel for å få ønsket overflatefinish på komponenten. En ulempe med dette er at spindelen har ett behov for en 'encoder' eller 'resolver' for å opprettholde en konstant hastighet og momentkontroll. En vektorkontroll kan bli brukt for å drive spindelen. [1]

For at elektriske spindler skal kunne oppnå maks ytelse, trenger de en separat vifte som kjøler ned motoren i spindelen. Dette på grunn av varmen som oppstår når spindelen kjører for fullt. Disse viftene opererer separat fra spindelens hastighet for en mest mulig optimal avkjøling. Uavhengigheten mellom viften og spindelen er en fordel for systemets operasjon og ytelse, men er i tillegg en ulempe med tanke på systemets kompleksitet og størrelse. Videre så er det flere ulemper som følger en elektrisk spindel, siden den inneholder elektriske komponenter. Disse kan bli overbelastet under operasjon til punktet hvor de kan ta fyr. Videre så trenger systemet en relativt kraftig strømkilde, som krever ett ledningsnett. En AC-elektrisk spindel har tunge deler som veier mye, som i vårt tilfelle er en stor restriksjon. Dette fører til at elektriske spindler ikke har like effektive vekt- til ytelsesforhold som luftspindler. Uansett spindelens fordeler og ulemper, har vi tatt flere modeller inn til betraktning for vårt prosjekt for å prøve og lokalisere den beste spindelen for vår operasjon. [1]

Suhner spindel-motor 1800 W 230 V

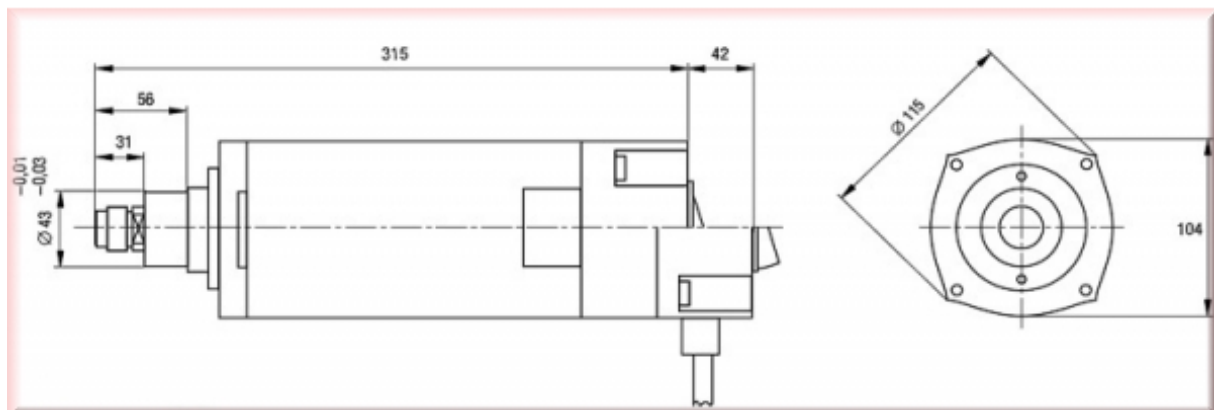
Dette er en elektrisk spindel som er laget for små CNC maskiner. Den er produsert av Suhner som er et selskap som er over 100 år gammelt og har over 700 ansatte. De har spesialisert seg innen industrielle produkter og produseringsprosesser. Spindelen driftes med 230 volt, maks effekt er på 1800 watt og den har en rotasjonshastighet mellom 2500 – 23500 RPM. Spindelen er en sikkerhets-isolert universalspindel med et høyt effektivitetsnivå. Spindelen er svært kraftig med store energireserver til tross for dens kompakte størrelse. [2]



Figur 8.1.2.1: Suhner 1800 W Spindel [2]

Den har en stabil chuck som har en diameter fra 0 til 43 mm i stålfinish. Spindelen er utstyrt med presisjon dobbel «bearings» for kraftig og høy presisjonsskjæring. Den er designet slik at den har presis operasjonsnøyaktighet, selv under tung last. Suhner har utviklet sin egen elektroniske «tacho» regulering, som fører til jevn skjærhastighet og drift under konstant arbeidshastighet. Den har også støtsfri oppstart som beskytter motoren, verktøyet, samt en PTC temperatur monitor. [2]

Den veier 4,8 kg og er laget for millingoperasjoner, men kan også brukes for boring. Den har en kraftig motor med høy effektivitet på 69%. Den kan koble til collets opp til en diameter på 12 mm og kan monteres ved chucken som har en diameter på 43 mm. [2]



Figur 8.1.2.2: 2D Tegning av Suhner 1800 W [3]

Figuren over viser til produktets forenklet 2D tegning hvor man kan se hovedmålene på Spindelen. Dens totale lengde er opp mot 360 mm som er ganske langt for kun en spindel. Diameteren på husingen er på 115 mm på sitt største. Under er det inkludert en tabell som gir oversikt over teknisk data om spindelen og dens varianter. [3]

Tabell 8.1.2.1: Teknisk Data Suhner 1800 W [3]

Typ Type Modèle	Art.-Nr. Item no. No. d'article	Leerlaufdrehzahl Idling speed Vitesse de rotation à vide	Aufnahmeleistung Rating Puissance en entrée	Lastdrehzahl Speed under load Vitesse sous charge	Abgabeleistung Output rating Puissance réelle	Wirkungsgrad Efficiency Efficacité	Drehmoment Torque Couple	Spannungsvarianten Voltage variants Types de tension	Standardspannzange Standard collet Pince de serrage standard	Bemerkungen Notes Remarques	Gewicht Weight Poids
		[min ⁻¹]	[W]	[min ⁻¹]	[W]	[%]	[Nm]		[mm]		[kg]
UAL 25-F	64 066 01	25 000	1800	16 200	1250	69	0,73	110 / 230 V 50 / 60 Hz	8	ohne/ none/sans	4,7
UAL 14-RF	64 066 10	2500 – 14 000	1500	14 000	1000	67	0,68	110 / 230 V 50 / 60 Hz	8	*	4,8
UAL 23-RF	64 593 05	2500 – 23 000	1800	16 200	1250	69	0,73	110 / 230 V 50 / 60 Hz	8	*	4,8
UAL 24-RF	64 593 06	6000 – 24 000	1800	16 200	1250	69	0,73	110 / 230 V 50 / 60 Hz	8	*	4,8
UAL 10-RF	64 066 04	4000 – 10 000	1100	9 500	710	65	0,71	110 / 230 V 50 / 60 Hz	8	*	4,8

Fra tabellen over kan man få en oversikt over de forskjellige variantene til Suhner sin 1800 W spindel. Den første varianten har ikke integrert elektronisk «tacho» regulering, så den vil bare ha en fast rotasjonshastighet og er derfor egnet for hurtigere skjæring som for eksempel fresing. De andre variantene har integrert elektronisk 'tacho' regulering og derfor kan hastigheten bli justert etter behov. Det som skiller variantene er effekten på motoren, som påvirker dreiemomentet og rotasjonshastighet. For vårt tilfelle trenger vi lavest mulig hastighet og derfor vil UAL-10-RF være varianten som er mest relevant for oss og vårt prosjekt, selv om 9,500 RPM er svært mye når det skal bores samt forsenkes. Alle variantene til Suhner kommer det en 8 mm collet som standard med i bestillingen. Denne colleten vil ikke passe vårt bor fra KDA. Vi må derfor bestille en annen variant som er 7 mm eller bestille collet fra en annen leverandør. Prisen på denne spindelen ligger på 529,00 Euro og vil ha en leveringstid på 4-5 dager pluss internasjonal transport tid ca. 5 dager ekstra. [3]

Videre så kan Suhner 1800 W serien kombineres med en «tool changer» der bytting av verktøy blir enklere, mindre tidkrevende og mer effektivt. Den er festet ved skruing av «tool changer» til spindelen. Dens funksjonalitet innebærer en SK tool holder som er en ER11 collet, hvor boret vil bli plassert. SK15 holderen er holdt med en fjær i kjeglen. Videre så har SK15 en pneumatisk sylinder (luft port 1) som presser toolholderen ut fra kjeglen. SK15 har også en til luftport (luftport 2) som er integrert med «blow-out» port 1 for å rense kjeglen under bytting av tool. Under er det listet noen spesifikasjoner for SK15. [4]

Spesifikasjoner:

- Aluminum 7075, hard-anodized
- Stainless steel spindle
- Double ball bearings
- Concentricity of 0,01 mm
- Weight 0,9 Kg
- Tensile force of the spring 25 Kg
- Uses SK Toolholders for ER11 Collets (1-8mm)
- Operating pressure 8 bar
- 2 pneumatic connectors for 4 mm Tubing
- Fastening with 43 mm mount



Figur 8.1.2.4: Automatisk Tool Changer [4]

- Suitable for speeds up to 28,000 rpm
- The spindle is 55 mm longer through the tool changer
- Diameter of tool changer: 59 mm

Totalt vil disse to veie 5,7 kg som er under 9,43 kg grensen vår, men vi må i tillegg lage festemekanisme for denne delen, der vi må passe på å ikke overstige vektgrensen. Prisen på SK15 ligger på 599,00 Euro. [4]

For at operasjonen skal kunne fungere vil det trenge to elektro-pneumatiske 3/2 ventiler for å kontrollere luften for bytting og for blow-out funksjonen. Suhnner spindelen med bytting av tool er hovedsakelig egnet for bruk i hobby relaterte aktiviteter som for eksempel drilling og fresing eller for bruk i produsering av mindre enkelte deler eller små serieproduksjon. Produktet er ikke egnet for bruk i profesjonell sammenheng med langsiktig bruk eller industriell produksjon. Dette gjør produktets kapasitetsnivå usikkert for vår operasjon. [4]

HF-Motorspindel Set 8022 air cooled 2,2 kW

Dette er en elektrisk spindel som er en av de kraftigste som er luftkjølt, takket være en integrert vifte som er veldig stillegående. Dette medfører til at man ikke trenger å tenke på vann eller olje for å kjøle ned spindelen, samtidig som det er en billigere innkjøpspris og enklere installasjon. Den kan bruke verktøy opp til 12 mm takket være ER16 collet. Vekten er på 4,8 kg. Spindelen har en «variable-speed asynchronous motor» som medfører til jevn spinning og konstant momentkraft til og med ved lavere hastigheter. Siden den har en integrert vifte for kjøling, har den lavt støynivå, rundt 300Hz. Ved 400 Hz, kan støynivået bli sammenlignet med støy fra en PC vifte. Tabell 8.1.2.2 viser spindelens spesifikasjoner. [5]



Figur 8.1.2.5: HF-Motorspindel 8022 [5]

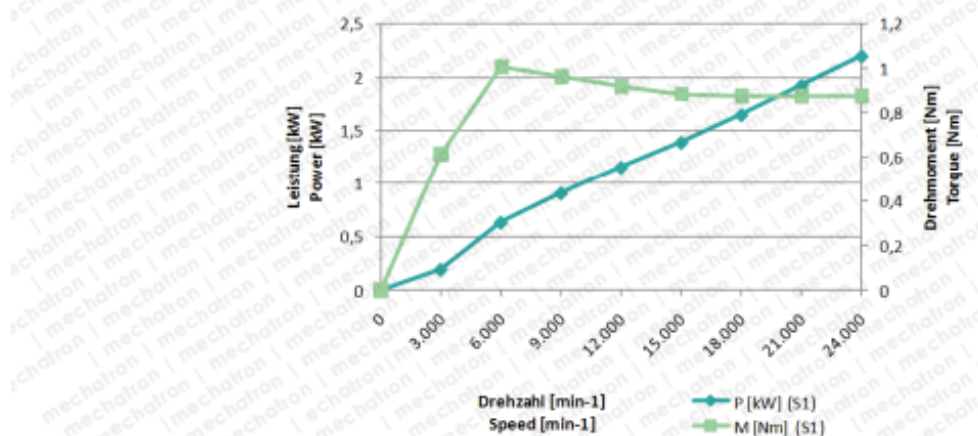
Tabell 8.1.2.2: Teknisk data HF-motorspindel [6]

Technical data & connection values

Bezeichnung Name	MECHATRON HFS-8022-AC	Drehzahl Rotation Speed	24.000 min ⁻¹
Kühlung Cooling	Aktive Luftkühlung Active air cooling	Spannzange Collet	ER16 426E DIN6499B
Nennleistung Rated Power	S1 (100%) 2.2kW	Frequenz Frequency	400Hz
Gehäusetemperatur Housing temperature	Max. 45°C	Spannbereich Clamping range	1-11mm (1-12mm auf Anfrage) 1-11mm (1-12mm on request)
Spannung Voltage	230VAC	Polpaarzahl Pole pairs	1
Spindellager Spindle bearings	4x Stahl (2x Duplex Tandem) 4x Steel (2x Duplex Tandem)	Rundlauf (Innenkegel) Runout (inner Taper)	<5,0µm
Strom Current	S1 (100%) 8.0A	Werkzeugwechsel Tool Change	Manuell, Spannmutter Manually, clamping nut
Schmierung Lubrication	Fett, wartungsfrei Grease, maintenance free	Gewicht Weight	4,8kg

Spindelen krever en energikilde på 230 V, som er en standard. Den har maks husingsstemperatur på 45 grader celsius, men på grunn av dens integrert vifte vil ikke temperaturen være noe problem under operasjonen. Spindelen har en effekt på 2,2 kW med en maks driftshastighet på 24000 RPM. Denne hastigheten er svært høy, men ved bruk av spindelens «variable-speed asynchronous motor» kan hastigheten justeres. Figur 8.1.2.7 viser oversikt over spindelens effekt, dreiemoment og rotasjonshastighet. [6]

Leistungs-/Drehmomentdiagramm
Power/Torque vs. speed diagram

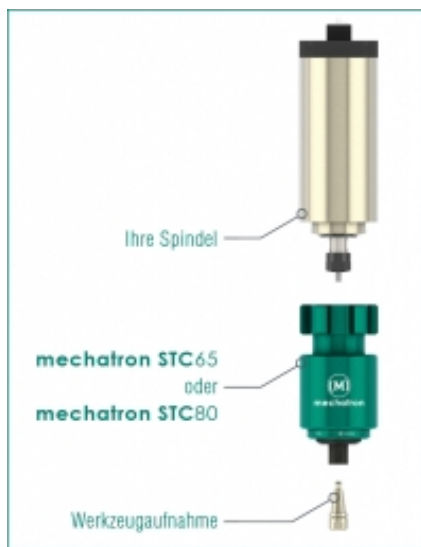


Figur 8.1.2.7: HF-Motorspindel Diagram [6]

Diagrammet over illustrerer dens effekt (blå linje) mot rotasjonshastighet. Høyere hastigheter krever mer effekt, forholdet på figuren viser nesten et lineært forhold mellom disse to variablene. Diagrammet viser også forholdet mellom dreiemoment (grønn linje) og rotasjonshastighet. Mellom 0 til 6000 RPM stiger dreiemomentet til spindelen raskt, før den eventuelt når sin maks dreiemomentnivå på omtrent 1 Nm ved 6000 RPM, deretter minsker momentet litt før den stabiliserer seg på 0,9 Nm. Dens maksimale moment på 1Nm er ikke fordelaktig i vår prosess. Forsenking trenger lav hastighet med høyt moment. Ved analyse av

dette diagrammet, har spindelen lavere dreiemoment ved lavere hastigheter som ikke er ønsket for vår prosess og må da tas i betraktning når valg av spindel skal gjennomføres. Prisen på spindelen ligger på 1359,90 Euro og har en leverings tid på 2-3 dager pluss eventuelt internasjonale shipping tid. [6]

Videre så kan denne spindelen brukes sammen med en «mechatron tool change adapter» som heter STC80, slik at spindelen får funksjoner for automatisk verktøy bytting. Spindelen og automatisk «tool changer» vil veie 6,5 kg til sammen. Som vil holde seg under maksgrensen for robotens bæreevne. Spesifikasjoner og teknisk data av STC80 er skrevet i tabellene under med et illustrasjonsbilde på venstre side for å få en indikasjon på dens størrelse i forhold til selve spindelen og eventuelle collets som vil holde toolet. Prisen på STC80 ligger på 899,00 Euro og har en leveringstid på 3-4 uker pluss internasjonal leveringstid. [7]



Tabell 8.1.2.3: Mechatron STC80 teknisk data [7]

Bezeichnung Name	mechatron STC80	Werkzeugaufnahme Tool Holder	ISO10
Antriebsleistung Drive Power	Max. 2,2 kW / 0,9Nm	Spannbereich Clamping range	ER11 (1-8mm), ER16 (1-12mm)
Drehzahl Rotation Speed	Max. 24.000 min ⁻¹	Lösedruck Release pressure	min. 6 bar, bis 15 bar mit Druckwandler
Ø Antriebswelle Ø Drive shaft	6mm	Erhältliches Zubehör Available accessories	min. 6 bar, up to 15 bar with pressure converter Druckwandler, Pneumatiksat, Werk- zeugmagazine, Werkzeuglängentaster
Lagerung Bearings	2x Spindellager Stahl 2x Spindle bearings Steel	Empfohlener Einsatzbereich Recommended Use	Max. Eingriffsquerschnitt 12mm ² in Aluminium
Schmierung Lubrication	Fett, wartungsfrei Grease, maintenance free	Kühlung Cooling	Max. cutting cross section 12mm ² in aluminum
Kompatibel zu mechatron Compatible to mechatron	HFS-8015-24, HFS-8022-24, HFSAC-8015-24, HFSAC-8022-24	Werkzeugwechsel Tool change	Passiv über Spindelträger Passive by spindle holder
Werkzeugwechsel Tool change	Pneumatisch pneumatic	Gewicht Weight	1,7 kg

Figur 8.1.2.8: Spindel med Tool Changer [7]

8.1.3. Luftspindel

En pneumatisk motor (luftmotor) er som sagt tidligere, en luft motor som konverterer komprimert luftenergi til mekaniskenergi. Konverteringen skjer vanligvis mellom lineær eller roterende bevegelse. Lineær bevegelse kan komme fra enten et stempel aktuator eller en membran, mens roterende bevegelse medfølger av enten en «vane» luftmotor, stempel luftmotor, luftturbin eller en gir type motor. Den typen som er mest interessert for oss i dette prosjektet er da rotasjon «vane» motorer. [8]

Roterende vane motorer bruker da komprimert luft til å produsere roterende bevegelse til en aksel. Den roterende delen er en plassert rotor som er montert på en drivaksel. Hver plassering på rotoren er brukt til å tilpasse fritt skyvende rektangulære «vanes». Disse vanesene er forlenget til husingsveggen ved bruk av fjærer eller lufttrykk som avhenger av motorens design. Luft er da pumpet inn mellom motoren som da presser mot vanesene og fører til rotasjonsbevegelse av den sentrale aksel. Rotasjons hastighet varierer vanligvis mellom 100 opp mot 25,000 RPM, men dette avhenger av mange andre faktorer slik som lufttrykket ved inngangsløpet og diameteren av husingen på motoren. [8]

Pneumatiske motorer dekker en utbredt mengde av applikasjoner i hånd-heldt verktøy som inkluderer skrutrekkere, driller, mutterløpere, pulsverktøy også videre. Disse motorene har også sine bruksområder innenfor visse industrielle applikasjoner. Videre så har pneumatiske motorer en lav effektivitet og de har behov for tilgang til en luft-kompressor. Men på tross av dette, har luftmotorer mange fordeler overfor elektriske spindler.

Luftmotorer tilbyr god effektivitet med tanke på at en mindre luftmotor kan produsere like mye effekt som en større elektrisk motor. Pneumatisk luftmotor har ikke behov for hastighetskontroller som gjør den mer kompakt og de genererer ikke like mye varme som elektriske motorer. Luftmotorer kan ikke overbelastes siden de ikke inneholder elektriske komponenter.

450HD Luftdrill

Luftdrill av typen 450HD er en kraftig luftdrevet drill som er velegnet for robotisering. Dens kropp er laget av aluminium for å spare vekt mens dens monteringsområde er konstruert av stål. 450HD serien er produsert hos Air Turbine Tools som spesialiserer seg innenfor industrielle luftdriller av høy kvalitet. 450HD drillen er svært effektivt til fresing, polering, drilling, ruting og markering.

Som man kan se fra figuren på høyre side, opererer 450HD i 25,000 - 40,000 RPM områder med konstant fart og dreiemoment under variabel last. Effekten på drillen ligger på 0,88 hp (0,66kW). Enheten veier kun 1,30 kg som er nødvendig, siden det ferdige produktet ikke skal overstige 10 kg. Denne drillen er designet til å operere hele døgnet rundt. Den har større nøyaktighet, raskere matningshastigheter som leder til økt produktivitet. Systemet er helt fri for olje grunnet fettpakket kulelagre. Høy periferihastighet for forbedret skjæring, renere overflate og lengre verktøyliv. [9]



Figur 8.1.3.1: 450HD Luft Drill [9]

Dette er et turbindrevet verktøy som består av færre bevegelige deler som fører til, mindre generert varme, mindre reparasjoner og ingen skovler som igjen fører til at man ikke trenger mye vedlikehold. Dens operasjonstøy ligger under 67 dBA som er svært lavt for en industriell drill av slik type. [9]

For at drillen skal fungere optimalt, må flere krav oppfylles av kunden. Disse kravene er listet opp under i punkter.

- Inntakslufttrykket må ligge på 90 psi (6,2 bar)
- Luften må være ren og tørr (sparer 30% av komprimert luft)
- Luftkompressor må forsyne luftforbruk av drill under arbeid som ligger på 35cfm (16,52 l/s)
- Må ha drill- og forsenningsbor som er egnet for 40,000 rpm

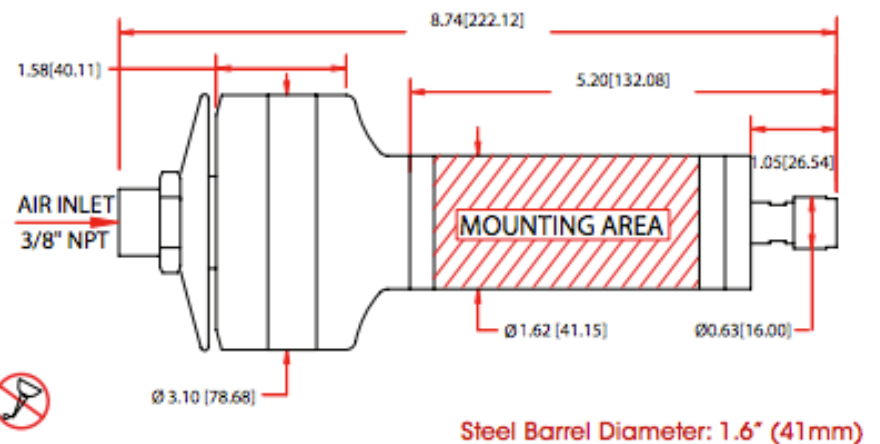
Tabell 8.1.3.1: 450HD spesifikasjoner [9]

General Specifications	450HD
Governed Speed rpm	25,000 / 30,000 / 40,000
Power Rating hp (kW)	.76 (.57) / .83 (.62) / .88 (.66)
Inlet Air Pressure	90 psi (6.2 bar)
Idle Air Consumption CFM (L/S)	13 (6.1) / 14 (6.6) / 14 (6.6)
Working Air Consumption CFM (L/S)	14 (6.6) - 35 (16.52)
Sound Level (with exhaust hose fitted)	Less Than 67 dBA
Max Shank Capacity	ER 11 - 1/4" (6mm)

450HD har mulighet for kun enten boring eller forsenkning under en prosess, det vil si at operatøren må bytte bor mellom boring og forsenkning. Dette var ikke opprinnelig planen. Ønsket var å implementere forsenkning og boring i en og samme prosess for å gjøre prosessen mer effektivt og tidsvennlig. Ved en del forskning om eksisterende teknologi, finnes det ikke en integrert forsinker på ett bor for industriell bruk i RPM områder av 40,000. [9]

Videre så kommer 450HD uten ett kontrollsystem som forenkler prosessen og implementering av 450HD med resten av systemet. Produktet må bli integrert slik at den vil samarbeide med FANUC FS-15iA kraftsensor som hovedsakelig vil bli brukt til probeprosessen. 450HD kommer ikke med festemekanisme til FANUC M10iA/10S, gruppen må derfor designe en festemekanisme egnet for å utføre denne oppkoblingen. Utgangspunktet for design av festemekanisme vil i dette

tilfelle ta utnyttelse av 450HD sin 2D-tegning som vist i figuren på høyre side. Som nevnt tidligere så er 450HD designet slik at den har en «mounting area» hvor festemekanismen skal holde 450HD fast under operasjon. Dette området har ett ytere skall av stål som vil tåle påførte krefter for innstramning av festet. Luftinntaket er lokalisert på toppen av produktet som må tas i betraktning om en festemekanisme skal bli produsert for dette produktet. [9]



Figur 8.1.3.2: 450HD tegning [9]

DEPRAG Air Vane Motors

Et annet alternativ er air vane motorer fra DEPRAG som er ett tysk selskap med internasjonal ledende maskineringsteknologi innenfor industri. DEPRAG sitt utstyr er eksplosjonsfri, varig, lett å vedlikeholde, produsert av rustfritt stål, kompakt og kan steriliseres.

Videre så har DEPRAG sin air vane serie flere positive aspekter. Air vane motorene kommer med en patentert «vane-exchange feature», med lav leveringstid og fleksible material opsjoner.

Av air vane serien, har DEPRAG sin egen sub-serie av drilling, fresing og sliping, hvor drilling er da av interesse for oss. Drillmotorene har et relativt slankt design som tillater kompakte seriekoblinger for økt produksjon. Tilgjengelige ytelsesklasser varierer mellom 80 W – 600 W, som har en rotasjonshastighetsvariasjon mellom 150 – 24,000 RPM. Videre så er drillmotorene robuste og har presise kulelagre. Motorene har høy driftsnøyaktighet og har muligheten til å implementere høypresisjons chuck og collet. Motorens design gjør det lettere for installasjon i roboter og maskiner med høy ytelsesdrift. Dens ytre husing er laget av robust stål som garanterer høy presisjon med operasjonssikkerhet i betraktning. Alle motorene hos DEPRAG kan bli brukt uten smøring. [10]



Figur 8.1.3.3: Innmat på DEPRAG luftmotor [10]

Av drillmotorutvalget til DEPRAG så er det 250 W – 600 W som er av interesse for oss. Alle disse motorene har mulighet til å bore i aluminium med diameter av vårt behov.

Tabell 8.1.3.2: 250W Drilling Motor (DEPRAG) [10]

Motor size 2.5		right rotation					
Series 104- with collet	Type	104-0250-1	104-1250-1	104-2250-1	104-7250-1	104-3250-1	104-4250-1
	Part no.	302897A	302897B	302897C	302897D	302897E	302897F
Series 104- for drill chuck	Type	104-0250	104-1250	104-2250	104-7250	104-3250	104-4250
	Part no.	302900A	302900B	302900C	302900D	302900E	302900F
Nominal-Power	W / HP	250 / 0.33	250 / 0.33	250 / 0.33	250 / 0.33	250 / 0.33	250 / 0.33
Nominal-Speed	rpm	8500	2400	1250	700	350	175
Speed (idling)	rpm	17000	4800	2500	1400	700	350
Nominal-Torque	Nm / in.lbs	0.28 / 2.5	1 / 9	1.9 / 17	3.4 / 30	6.8 / 60	13.6 / 125
Start-Torque min.	Nm / in.lbs	0.42 / 3.7	1.5 / 13	2.8 / 25	5.1 / 45	10.2 / 90	20.4 / 180
Air consumption	m ³ /min / cfm	0.35 / 12	0.35 / 12	0.35 / 12	0.35 / 12	0.35 / 12	0.35 / 12
Weight	kg / lbs	0.8 / 1.8	0.8 / 1.8	0.8 / 1.8	0.9 / 2	0.9 / 2	0.9 / 2
Hose I.D.	mm / in.	6 / 1/4	6 / 1/4	6 / 1/4	6 / 1/4	6 / 1/4	6 / 1/4
for drilling steel up to	Ø mm / in.	–	4 / 5/32	6 / 15/64	8 / 5/16	10 / 25/64	10 / 25/64*)
for drilling aluminium up to	Ø mm / in.	6 / 15/64	6 / 15/64	8 / 5/16	10 / 25/64	–	–

Performance data relate to an air pressure of 6 bar (85 PSI) and lubricated air. With oil-free operation the output will be reduced by 10 - 20%.

*) for stainless steel, air connection and drive shaft regular steel.

Den svakeste av konkurrentene er en 200 W air vane motor. Den har mulighet til å bli levert med forskjellige rotasjonshastigheter og dreiemoment. Nederst i tabell 8.2.3.2 er det inkludert anbefalte diameterhull som den type motor kan drille opptil i stål og aluminium, hvor da aluminium er relevant i vårt tilfelle. Siden hullene i lokket og rammen skal ha en diameter størrelse på 6.604-6.680 mm må vi se på drilling aluminium opptil 8 mm. Modellene av interesse blir derfor 104-2250/-1 og 104-7250/-1. 104-2250/-1 har en nominell hastighet på 1250 rpm og et nominelt dreiemoment på 1,9Nm. 104-7250/-1 har nominell hastighet på 700 rpm og et nominelt dreiemoment på 3,4Nm. Begge disse har en hastighet som er innenfor våre krav og dreiemomentet som passer våre operasjonshastigheter. Vekten på motorene ligger på 800-900 gram som er en fordel når det kommer til implementasjon med FANUC

robotarmen. Disse modellene krever en indre diameter på luftslangen til å være 6mm og krever en luftforsyning på 12 cfm. I tillegg så er dette databladet laget ut ifra operasjon med smøring. Uten smøring kan vi forvente en operasjonsytelse av 10-20% mindre enn det som er skrevet i databladet. [10]

Tabell 8.1.3.3: 400W Drilling Motor (DEPRAG) [10]

Motor size 3		right rotation					
Series 104- for drill chuck	Type	104-030	104-130	104-230	104-730	104-830	104-930
	Part no.	302937A	302937B	302937C	302937D	302937E	302937H
Nominal-Power	W / HP	400 / 0.54	400 / 0.54	400 / 0.54	400 / 0.54	400 / 0.54	400 / 0.54
Nominal-Speed	rpm	8500	2400	1250	700	350	200
Speed (idling)	rpm	17000	4800	2500	1400	700	400
Nominal-Torque	Nm / in.lbs	0.44 / 3.9	1.6 / 14	3 / 26	5.4 / 48	10.5 / 92.9	19 / 168.2
Start-Torque min.	Nm / in.lbs	0.66 / 5.8	2.4 / 21	4.5 / 40	8.1 / 72	15.7 / 138.9	28.5 / 252.2
Air consumption	m ³ /min / cfm	0.42 / 15	0.42 / 15	0.42 / 15	0.42 / 15	0.42 / 15	0.42 / 15
Weight	kg / lbs	0.82 / 1.8	0.82 / 1.8	0.82 / 1.8	0.92 / 2	1.3 / 2.86	1.37 / 3
Hose I.D.	mm / in.	10 / ³ / ₈	10 / ³ / ₈	10 / ³ / ₈	10 / ³ / ₈	10 / ³ / ₈	10 / ³ / ₈
for drilling steel up to	Ø mm / in.	–	4 / ⁵ / ₃₂	6 / ¹⁵ / ₆₄	8 / ⁵ / ₁₆	10 / ³ / ₈	10 / ³ / ₈
for drilling aluminium up to	Ø mm / in.	6 / ¹⁵ / ₆₄	6 / ¹⁵ / ₆₄	8 / ⁵ / ₁₆	10 / ²⁵ / ₆₄	10 / ³ / ₈	12 / ¹⁵ / ₃₂

Performance data relate to an air pressure of 6 bar (85 PSI) and lubricated air. With oil-free operation the output will be reduced by 10 - 20%.

Air connection and drive shaft regular steel.

Tabell 8.1.3.3 viser da neste ytelsesklasse, altså 400 W serien. Denne er et hakk kraftigere enn 250 W motorene. Ved å analysere tabellen, ser man at denne motoren har flere varianter som kan skjære i aluminium hvor 104-230 og 104-730 er av interesse. Disse to variantene har samme rotasjonshastighet som de svakere 250 W motorene, 1250 rpm og 700 rpm henholdsvis, men høyere dreiemoment. 104-230 har 3 Nm nominelt dreiemoment og 104-730 har 5,4 Nm nominelt dreiemoment. Dens vekt varierer mellom 820 g til 920 g. 400 W serien krever en indre diameter på luftslangen til å være 10 mm og luftforsyningen til å være 15 cfm. Videre så har denne serien en nøyaktighet opptil 0,05 mm som vil sørge for at den borer innenfor våre toleranser. [10]

Tabell 8.1.3.4: 600W Drilling Motor (DEPRAG) [10]

Motor size 6		reversible						
Series 67- for drill chuck	Type	67-016B16	67-026B16	67-036B16	67-046B16	67-056B16	67-066B16	67-0661B16
	Part no.	445353H	445353B	445353C	445353D	445353E	445353F	445353G
Nominal-Power	W / HP	600 / 0.8	600 / 0.8	600 / 0.8	600 / 0.8	600 / 0.8	600 / 0.8	300 / 0.4
Nominal-Speed	rpm	1750	1350	850	315	240	150	75
Speed (idling)	rpm	3500	2700	1700	630	480	300	150
Nominal-Torque	Nm / in.lbs	3.2 / 28	4.2 / 37	6.7 / 59	18 / 159	24 / 212	38 / 336	38 / 336
Start-Torque min.	Nm / in.lbs	4.8 / 42	6.4 / 57	10.1 / 89	27 / 239	36 / 319	57 / 504	57 / 504
Air consumption	m ³ /min / cfm	0.85 / 30	0.85 / 30	0.85 / 30	0.85 / 30	0.85 / 30	0.85 / 30	0.55 / 19
Weight	kg / lbs	2.1 / 4.6	2.1 / 4.6	2.1 / 4.6	2.2 / 4.8	2.3 / 5.1	2.3 / 5.1	2.3 / 5.1
Hose I.D.	mm / in.	12 / ¹ / ₂	12 / ¹ / ₂	12 / ¹ / ₂	12 / ¹ / ₂	12 / ¹ / ₂	12 / ¹ / ₂	12 / ¹ / ₂
for drilling steel up to	Ø mm / in.	3 / ¹ / ₈	5 / ¹³ / ₆₄	8 / ⁵ / ₁₆	13 / ³³ / ₆₄	13 / ³³ / ₆₄	13 / ³³ / ₆₄	13 / ³³ / ₆₄
for drilling aluminium up to	Ø mm / in.	3 / ¹ / ₈	5 / ¹³ / ₆₄	8 / ⁵ / ₁₆	13 / ³³ / ₆₄	13 / ³³ / ₆₄	13 / ³³ / ₆₄	13 / ³³ / ₆₄

Performance data relate to an air pressure of 6 bar (85 PSI) and lubricated air. With oil-free operation the output will be reduced by 10 - 20%.

Den siste serien som er av interesse fra DEPRAG er 600 W serien. Dette er deres kraftigste 'air vane' luftmotor egnet for drilling. 67-036B16 er modellen som er relevant for vårt behov. 67-036B16 har en rotasjonshastighet på 850 rpm og nominelt dreiemoment på 6,7 Nm. 600 W serien har behov for en indre diameter på 12 mm og krever en luftforsyning på 30cfm for å operere optimalt. Videre så er denne motoren egnet for drilling i aluminium opp til 8mm i diameter. Dens vekt er 2,1 kg som er dobbelt så tung som de andre modellene. I tillegg så har denne kun en nøyaktighet på 0,1 mm som er da over vår toleransmargin. Dette vil da mest sannsynligvis gi resultater som ikke holder seg innenfor kravene som er satt. [10]

Av alle modellene fra DEPRAG, har de mange som er relevant for oss. Av disse er 104-730 spindelen valgt. Den er midt i mellom ytelsesklassene som er tilgjengelig for oss. Den oppfyller alle krav for vårt system. Den har en nøyaktighet på mindre enn 0,05 mm, relativt lav rotasjonshastighet samt høyt dreiemoment. Dens design er kompakt og kan festes med en klemme ettersom en seksjon av husingen er forsterket. Dens pris ligger på 1432 Euro som er relativt høyt men aksepterbart om den skal velges til slutt. Leveringstid generelt hos DEPRAG er 4-5 uker men kan reduseres ved behov.

Atlas Copco Air Motors

Atlas Copco er et annet globalt selskap som spesialiserer seg i maskineringsutstyr for flere bruksområder innenfor industri. Atlas Copco sine luftmotorer er ledende i industriutvikling og innovasjon som tilbyr et omfattende utvalg av standard luftmotorer. Atlas Copco er en ledende leverandør av luftmotorer som er konstruert for å møte kundens krav. Videre så leverer de bestillingene sine i tide etter kundens timeplan.

Som sagt så har Atlas Copco en stor variasjon i forskjellige type luftmotorer som er designet for ett stort spekter av bruksområder. Noen av seriene som er av interesse er LZB Vane motorene som varierer fra 0,1 kW til 2,8 kW. Disse motorene er kompakte i designet, lett i vekt og er tilgjengelig med en rekke forskjellige girutvekslinger for å oppnå varierende hastighet og dreiemoment etter behov. De er best egnet for integrering av håndholdt verktøy eller implementasjon med industrielle maskiner. LZB vane motorer er designet til å levere høy ytelse og høy standard av pålitelighet. Motoren er karakterisert ved høy effekt og liten fysisk størrelse. [11]

Motorens design er lang og slank. Dette gir en del fordeler som høy effekt til volumforhold, lav luftforbruk samt lengere 'vane' levetid. Alle motorene bruker 5 'vanes' som blir drevet av luft, for å sikre utmerket oppstart og lav hastighetsytelse. Multi-trinns planorientert gir blir utnyttet for å oppnå dreiemoment og hastighetskrav av ønsket operasjon, som tilbyr høy effektivitet med kompakte dimensjoner. [11]



Figur 8.1.3.4: Innmat for Atlas Copco luftmotor [11]

Atlas Copco har mange varianter innenfor LZB som er spesialdesignet. Dette inneholder da LZB rustfritt stål som er egnet for matproduksjon og andre industrier som inneholder etsende vaskemidler og/eller ett miljø som inneholder kjemikaler som kan være rustpåvirkende. LZB33 er en variasjon av LZB serien som inneholder spindler med høyt dreiemoment og lav rotasjonshastighet. Girene til denne motoren er designet til å motstå oppstartsmoment til motoren på ubestemt tid grunnet dens design med operasjoner som innebærer lave kuttehastigheter. Atlas Copco har også LZB33-LR som er en annen variant, denne har kun lav rotasjonshastighet som tilbyr en komplett og lav kostandsløsning i motsetning til LZB33 motorene med høyt dreiemoment. [11]

Atlas sin LZB33 serier kommer også med 'parking brake' som er en skivebremse lokalisert mellom motoren og girene. Dens funksjon er å hindre rotasjon av skaftet når motorene ikke er skrudd på og det pålegges et moment på skaftet. [11]

LZL 'vane' motorer er designet for å tilby utmerket oppstart og lav hastighetsytelse. Disse generelle hensiktsmessige spindlene er kraftige, robuste og slitesterke. [11]

LZB22-L serien har effekt som varierer mellom 0,16 – 0,27 kW. Denne serien er avbildet på høyere side, av disse er rotasjon med urviseren og 'keyed shaft' av interesse. Dette er fordi vi har behov for kun en rotasjonshastighet som vanligvis er i retning med urviseren. Vi har i tillegg valg mellom 'keyed shaft' og gjenget skaft. Gjenget skaft har større muligheter for løsning under langtidig operasjon som utelukker da dette valget. Spesielt type LZB22-L-A049-11, LZB22-L-A036-11 og LZB22-L-A022-11 sin tekniske informasjon er listet i tabellen under og fremhevet. [11]



Figur 8.1.3.5: LZB22-L serien [11]

Tabell 8.1.3.5: LZB-22-L teknisk data [11]

Data at air pressure 6.3 bar (91 psi)

Model	Max output		Speed at max output	Torque at max output	Torque at max output	Min starting torque	Min starting torque	Stall torque	Stall torque	Free speed	Air consumption at max output		Weight	
	[kW]	[hp]	[r/min]	[Nm]	[lb-ft]	[Nm]	[lb-ft]	[Nm]	[lb-ft]	[r/min]	[l/s]	[cfm]	[kg]	[lb]
Lubrication free														
Clockwise rotation (Keyed shaft)														
LZB22-L-A220-11	0.27	0.36	9600	0.27	0.20	0.51	0.38	0.54	0.4	21500	5.3	11.2	0.55	1.21
LZB22-L-A049-11	0.27	0.36	2100	1.2	0.89	2.3	1.7	2.4	1.8	4700	5.3	11.2	0.55	1.21
LZB22-L-A036-11	0.27	0.36	1590	1.6	1.2	3.1	2.3	3.2	2.4	3550	5.3	11.2	0.55	1.21
LZB22-L-A022-11	0.27	0.36	960	2.7	2.0	5.1	3.8	5.4	4.0	2100	5.3	11.2	0.55	1.21
LZB22-L-A011-11	0.26	0.35	480	5.3	3.9	10	7.4	10.6	7.8	1040	5.3	11.2	0.75	1.65
LZB22-L-A008-11	0.26	0.35	360	7.1	5.2	13.5	10	14.2	10.5	770	5.3	11.2	0.75	1.65
LZB22-L-A005-11	0.26	0.35	210	11.8	8.7	22	16.2	23.6	17.4	480	5.3	11.2	0.75	1.65

Fra tabellen så ser man at rotasjonshastigheten varierer mellom 2100, 1590 og 960 RPM. Disse hastighetene ligger rundt ønsket RPM. Spindelens vekt er kun 0,55 kg som er veldig lett og en stor fordel. Disse modellene har relativt lavt dreiemoment i forhold til DEPRAG sine motorer. Dette kan bli ett problem når det skal forsenkes og bores om skjærmotstanden blir for høyt, kan spindelen nå sin 'stall torque' og motoren vil da stoppe som er risikofull. Disse spindlene opererer med 6,3 bar som er over operasjonstrykket KDA tilbyr. Operasjon ved 6 bar vil ikke forårsake noen problemer unntatt at ytelsen vil bli svekket. Luftforsyningen for disse ligger på 11,2 cfm som vil ikke være av bekymring. [11]

LZB42 serien er en variant som fortsatt opererer ved lavere RPM, men har høyere dreiemoment. Deres effekt er høyere, mellom 0,50-0,71 kW. RPM områdene som er av interesse er 3100, 1960, 1180 og 690 RPM. Alle disse variantene har omtrent lik RPM som LZB22 variantene, men med dobbelt så høyt dreiemoment. Dette vil forsikre at spindelen ikke stopper ved boring eller forsenking i aluminium komponentene. Grunnet høyere dreiemoment er motoren tyngre. Vekten på spindelen ligger nå på rundt 1,2 kg. Dette er fortsatt en relativt lav vekt når 10 kg er robotens maksimale bæreevne. Mer informasjon om spindelen finnes i tabell 8.1.3.6. [11]

Tabell 8.1.3.6: LZB42 serien [11]

Data at air pressure 6.3 bar (91 psi)

Model	Max output		Speed at max output	Torque at max output	Torque at max output	Min starting torque	Min starting torque	Stall torque	Stall torque	Free speed	Air consumption at max output		Weight	
	[kW]	[hp]	[r/min]	[Nm]	[lb-ft]	[Nm]	[lb-ft]	[Nm]	[lb-ft]	[r/min]	[l/s]	[cfm]	[kg]	[lb]
Clockwise rotation (Keyed shaft)														
LZB42-A200-11	0.71	0.95	10000	0.68	0.5	1.09	0.8	1.4	1.0	19000	13.0	28.0	1.2	2.65
LZB42-A065-11	0.71	0.95	3100	2.2	1.6	3.5	2.6	4.4	3.2	6100	13.0	28.0	1.2	2.65
LZB42-A040-11	0.71	0.95	1960	3.5	2.6	5.6	4.1	7.0	5.2	3800	13.0	28.0	1.2	2.65
LZB42-A025-11	0.71	0.95	1180	5.8	4.3	9.3	6.9	11.6	8.6	2200	13.0	28.0	1.2	2.65
LZB42-A015-11	0.70	0.94	690	9.7	7.2	15.5	11.4	19.4	14.3	1300	13.0	28.0	1.25	2.75
LZB42-A010-11	0.70	0.94	440	15.1	11.1	24	18	30	22	850	13.0	28.0	1.25	2.75
LZB42-A005-11	0.70	0.94	260	25	18.4	40	30	50	37	500	13.0	28.0	1.25	2.75
LZB42-A0030-11	0.68	0.91	150	44	32	70	52	88	65	270	13.0	28.0	2.7	5.8
LZB42-A0020-11	0.68	0.91	95	69	51	110	81	138	102	180	13.0	28.0	2.7	5.8
LZB42-A0012-11	0.68	0.91	55	114	84	182	134	228	168	105	13.0	28.0	2.7	5.8
LZB42-A0008-11	0.66	0.89	37	173	128	277	204	346	255	70	13.0	28.0	4.9	10.7
LZB42-A0005-11	0.66	0.89	23	272	201	435	321	544	401	42	13.0	28.0	4.9	10.7

Siste varianten som er av interesse fra Atlas Copco er da LZB66 serien. Disse motorene har effekt som varierer mellom 1,41-1,87 kW som er da veldig kraftig for å være en luftmotor av dens størrelse. Disse opererer generelt ved lavere hastigheter grunnet deres høye moment. Modellene av interesse er fremhevet i tabell 8.1.3.7. [11]

Tabell 8.1.3.7: LZB66 serien [11]

Data at air pressure 6.3 bar (91 psi)

Model	Max output		Speed at max output	Torque at max output	Torque at max output	Min starting torque	Min starting torque	Stall torque	Stall torque	Free speed	Air consumption at max output		Weight	
	[kW]	[hp]	[r/min]	[Nm]	[lb-ft]	[Nm]	[lb-ft]	[Nm]	[lb-ft]	[r/min]	[l/s]	[cfm]	[kg]	[lb]
Clockwise rotation (Keyed shaft)														
LZB66-A180-11	1.87	2.51	8200	2.2	1.62	3.2	2.4	4.4	3.2	16000	34	72	2.8	6.2
LZB66-A050-11	1.87	2.51	2400	7.6	5.6	11.3	8.3	15.2	11.2	4500	34	72	2.8	6.2
LZB66-A030-11	1.87	2.51	1440	12.5	9.2	18.6	13.7	25	18.4	2700	34	72	2.8	6.2
LZB66-A020-11	1.87	2.51	1060	17	12.5	25	18.4	34	25	2000	34	72	2.8	6.2
LZB66-A010-11	1.83	2.45	510	34	25	51	38	68	50	950	34	72	2.9	6.4
LZB66-A007-11	1.83	2.45	310	57	42	84	62	114	84	600	34	72	2.9	6.4
LZB66-A005-11	1.83	2.45	230	77	57	113	83	154	114	440	34	72	2.9	6.4
LZB66-A0025-11	1.80	2.41	125	139	103	205	151	278	205	230	34	72	5.1	11.1
LZB66-A0017-11	1.80	2.41	75	227	167	337	249	454	335	145	34	72	5.1	11.1
LZB66-A0012-11	1.80	2.41	55	308	227	456	336	616	454	110	34	72	5.1	11.1

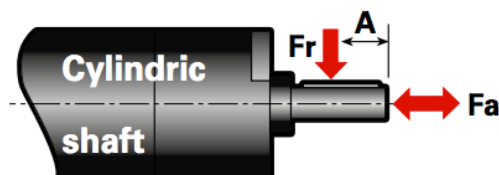
Av alle variantene nevnt fra Atlas Copco, er det mange som viser potensiale til å utføre jobben. Av dem, er LZB42-A015-11 den mest optimale. Grunnen til at lavere hastighet er viktig er fordi KDA har spesifisert at vi skal prioritere forsenkingen overfor boringen når det kommer til hastighet. Vi må derfor velge rotasjonshastigheter hvor forsenking vil ha det beste sluttresultatet på komponentens overflate. Atlas er ett stort internasjonalt selskap som kan føre til relativt lang leveringstid. Prisene på spindelen og dens leveringstid er ved dette tidspunktet ukjent. Kontakt med bedriften er forsøkt og vi avventer deres svar. [11]

8.1.4. Ting å ta i betraktning

Når man skal undersøke eller forske på noe nytt eller ett område som er ukjent, er det viktig å ta en varierende mengde av aspekter i betraktning. Under er det punkter der aspektene som prosjektgruppen har definert som viktig ved valg av spindel.

- Akselbelastning

Akselbelastning er definert som kraften som påføres spindelens aksel eller skaft. Dette kan være en kraft vinkelrett på akselen, dette er typisk ved fresing eller sliping, hvor spindelen beveger seg i x-/y-aksen langs arbeidsdelen. Kraften kan bli påført parallelt eller på skaftets tupp. Dette er da relevant for drilling hvor spindelen beveger seg i z-aksen. Kraft kan også bli påført spindelens skaft som moment. Dersom skjærhastigheten blir for stor, altså bevegelse i z-aksen er for fort slik at motstanden til arbeidsdelen overstiger kraften til motoren, vil dette føre til for stort motstandsmoment. Spindelen kan da bli skadet eller få stans i operasjonen. Dette blir viktig i prototyping, hvor spindelen som blir valgt, skal testes. Bilder under illustrerer kreftene som påføres en spindel som er satt i bruk.



Figur 8.1.4.1: Aksialkraft vinkelrett og parallelt [11]



Figur 8.1.4.2: Motstandsmoment for høyre roteringsretning [11]

- Vekt

Vekt er en viktig spesifikasjon som må tas i betraktning når FANUC M10iA/10S maks bæreevne er på 10 kg. Velger vi en spindel som i sammenheng med andre komponenter til multiverktøyet har en vekt som overstiger 10 kg, vil systemets funksjon mislykkes. Det er derfor viktig å sørge for at spindelens vekt er lavt nok.

- Husingmateriale

Husingmateriale på spindelen, er området som vil få kontakt med andre komponenter samt sikre spindelens indre deler. Det er spesielt viktig at spindelens monteringsområde er forsterket slik at den vil motstå innfestningskreftene fra festemekanismen. Spindelen må kunne holdes fast uten å bulke husingen på spindelen.

- Trykk

Kongsberg Defence & Aerospace har en stor hovedkompressor som forsyner hele anlegget deres med komprimert luft. Denne luften har ett luftrykk på 6 bar. Dette vil si at spindelens operasjonstrykk ikke kan overstige 6 bar som må da tas i betraktning når teamet skal velge spindel.

- Rotasjonshastighet

Rotasjonshastighet er hvor fort spindelens akse roterer. Anbefalt rotasjonshastighet varierer med tanke på hvilket materiale som skal utarbeides siden dette vil påvirke kvaliteten på sluttresultatet. Metall krever normalt lavere RPM ved utarbeiding enn for eksempel plast grunnet dens egenskaper. Alle hastigheter kan brukes ved skjæring av ett materiale, men andre faktorer som verktøyets levetid, kvalitet som nevnt og tid blir da påvirket av dette. Å finne den optimale hastigheten for det beste sluttresultatet er vanskelig, men av stor betydning for vår operasjon.

- Dreiemoment

Dreiemoment er spindelens evne til å rotere sin akse innenfor et konstant hastighetsområde når et motstandsmoment påføres akselen. Spindelens effekt påvirker hvor mye dreiemoment spindelen har. Materialer som metall har behov for høyere dreiemoment og lavere rotasjonshastighet som for eksempel i en boringsprosess.

- Pris

For vårt prosjekt har vi fått ett veiledende budsjett på 10000 Kr, dette må tas inn i betraktning når vi skal velge spindel.

- Leveringstid

Bachelorprosjektet varer for 6 måneder. Det vil si at tid er en stor risikofaktor som må tas i betraktning under bestilling av deler. Mange leverandører har leveringstid på uker eller måneder. Bestillinger må da ferdiggjøres tidlig og i god tid før siste innleveringsdato.

- Skaftkapasitet

Skaftkapasitet er hvor stor verktøysdiameter (bor eller forsenker) spindelens skaft kan holde. Dette er direkte relatert til størrelsen på collets som kan kobles til spindelen og har stor betydning om spindelen klarer å bore og forsenke hull med størrelse innenfor våre krav. Collets er videre forklart senere i dokumentet.

8.2. Valg av spindel

Spindelen vil være en av de viktigste delene som er på multiverktøyet vårt. Systemet vi utvikler er helt avhengig av at spindelen vi velger innfrir kravene som er satt. Hvis ikke spindelen innfrir kravene vil systemet være dødfødt før systemet er satt sammen.

Valg av spindelen har vært en lang prosess. Vi startet med å undersøke markedet for produkter som kunne passe vårt system og prosess. Først måtte vi lære oss hva vi trengte for å kunne utføre en slik operasjon som er krevd av systemet vi skal utvikle. Undersøkelsene gikk ut på å se på håndverktøy, motorer og spindler. På starten tenkte vi at vi kunne demontere en hånddrill og bruke mekanismene innvendig, men dette viste seg å ikke passe systemet vårt på grunn av de strenge toleransene. Det har vært en bratt læringskurve på hva vi trenger for systemet vårt. Vi fant fort ut at vi har behov for en spindel med høykvalitet samt presisjon.

For å kunne sammenligne spindlene vi har interesse for, er det flere faktorer som vi har tatt med i betraktning for at spindelen skal best mulig passe vårt system. Faktorer som vurderer valg av spindel er pris, vekt, dreiemoment, leveringstid, skaft kapasitet (størrelse på collet/chuck som den kan bære), og rotasjonshastighet. Vi har også lagt veldig mye vekt på om bedriften har god tilgjengelighet og er villige til å samarbeide for å hjelpe med bestilling og eventuelt annen nyttig informasjon. Fra dokumentasjonen for spindlene har vi konkludert at DEPRAG 104-730 spindelen er den mest optimale spindelen for vårt system. Med denne spindelen kontaktet vi oppdragsgiver for å forsikre oss om at dette var en spindel som kunne brukes for vårt prosjekt, og for å kunne bestille den. Denne spindelen kostet mer enn det veiledende budsjettet vi hadde fått oppgitt fra KDA som var på 10 000 kr, men det viste seg at det ikke var mulig å få en spindel etter ønskede spesifikasjoner for det veiledende budsjettet, noe oppdragsgiver var enig i. Videre så har modellen en lav vekt og har rotasjonshastighet som er velegnet for forsenking og boring samt høyt dreiemoment. Leveringstid er lang, men kan bli diskutert og den har en skaftekapasitet som passer vår operasjon og har også mulighet for å implementere større collets om det er behov.

En annen variant som vi vurderte sterkt var Suhner 1800W UAL-10-RF modellen. Dette er en elektrisk drevet spindel. Den er billig, innenfor budsjettet på 10 000 kr, men har høy vekt og rotasjonshastighet som kan ha negativ påvirkning på sluttresultatet. Leveringstiden er kort og den har godt nok skaftekapasitet som er positivt.

450HD spindelen har høy pris og høy rotasjonshastighet. Dette var den første spindelen vi kom om i forskningen, men dens rotasjonshastighet er for høy for å utføre vår prosess. I tillegg til dette har spindelen en maks collet-kapasitet på 6 mm. Dette vil da føre til at vi borer hull som ikke faller innenfor våre krav. Spindelen er lett i vekt og har kort leveringstid men vil ikke oppnå alle kravene våre og er derfor ikke den mest optimale spindelen.

LZB42-A015-11 (Atlas Copco) spindelen er en annen luft spindel vi har vurdert. De har ett stort utvalg innenfor slike spindler hvor LZB42-A015 er en av mange. Spindelen har en relativt høy pris og lang leveringstid men har rotasjonshastighet som faller innenfor våre krav samt godt dreiemoment. Dens vekt er også akseptabel, men bedriften har ikke vært samarbeidsvillig når det gjelder tilbakemeldinger på epost angående spørsmål og mulighet for bestilling.

Det endelige valget falt derfor på spindelen fra DEPRAG med godkjenning fra oppdragsgiver og ble bestilt via dem.

8.3. Bor/Forsenker

For å kunne utføre operasjonen med å forstørre hullet som er forboret og forsenket rundt hullet så har vi valgt å bore og forsenke.

Bore er å lage hull i et material. Dette gjøres ved hjelp av at det tilføres en rotasjonshastighet på boret og en kraft på arbeidsoverflaten fra boret. Dette fører til at materialet blir skjært bort, der det overflødig materialet blir fjernet som spon (materialet som skjæres bort). Dette medfører til at boret skjærer seg dypere og dypere i materialet. Det finnes forskjellige type bor for forskjellige type arbeidsmateriale for eks, flatbor og pluggbor for treverk. Vi tar i bruk en spiralbor som er velegnet for bruk på metaller og andre materiale. Det er viktig å passe på hastigheten og kraften vi tilfører boret når vi borer i aluminium som er en type metal. Dette på grunn av at feil hastighet og kraft vil korte ned levetiden på boret betraktelig. Generell huskeregel er større diameter, mindre rotasjonshastighet. [12]

Spiralen eller frekvensen av vridningen på boret bestemmer hvor mye spon som blir fjernet ved hver rotasjon. Bor med høy vridningsfrekvens blir brukt når matningshastigheten er høy og rotasjonshastigheten er lav. Denne typen passer best når operasjonen går ut på å fjerne store mengder med spon. Bor med lav vridningsfrekvens blir ofte brukt i skjæreoperasjoner hvor man bruker høy hastighet. [12]



Figur 8.3.1: Tungstenkarbid bor [13]

Punktinkel er vinkelen på tuppen av boret. Utformingen av tuppen er avhengig av materialet boret vil operere på. Harde materialer trenger en bred vinkel mens materialer som er myke trenger skarpere vinkel. [12]

Lengden av boret bestemmer hvor dypt boret kan bore, den bestemmer også stivheten og sluttresultatet av hullet som blir boret. Selv om lengre bor kan bore dypere, forårsaker lengden også til høyere fleksibilitet, noe som kan medføre til feil plassering av hullet eller kast i borets aksel. [12]



Figur 8.3.2: Type forsinker [15]

Forsenke er å forsenke/skjære ned rundt hullet, som medfører til en kjegleform rundt hullet. Forsenkingsprosessen er i teorien ganske lik boring, der forsinker skjærer bort materialet og det overflødig materialet blir fjernet som spon. Den fundamentale forskjellen på forsinker og bor er utformingen deres. Dette er fordi de er laget for å løse forskjellige oppgaver. Vi forsinker slik at når vi skrur til med en skrue vil skruhodet være jevn med

arbeidsdelens opprinnelige overflate. Forsinker kan også bli brukt til å fjerne skarpe kanter rundt hullet, men det blir ikke brukt til dette i vårt tilfelle. [14]

Det finnes forskjellige typer forsinker for forskjellige materialer sånn som det er på bor. Men i tillegg til dette så må man være observant på vinkelen forsinkereren har, slik at forsinkingen får den ønskede vinkelen og dybden. Det er viktig å passe på hastigheten og kraften man tilfører når man forsinker på grunn av de samme årsakene som på boret.

8.3.1. Hvorfor bor og forsinker?

Vi bruker bor og forsinker på grunn av at disse to metodene er godt utprøvd. Prosessen vi skal automatisere bruker også bor og forsinker til å utarbeide komponenten, slik at vi har disse delene tilgjengelig for oss. På denne måten kan vi holde kostnadene nede. Vi vet også at de delene KDA bruker fungerer for å få det ønskede resultatet.

8.3.2. Type

Boret vi har, kommer fra Sandvik Coromant. Boret blir brukt i dag og vi vil bruke samme type bor i vårt system. Tuppen på boret har en dimensjon på $\varnothing 5,518$ mm for 6,65 mm, til boret får en ny dimensjon på $\varnothing 6,650$ mm for dens resterende lengde. Arbeidslengden på boret er 50,80 mm. Dette er en spesiallaget bor for KDA og for denne operasjonen. Boret er laget av tungsten

carbide, dette er et veldig sterkt materiale som er hardere, men sprøere enn stål. Bor som er laget av denne type materiale kan nesten bore gjennom alle slags materiale. Ulempen er prisen, som er mye høyere enn vanlige bor. [12]

Forsenkeren er laget av samme materiale som boret. Den har en 100 graders vinkel.

8.4. Collet/Chuck

Chuck og collet blir brukt for å kunne feste forskjellige verktøy til en spindel eller drill. Dette er et mellomledd slik at bruksområde blir større, flere verktøy med forskjellige diametere kan tas i bruk. De er laget for å kunne holde et objekt i rotasjonssymmetri og er utbredt stort i industriprodukter til produkter som er rettet mot privatpersoner, som i hobbyverktøy. Alle driller og fresemaskiner har en type chuck eller collet. Det finnes forskjellige standarder for disse typene. Chucken har et større bruksområde siden åpningen kan varieres mye mer enn en collet, men dette fører med seg også til at collet er et mye mer presisjonsverktøy enn chuck. Colleten har en begrensning på åpningen, slik at for å bruke verktøy med forskjellige størrelser må man ha flere typer collets, noe som fører til en ekstra kostnad og begrensinger.

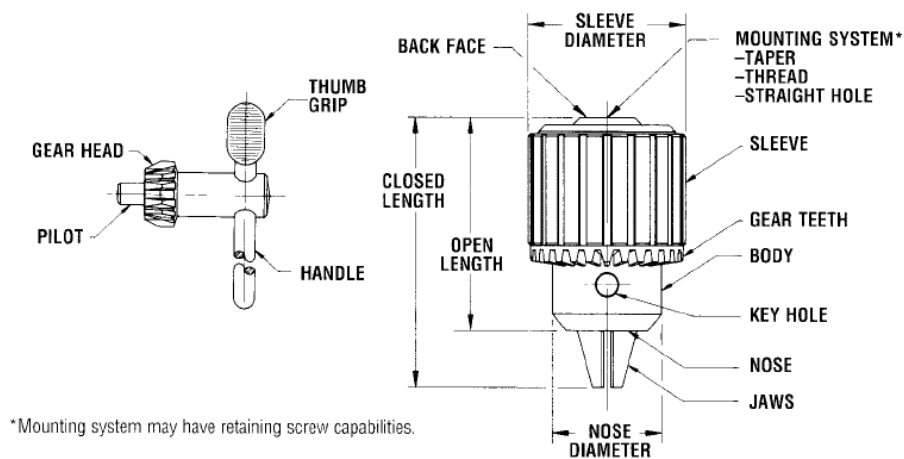
8.4.1. Chuck

Chuck er en spesialisert type skrutving for å holde et objekt i rotasjonssymmetri. Den blir brukt til å holde verktøy i driller og fresemaskiner. Chucken festes til spindelen og roterer med spindelhodet. Chucken har tenner/klemmer for å holde objektet på plass, disse tennene er plassert rotasjonssymmetrisk. Chuckens oppgave er å stramme disse tennene/klemmene sammen, slik at man kan feste et verktøy som sitter fast under operasjonen den utfører. [16]



Det finnes chucker som bruker ett nøkkelverktøy for å stramme og løsne tennene slik at et verktøy kan monteres på chucken. Nøkkelløse chucker er mer utbredt, disse blir strammet og løsnet ved hjelp av håndkraft. Disse er enklere og kjappere i bruk siden det er mer lett vint å bytte verktøy, men har mindre strammekraft en chuck som blir strammet ved hjelp av nøkkelverktøy. Dette er et større problem på verktøy som har sirkelfeste enn verktøy som har sekskantet verktøyfeste siden åpningen på munnen til chucken, der tennene sitter har en stjerne form. [16]

Figur 8.4.1.1: *Keyed chuck* [17]



Figur 8.4.1.2: Tegning av keyed chuck [18]

Det finnes forskjellige design på chucker, der hoveddesignets forskjell er om de er selvsentrerende eller om de forskjellige tennene kan kontrolleres selvstendig og hvor mange tenner det er på chucken. Antall tenner på chucken kan variere fra 2 til 8. Dette er chucker som er beregnet på store og tunge maskineringsutstyr.

Chucken som er mest interessant for prosjektet vårt er en drillchuck. Dette er en selvsentrerende chuck som er beregnet for driller eller spindler. Denne typen chuck kan holde verktøy fra 1 mm opp til 25 mm. Drillchucken blir brukt til både profesjonelt dyrt utstyr og til billige batteridriller der brukeren ikke har noe spesiell erfaring med maskinverktøy. Figur 8.3.1.2 viser en notert tegning av en typisk drillchuck.

8.4.2. Collet

Collet er en sub-type av en chuck. Den danner en sirkel rundt objektet den skal holde og tilfører en kraftig lukkekraft på objektet. Colleter har oftest en sylindrisk inneroverflate og kjegleformet ytteroverflate, men det finnes colleter som har firkantet og sekskantet inneroverflate. Colleten bli presset sammen av en strammer, slik at innerdiameteren blir mindre, dette medfører til at objektet blir strammet og sitter fast. Det vanlige er å bruke en fjærcollet som er laget av fjærmetall, den har utskjæringer langs lengden slik at den har mulighet til å utvide seg og tilbaketrekke seg. Grunnen for at det er vanlig at colleter blir laget av fjærmetall er på grunn av metallens egenskaper. Fjærmetall har en veldig høy flytespenning slik at colleten kommer tilbake til sin originale form etter nedbøyning eller vridninger. [21,22]

Prinsippet av en collet er å stramme inn colleten radially mot verktøyet som skal bli holdt, som resulterer i at det oppstår høy statisk friksjon mellom colleten og verktøyet. Under riktige forhold vil verktøyet sitte godt fast. [20]

De fleste collets oppnår radial klemmebevegelse ved å flytte på en eller flere han-hun par av koniske strammere, noe som frembringer den radiale klemmen i en meget konsentrisk måte. Når colleten blir strammet, vil åpningen trekke seg sammen og gripe innholdet i den indre sylindren. [20]

Det finnes forskjellige standarder for colleter som:

- ER collets

- Autolock collets
- R8 collets
- 5C collets

Colleter blir oftest brukt i fresemaskin, slipemaskin, håndoverfres og diverse håndholdte verktøy. Oftest har colleter høyere presisjon og nøyaktighet enn selvsentrerende chucks, også oppstartstiden er kortere enn chucker der man kan justere hver av tennene. Eneste ulempen er at colletene oftest passer bare ett arbeidsstykke størrelse. [20]

Tabell 8.4.2.1: Sammenligning av collet og chuck

Oppgaver	Collet	Chuck
Fort bytte av verktøy	Pålitelig	Pålitelig
Selvsentrering	Pålitelig	Pålitelig
Sterk holdekraft	Pålitelig	Oftest
Motstand mot selvutløsning	Pålitelig	Varierer
Presis sentring	Pålitelig	Ikke pålitelig



Som vi kan se fra tabellen passer colleten bedre til vår bruk på grunn av at vi har strenge toleranser. En av ulempene med colleter er at man må ha mange forskjellige størrelser på colletene siden de har begrensninger på hvor store eller små verktøy de kan ta i bruk. Man må ha forskjellige størrelse på colletene etter størrelsen på verktøyet, men dette vil ikke påvirke oss i stor grad siden boring og forsenking krever kun en størrelse hver.

Figur 8.4.2.1: Forskjellige størrelse collets [22]

8.4.3. Hvorfor collet/chuck?



Grunnen for at vi har valgt collet som vår festemetode av verktøy, er på grunn av dens pålitelighet på alle områdene som er viktig for at systemet vårt skal holde seg innenfor kravene som er satt. Presis sentring, selvsentrering og høy nøyaktighet er viktig for systemet vårt hvor nøyaktighet er av prioritet.

Med en collet kan vi velge kvalitet på nøyaktigheten. Man kan få colleter med run-out nøyaktighet på TIR_F 0,002 mm og TIR_1 0,0076 mm. [23] Disse verdiene er godt innenfor kravene vi må tilfredsstillere og vil forsikre at verktøyet som festes i colleten ikke blir ujevnt sentrert etter bytting, slik at den må kalibreres. TIR står for 'Total Indicated Runout'. Det er to grunnleggende type 'runout' i et roterende verktøy; statisk og dynamisk. Statisk runout er resultatet av problemer med fysiske dimensjoner av, eller sammensetning av komponenter av verktøy/collet/spindel systemet. Dynamisk runout kan være et resultat av dimensjonsendring, men kan også inkludere andre faktorer som ujevnt material tetthet, utslitt spindellagre, dårlig collet til spindelkobling, løse biter eller spindelmotor resonans. Av statisk og dynamisk, er dynamisk

Figur 8.4.3.1: Collet nøyaktighet [23]

TIR mye vanskeligere å måle. Heldigvis er den vanligvis mye lavere an statisk TIR. Statisk TIR kan bli enkelt målt ved å montere ett verktøy i spindelen for å måle konsentrasitet av monteringen med en testindikator. Dette består oftest av en vinkel TIR og radial (avvik) TIR. [24]



Figur 8.4.3.2: Radial TIF [24]

Vinkel TIR er ett resultat av en forskyvning mellom rotasjonsaksen til skjærverktøyet og den sentriske aksen av collet-/spindelssystemet. Årsaker inkluderer dårlig utnyttelse av justeringsskruer i et to-punkts collet, dårlig tilpasning av collet, utslitt spindelkobling, eller rester mellom collet- og spindelkobling. Radial TIR er et resultat av parallelt avvik mellom rotasjonsaksen til verktøyet og sentriskaksen til collet/spindel systemet. Mest vanlige årsaker til dette kan være, avvik fra collet og montering av ett verktøy som har mindre akseldiameter en den minste diameteren av colleten sitt festningsområde. [24]



Figur 8.4.3.3: Vinkel TIF [24]

8.4.4. Ting å ta i betraktning

Det er mange ting å ta i betraktning. Vi må først forsikre oss om at spindelen vi velger kan ta i bruk collets og hva slags collet den bruker, siden det er forskjellige standarder på dette området. Prosjektgruppen må passe på at colleten vi velger kan ta i bruk verktøyene vi skal bruke, eventuelt se om vi trenger forskjellige collets for de forskjellige verktøyene. Det er viktig at riktig type collet blir valgt, en som innfrir kriteriene våre ved nøyaktighet og selvsentrering, slik at systemet vårt innfrir kravene. Det er også viktig at colleten ikke løsner overtid og endrer senteringsposisjon eller begynner å få kast under rotasjon.

8.5. Montering av verktøy

Systemet vårt krever montering av ett eksternt verktøy til FANUC sin kraftsensor for at systemet skal kunne gjennomføre dens funksjon. Kraftsensoren har 4 hull som er gjenget. Disse kan da brukes til å montere ett verktøy. Hullene har størrelse 5 mm og er jevnt plassert med 22,27 mm mellomrom som representerer en firkant.

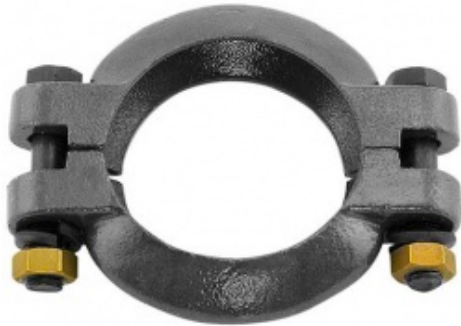
8.5.1. Monteringsalternativer

Det er flere muligheter for montering av verktøyet. Vi vet at multiverktøyet skal inneholde hovedsakelig en spindel. Spindelen må derfor kunne bli festet på en måte slik at den ikke kan bevege seg. Spindelen kan bli montert ved hjelp av en flens.

En flens er en flat disk som blir brukt til å forsterke eller montere noe til et objekt. Bildet til høyre fremstiller en type flens som er gjenget. Denne flensen har en gjenget koblingshull i senteret. Dette hullet kan bli brukt til å skru spindelen fast om spindelens ende er gjenget. De 4 hullene på siden vil da bli brukt til å koble bolter opp med kraftsensoren.



Figur 8.5.1.1: Gjenget flens [25]



En annen monteringsmulighet er bruk av en sylindrisk klemme som vist i bildet til venstre. Diameteren på sylindren er designet slik at den er større enn diameter på monteringskomponent og har mulighet for innstramning ved bruk av bolter. Dette er en vanlig brukt metode og fungerer som en klemme. En slik metode kan bli videre utviklet for å passe vårt multiverktøy.

Figur 8.5.1.2: *Sylindrisk klemme* [26]

Videre så kan braketter ha en nyttig funksjon for montering av multiverktøyet. De er billige og lett å produsere samt utgjør en funksjon. De kan komme i utallige variasjoner. Braketten avbildet på høyre er et eksempel av en mulig løsning. Brakettene er laget relativt tynne og kan bli formet i flere retninger slik at de kan kobles til omtrent hva enn det er behov for.



Figur 8.5.1.3: *Type Brakett* [27]

8.5.2. Ting å ta i betraktning

For montering med flens, må flensen kunne holde spindelen stabil om den skal skrus fast til spindelen. Flensen må kunne festes til FS-15iA kraftsensor med fire skruer. Flensen må absorbere statiske og dynamiske krefter under prosessen uten løsning av spindel eller flens. Det samme prinsippet for braketter.

For å montere spindelen med klemmer, må en klemmeholder bli brukt som klemmer husingen på spindelen. For å sikre at monteringen blir sterkt nok må festningen kunne holde verktøyets vekt uten problemer. Festemekanismen må kunne absorbere de statiske kreftene i løpet av systemets prosess. Den må også kunne absorbere dynamiske krefter og systemsvingninger og bevegelser igjennom prosessen. Det må sikres at klemmingen rundt spindelens husing ikke virker punktlig, men på en sylindrisk overflate slik at kraften blir jevnt fordelt. Videre, burde klemmingens lengde minst være $\frac{1}{2}$ ganger spindelens lengde.

Klemming burde unngås i områder av spindelens hovedlagre. Klemming rundt de kan føre til skade på lagrene og øke energitap. Spindelen vil bli markert i områder hvor montering av spindel anbefales. Det burde også sørges for at klemmingskraften ikke svekker med tid forårsaket av vibrasjoner osv. Bolter som blir brukt til stramning burde derfor bli strammet med samsvarende elementer som 'loctite' eller låseskiver.

Siden festemekanismen vil bli designet og produsert av oss, må vi designe maskineringsbare deler med fullstendige mål. Dette vil si, deler med enkle geometrier som vil holde materialforbruk samt maskineringsstid nede. Delene må maskineres i god tid slik at gruppen kan sette sammen delene til å bli et system for å kunne teste den. Noen deler kan muligens bli innkjøpt som skruer, bolter, muttere og låseskiver.

8.6. Pneumatisk solenoid ventil

Vi trenger å kunne styre lufttilførselen til spindelen autonomt. For å gjøre dette vil vi bruke en solenoid ventil. En solenoid ventil er en elektromagnetisk styrt ventil. Ventilen er styrt av en elektrisk strøm gjennom en spole. I vårt tilfelle trenger vi kun å slå av og på lufttilstrømningen. Solenoid ventiler er veldig mye brukt i kontrollsystemer fordi de er raske, trygge, er pålitelige, har lang levetid, krever lite energi og har et kompakt design.

Solenoid ventilen vi trenger må kunne operere på 24 V siden det er hva roboten gir ut.

Festo er et firma som spesialiserer seg på utstyr innen industriell automatisering.



Figur 8.6.1: Festo solenoid ventil [28]

9. Teknologi Programmer

9.1. SolidWorks

SolidWorks er en to- og tredimensjonalt dataassistert konstruksjonsprogram (DAK) som kjører på Microsoft Windows, på engelsk Computer Aided Design (CAD), som er utviklet av franske Dassault Systemes. Det er cirka 2 millioner ingeniører og cirka 165 tusen selskaper som bruker programmet (tall fra 2013). Programmet finnes i en kommersiellutgave og en studentutgave. SolidWorks fokus er mekanikk-konstruksjoner. DAK programvare blir brukt for å øke produktiveten, forbedre kvaliteten på design, forbedre dokumentasjonen og for å opprette en database for produksjon. Det å lage en modell i SolidWorks starter med en 2D skisse (Kan lage 3D skisser også), der man har forskjellige parametere som må fylles ut slik at skissen er fulldefinert. Dimensjoner er lagt til i skissen for å definere størrelsen og plasseringen av geometrien. Relasjoner brukes til å definere attributter som tangering, parallellitet, vinkelrettethet og konsentrisitet. Finite element method (FEM) kan også kjøres ved hjelp av SolidWorks. FEM er en numerisk metode for å løse problemene med produktutvikling og matematisk fysikk. Noen av problemområdene er strukturanalyse, varmeoverføring og elektropotensial.

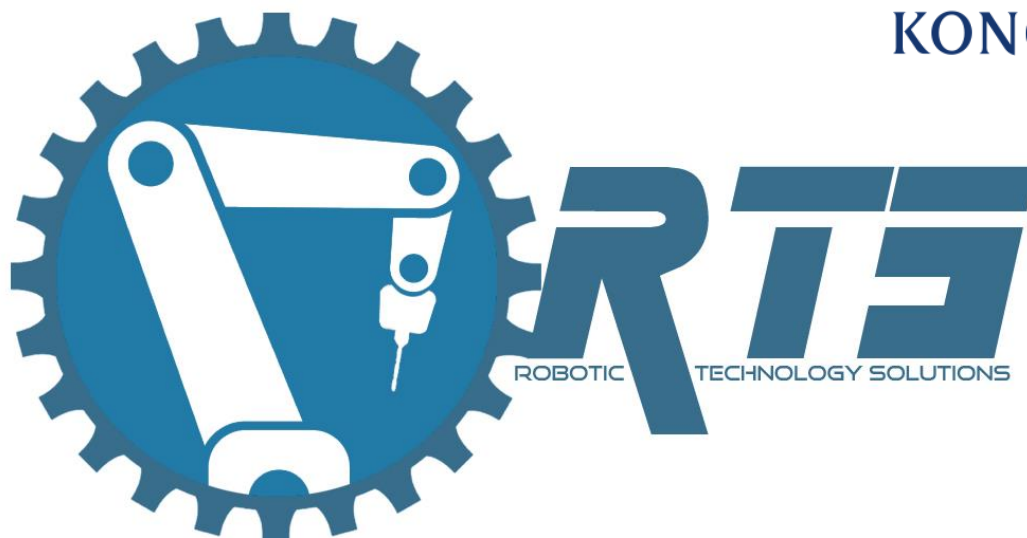
10. Kilder

- [1] Mazurkiewicz, John. "Selecting High-performance Ac Spindle Motors." *Machine Design*. N.p., 01 July 2000. Web. 17 Feb. 2017. <<http://machinedesign.com/technologies/selecting-high-performance-ac-spindle-motors>>.
- [2] GmbH, Sorotec. "Suhner." *Sorotec - Spindle-Motor Suhner*. Sorotec, 01 Jan. 2016. Web. 15 Feb. 2017. <<https://www.sorotec.de/shop/Spindles/routers/suhner-routers/Spindle-Motor-Suhner-1800Watt-230V-2500-23500-rpm.html>>. Figur 3.1.2.1
- [3] *Integral Cutter Motor, Type L* (n.d.): 68-69. Web. 18 Feb. 2017. <<http://www.sorotec.de/webshop/Datenblaetter/SpindelIn/Suhner/465012%20-%20UAL%2023%20RF%20V2.0.pdf>>. Figur 3.1.2.2, Tabell 3.1.2.1
- [4] GmbH, Sorotec. "Routers." *Tool-changer for Suhner*. Sorotec, 1 Jan. 2016. Web. 16 Feb. 2017. <<https://www.sorotec.de/shop/Spindles/routers/toolchanger/Tool-Changer-for-Suhner-1800W-UAL23RF-V02.html>>. Figur 3.1.2.4
- [5] GmbH, Sorotec. "HF-Motorspindel." *Sorotec - Mechatron*. Sorotec, 01 Jan. 2016. Web. 23 Feb. 2017. <<https://www.sorotec.de/shop/Spindles/hf-spindles-manual/mechatron-spindles/HochfrequenzspindelIn-392/HF-Motorspindel-Set-8022-air-cooled-2-2kW.html>>. Figur 3.1.2.5
- [6] *HFS-8022-AC* (n.d.): n. pag. *Mechatron*. Mechatron, 2013. Web. 24 Feb. 2017. <<http://www.sorotec.de/webshop/Datenblaetter/Mechatron/HFS8022AC/DS-HFS-8022-AC.pdf>>. Figur 3.1.2.7, Tabell 3.1.2.2
- [7] GmbH, Sorotec. "Tool Changer Adapters." *Sorotec - Mechatron*. N.p., 01 Jan. 2016. Web. 23 Feb. 2017. <<https://www.sorotec.de/shop/Spindles/hf-spindle-aut-tool-change/mechatron-spindles-atc/tool-change-adapters/Tool-change-adapters-80mm-spindle.html>>. Figur 3.1.2.8, Tabell 3.1.2.3
- [8] "Pneumatic Motor." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 15 Mar. 2017. Web. 16 Mar. 2017. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_motor>.
- [9] "Motor Mount Specifications - 450HD." *Air Turbine Tools*. Air Turbine Tools, 2016. Web. 24 Feb. 2017. <<http://www.airturbinetools.com/motors/specs/450hd.html>>. Figur 3.1.3.1, 3.1.3.2, Tabell 3.1.3.1
- [10] "Innovative Air Vane Motors." *Assembly Automation 20.4* (2000): n. pag. *Air Vane Motors for Special Applications*. DEPRAG, Mar. 2016. Web. 4 Mar. 2017. <http://www.deprag.com/fileadmin/bilder_content/emedi/broschueren_pics/emedi_druckluftmotoren/D6800A/D6800en.pdf>. Figur 3.1.3.3, Tabell 3.1.3.2, 3.1.3.3, 3.1.3.4
- [11] *ATLAS COPCO AIR MOTORS* (n.d.): 1+. Atlas Copco. Web. 11 Mar. 2017. <http://www.atlascopco.com/Images/Atlas_Copco_Airmotors_Catalogue_UK_2014_1_tcm509-1188313.pdf>. Figur 3.1.3.4, 3.1.3.5, 3.1.4.1, 3.1.4.2, Tabell 3.1.3.5, 3.1.3.6, 3.1.3.7
- [12] "Drill Bit." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 21 Mar. 2017. Web. 12 Mar. 2017. <https://en.wikipedia.org/wiki/Drill_bit>.

- [13] "Figur 3.2.1." N.p., n.d. Web. 13 Mar. 2017. <<http://images.biltema.com/PAXToImageService.svc/article/xlarge/19031>>.
- [14] "Countersink." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 15 Mar. 2017. Web. 13 Mar. 2017. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Countersink>>.
- [15] "Figur 3.2.2." N.p., n.d. Web. 16 Mar. 2017. <https://www.bosch-do-it.de/media/media/diy/produktmedien/lexikon/Senker_982x554.jpg>.
- [16] "Chuck (engineering)." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 15 Mar. 2017. Web. 15 Mar. 2017. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_(engineering))>.
- [17] "Figur 3.3.1.1." N.p., n.d. Web. 16 Mar. 2017. <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71iAFd-x-uL._SL1500_.jpg>.
- [18] "Figur 3.3.1.2." Jacobs Chuck, Drill Chuck Terminology, Drill Chucks and Keys, Toolholders, Arbors, Arbours, Chuck Removal Tools. N.p., n.d. Web. 17 Mar. 2017. <<http://www.newmantools.com/jacobs/info.htm>>.
- [19] "Collet." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 15 Mar. 2017. Web. 16 Mar. 2017. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Collet>>.
- [20] "Spring Steel." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 15 Mar. 2017. Web. 17 Mar. 2017. <https://en.wikipedia.org/wiki/Spring_steel>.
- [21] "Yield (engineering)." *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, 16 Mar. 2017. Web. 15 Mar. 2017. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Yield_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Yield_(engineering))>.
- [22] "Figur 3.3.2.1." N.p., n.d. Web. 14 Mar. 2017. <<https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/510Ags5WdGL.jpg>>.
- [23] "Selecting the Best Grade of Collet for Your Application." *Grading Precision Collets*. Think & Tinker/PreciseBits, 3 Mar. 2017. Web. 17 Mar. 2017. <http://www.precisebits.com/tutorials/Choosing_collets.htm>.
- [24] "Total Indicated Runout (TIR)." *PreciseBits*. Think & Tinker/PreciseBits, n.d. Web. 18 Mar. 2017. <<http://www.precisebits.com/tutorials/tir.htm>>.
- [25] "Figur 3.4.1.1." *PN16/4 Threaded Flange*. NERO, n.d. Web. 17 Mar. 2017. <<http://www.nero.co.uk/Catalogue/Flanges-316L/PN164-Threaded-Flange>>.
- [26] "Figur 3.4.1.2." *Macsaautoparts*. Macs, n.d. Web. 18 Mar. 2017. <http://www.macsautoparts.com/early_v8_ford_truck/manifold-to-exhaust-pipe-clamp-authentic-style-4-cylinder-ford-model-b-384881.html>.
- [27] Church, Keith. "Figur 2.4.1.3." *Pepperl+Fuchs Blog*. Pepperl-Fuchs, 13 Dec. 2012. Web. 18 Mar. 2017. <<http://blog.pepperl-fuchs.us/blog/bid/248612/Mounting-Brackets-for-Cylindrical-Inductive-or-Capacitive-Sensors>>.
- [28] "Figur 3.6.1." Festo, n.d. Web. 19 Mar. 2017. <<http://www.mtapneumatics.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1/4/14cp020d.jpg>>.

- [29] "Figur 4.2.1.1." N.p., n.d. Web. 19 Mar. 2017.
<http://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/accessories/3d-area-sensor/fea-ro-area-sensor_search.jpg>.
- [30] "Figur 4.2.1.1." N.p., n.d. Web.
<http://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/accessories/3d-area-sensor/pan-ro-area-sensor_bin.jpg>.
- [31] "Figur 4.2.2.1." Sony. N.p., n.d. Web. 19 Mar. 2017.
<<https://pro.sony.com/bbsc/imageController?path=Asset%2BHierarchy%24Professional%24SEL-yf-generic-153703%24SEL-yf-generic-153737SEL-asset-61524.jpg&id=StepID%24SEL-asset-61524&dimension=370x251>>.
- [32] "Figur 4.2.3.1." N.p., n.d. Web. 19 Mar. 2017.
<<http://resources.renishaw.com/gen/download/olp40-touch-probe--25511>>.
- [33] "Figur 4.2.3.2." N.p., n.d. Web. 19 Mar. 2017.
<<http://www.robotyka.com/grafika/edytor/FS-15iA.png>>.
- [34] "Figur 4.3.1.1." N.p., n.d. Web. 19 Mar. 2017.
<<http://www.accsystems.co.uk/images/styli.gif>>.
- [35] "Figur 4.4.2." N.p., n.d. Web. 19 Mar. 2017. <http://www.micro-machine-shop.com/Taig_CNC_tooling_plate_13.jpg>.
- [36] "Fanuc Robot M-10iA/10S." N.p., n.d. Web. 02 Mar. 2017. <http://www.reiter-oft.de/fileadmin/datenblaetter/02_Lackierroboter/P6175-13gb.pdf>+>.
- [37] "M-10iA Series." (n.d.): n. pag. *Http://www.fanucrobotics.com*. Web. 03 Mar. 2017.
<http://www.fanucrobotics.com/cmsmedia/datasheets/M-10iA%20Series_13.pdf>.
- [38] "FANUC Industrial Robot Controllers." *Industrial Robot Controllers - FANUC America*. N.p., n.d. Web. 03 Mar. 2017.
<<http://robot.fanucamerica.com/products/controls/default.aspx>>.
- [39] "R-30iB HandlingTool Operator Manual." N.p., n.d. Web. 09 Mar. 2017.
- [40] "Force Sensor – Accurate Robotic Assembly, Contouring and Measuring." – *Accurate Robotic Assembly, Contouring and Measuring*. N.p., n.d. Web. 09 Mar. 2017.
<<http://www.fanuc.eu/de/en/robots/accessories/robot-vision/force-sensor>>.
- [41] *Brochure Force Sensor*. N.p.: n.p., n.d. Web. 08 Mar. 2017.
- [42] "R-30iB Force Controller Maintenance Manual." N.p., n.d. Web. 17 Mar. 2017.
- [43] "Fs-15ia - Google-søk." *Fs-15ia - Google-søk*. N.p., n.d. Web. 17 Mar. 2017.
<https://www.google.no/search?q=fs-15ia&espv=2&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjznsqvq093SAhXCdCwKHYV9AdYQ_AUIBigB&biw=1680&bih=920#imgrc=JNL3G6bHV10jUM>. Figur 6.2.7

- [44] *Fanuc*. N.p., n.d. Web. 19 Apr. 2017.
<<http://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/accessories/brochure%20ir-picktool.pdf?la=en>>. Figur 5.1
- [45] "iRVision Operation Manual V8.10 V8.20 V8.30 [B-83304EN_04]." N.p., n.d. Web. 20 May. 2017.
- [46] *TAMRON BIZ | Model : 12VM1040ASIR*. N.p., n.d. Web. 15 May 2017.
<http://www.tamron.biz/en/data/ipcctv/cctv_ir_v/12vm1040asir.html>.
- [47] "Linse." N.p., n.d. Web. 15 May 2017.
<http://cdn2.bigcommerce.com/server4600/tiqq0q/products/1803/images/710/12VM1040ASIR__08448.1378216251.300.310.jpg?c=2>. Figur 5.3.1.
- [48] "Fanuc M-10ia/10s." N.p., n.d. Web. 8 Mar. 2017.
<https://media.robots.com/robots/1475245809_2.jpg>. Figur 2.2.1.
- [49] "M-10ia-serien." N.p., n.d. Web. 17 Mar. 2017.
<<http://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/m10/generic/1600x560/m-10ia-series-robot-range-banner.jpg?h=560&la=en&w=1600>>. Figur 2.1.1.



Utviklingsdokument		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Alihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	24.05.2017	Første offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	3
2. Den fullstendige løsningen	4
2.1. <i>Multiverktøy</i>	4
2.2. <i>Testdel og feste til testdel</i>	4
2.3. <i>Prosessen</i>	4
2.3.1. Klargjøring	4
2.3.2. Probing	4
2.3.3. Boring og forsenking	5

1. Innledning

Disse dokumentene inneholder den fullstendige løsningen, med utviklingene av hvert element og hvordan vi spesifikt bruker de valgte løsningene til å utføre den fullstendige prosessen. Dette viser hvordan vi har løst oppgaven i detalj. Vi starter med et sammendrag av hva vi har laget og kommet frem til. Detaljert informasjon om utviklingen av hvert element står videre i Utviklingsdokument – Multiverktøy og testdel, og Utviklingsdokument – Systemprosess.

2. Den fullstendige løsningen

Den fullstendige løsningen består av en fullstendig probe-, bore- og forsenkingsprosess, produksjon av et multiverktøy som kan probe, bore og forsenke, og produksjon av testdeler vi skal probe, bore og forsenke i.

2.1. Multiverktøy

For å lage et multiverktøy som kan probe, bore og forsenke har vi;

1. Bestilt spindel
2. Fått tilpasset et verktøy som kan bore og forsenke i samme operasjon
3. Laget feste til spindel
4. Laget probeverktøy
5. Laget feste til probeverktøy

Detaljert informasjon om utvikling og produksjon av hver del står i Utviklingsdokument – Multiverktøy og testdel.

2.2. Testdel og feste til testdel

Vi har også laget testdeler og ordnet med festing av testdelen. Til å feste testdelen bruker vi et massivt fikstur som testdelen skal festes på. Til å feste testdelen til fiksturet bruker vi en enkel tvinge. Detaljert informasjon om utvikling og produksjon av testdelen og feste til testdel står i Utviklingsdokument – Multiverktøy og testdel.

2.3. Prosessen

Den fullstendig prosess vi har kommet frem til har tre hovedsteg.

1. Klargjøring
2. Probing
3. Boring og forsenking

Alle tre stegene har understeg om hvordan de skal gjøres.

2.3.1. Klargjøring

Klargjøringsprosessen består av å feste testdelen skikkelig og inspisere at alt utstyr er i god stand.

Å feste delen skikkelig betyr å feste den innenfor et markert området og sørge for at delen sitter fast i den posisjonen den er festet i. Å inspisere utstyr er kun å se etter feil på utstyret eller om noe er ødelagt fra tidligere operasjoner.

2.3.2. Probing

Probeprosessen består av to steg. Det første steget i probeprosessen er å finne delens posisjon og rotasjon. Det andre steget består av å sette probepinnen ned i hullet for å hente inn all den nødvendige informasjonen om hullene.

Steg en: finne delens posisjon og rotasjon

For å finne delens posisjon og rotasjon har vi utviklet to løsninger. Det er to løsninger siden vi foreslo to måter å løse dette på, og KDA var interessert i å se løsning med begge metodene.

Den ene løsningen er å bruke et 2D iRVision kamera. Kameraet er festet til robotarmen og tar bilde av delen. Ved å gjenkjenne punkter på delen gir kameraet informasjon om delens posisjon og rotasjon. Hvordan dette er gjort og utviklet i detalj står i Utviklingsdokument – Systemprosess.

Den andre løsningen er å bruke kontaktprobing. Denne prosessen går ut på at roboten beveger seg i en programmert bane og bruker kraftsensoren til å kjenne kontakt. Når robot kjenner kontakt stopper den og lagrer punktene. Deretter bruker den disse punktene til å regne ut delens posisjon og rotasjon. Detaljert informasjon om programmering av bane, og detaljert informasjon om hvordan kraftsensoren er brukt for å kjenne kontakt står i Utviklingsdokument – Systemprosess.

Steg to: Sette probepinnen ned i hullet

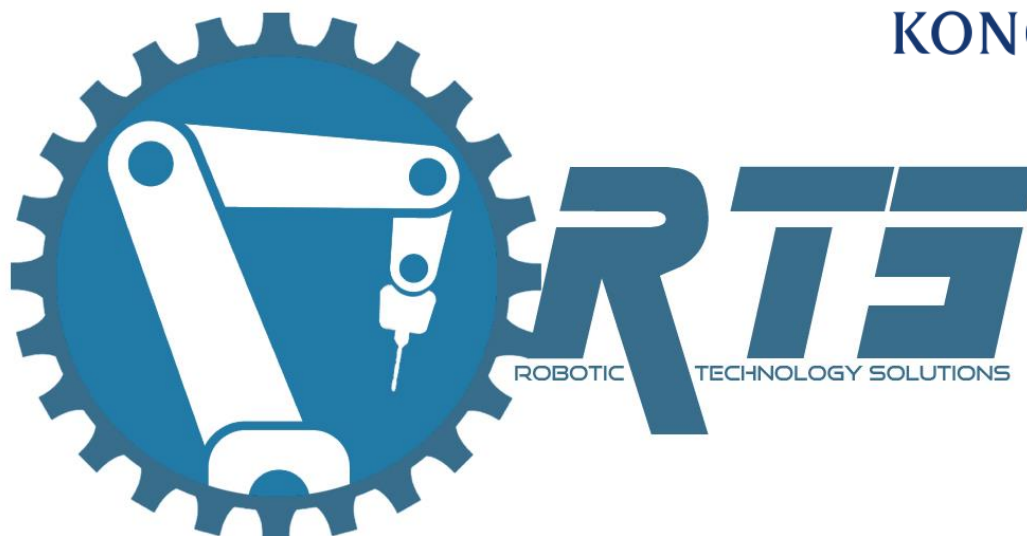
Etter at delens posisjon og rotasjon er funnet setter vi probepinnen ned i hullet. Dette er for å finne all den nødvendige informasjonen om hullet, slik at vi kan utføre en vellykket boring- og forsenkingsprosess. Den nødvendige informasjonen er:

- Nøyaktig posisjon til hullet
- Nøyaktig høyde for flaten rundt hullet
- Nøyaktig vinkelrotasjon i forhold til overflaten til hullet

Probeverktøyet er laget slik at ved å sette probepinnen ned i hullet og lagre posisjonen får vi all denne informasjonen godt innenfor toleransene som kreves. For å sette probepinnen ned i hullet har vi programmert inn en bane som justerer seg basert på delens posisjon og rotasjon som vi finner i steg en. Deretter bruker vi kraftsensoren sine funksjoner til å sette probepinnen inn i hullet. Hvordan programmering av bane er gjort, og hvordan kraftsensoren er brukt til å sette inn probepinnen står i Utviklingsdokument – Systemprosess.

2.3.3. Boring og forsenking

Boring- og forsenkingsprosessen er én prosess siden vi bruker et integrert bor- og forsenkingsverktøy. Boring- og forsenkingsprosessen består av en programmert bane som roboten borer og forsenker i. Banen er bestemt av punktene funnet ved å sette probepinnen inn i hullene. Detaljert informasjon om programmering av banen står i Utviklingsdokument – Systemprosess.



Produktutvikling-Multiverktøy og testdel

PROSJEKT

Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium

OPPDRAGSGIVER

Kongsberg Defence and Aerospace

UTFØRT VED

Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg

MEDLEMMER

Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Aliihsan Sicim, Maria Løvold

DOKUMENTHISTORIKK

Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	23.05.2017	Første offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	4
2. Spindel	5
3. Design skisser/ideer	7
3.1. <i>Spindelfeste</i>	7
Design FM-1-01	7
Design FM-2-01	7
Design FM-3-01	8
3.2. <i>Skisser for probing</i>	9
3.3. <i>Probefeste</i>	10
3.4. <i>Testdel</i>	10
4. Feste til testdel	13
5. 3D-printing	14
5.1. <i>Feil ved 3D-printing</i>	15
5.2. <i>Endelig resultat av 3D-printing</i>	16
6. Verktøykrefter	17
6.1. <i>Boring</i>	17
6.1.1. Material Removal Rate (MRR) og Feed	17
6.1.2. Skyvekraft (thrust force) og Moment	20
6.1.3. Forsenking	22
7. Endelig Design	24
7.1. <i>Spindelfeste</i>	24
7.1.1. Krefter på spindelfeste	25
7.2. <i>Probe</i>	28
7.2.1. Krefter på probepinnen	28
7.3. <i>Probefeste</i>	29
7.3.1. Krefter på probefeste	29
7.4. <i>Testdel</i>	30
8. FEM Analyser	31
8.1. <i>Introduksjon</i>	31
8.2. <i>Komponenter som skal testes</i>	31
8.2.1. Begrunnelse for valg av material	31
8.2.2. Spindelfeste	32
8.2.3. Statisk Stress Analyse (Spindelfeste)	36
8.2.4. Probe og probefestet	44
8.2.5. Statisk Stress Analyse (Sammenstilling Probe og Probefestet)	46
8.3. <i>Konklusjon</i>	53
9. 2D-tegning/Toleranser	54
9.1.1. Spindelfeste	54
9.1.2. Probepinne	56
9.1.3. Probefeste	57
9.1.4. Testdel	58
10. Produksjon	59
10.1. <i>Probepinne</i>	60



KONGSBERG

10.2.	<i>Probefeste</i>	62
10.3.	<i>Spindelfeste</i>	66
10.4.	<i>Testdel</i>	69
10.5.	<i>Sammenstilling av produserte deler</i>	71
11.	Andre viktige komponenter	72
11.1.	<i>Koblinger og slanger</i>	72
11.2.	<i>EE-kontakt</i>	73
11.3.	<i>Magnetventil</i>	74
11.4.	<i>Trykkregulator</i>	75
11.5.	<i>Collet og spesialverktøy</i>	75
12.	Endelig Produkt	76
12.1.	<i>Resultater og finjusteringer</i>	76
13.	Kilder	78

1. Innledning

Oppgaven vår går ut på å designe et multiverktøy som kan probe, bore og forsene i flystrukturer av aluminium. Vi har konkludert i teknologidokumentet at nåværende oppsett for festning av arbeidskomponent ikke vil fungere slik at vi innfrir kravene. Vi har derfor bestemt at ett mer stabilt og pålitelig innfestningssystem må til. Videre så har vi konkludert hvilken spindel vi skal bestille. Dette valget var tidskrevende. Vi måtte være sikre på hvilken spindel vi skulle kjøpe siden vi ville bare ha en sjanse.

Ved kommunikasjon mellom leverandør og oppdragsgiver over en lengre periode, har vi kommet til enighet om bestilling av en type spindel. Denne spindelen må da kunne monteres til robotarmen hvor vi har forsket på flere metoder som kan brukes for å oppnå dette. Bor og forsener skal bli gitt av KDA. Disse verktøyene har vært brukt til å utføre nåværende prosess. Siden vi tidlig fant ut at testing på arbeidskomponent er for kostbart, har vi tenkt på flere måter vi kan designe en testkomponent som er billig og lett å produsere. På denne måten kan vi utføre mange tester for å sikre at systemet vårt utfører prosessen vi har behov for. Dokumentets hensikt vil være en utvikling av det som er nevnt ovenfor, hvor vi til slutt har håp om at vi vil sitte igjen med en prototype som kan implementeres og erstatte dagens prosess.

2. Spindel

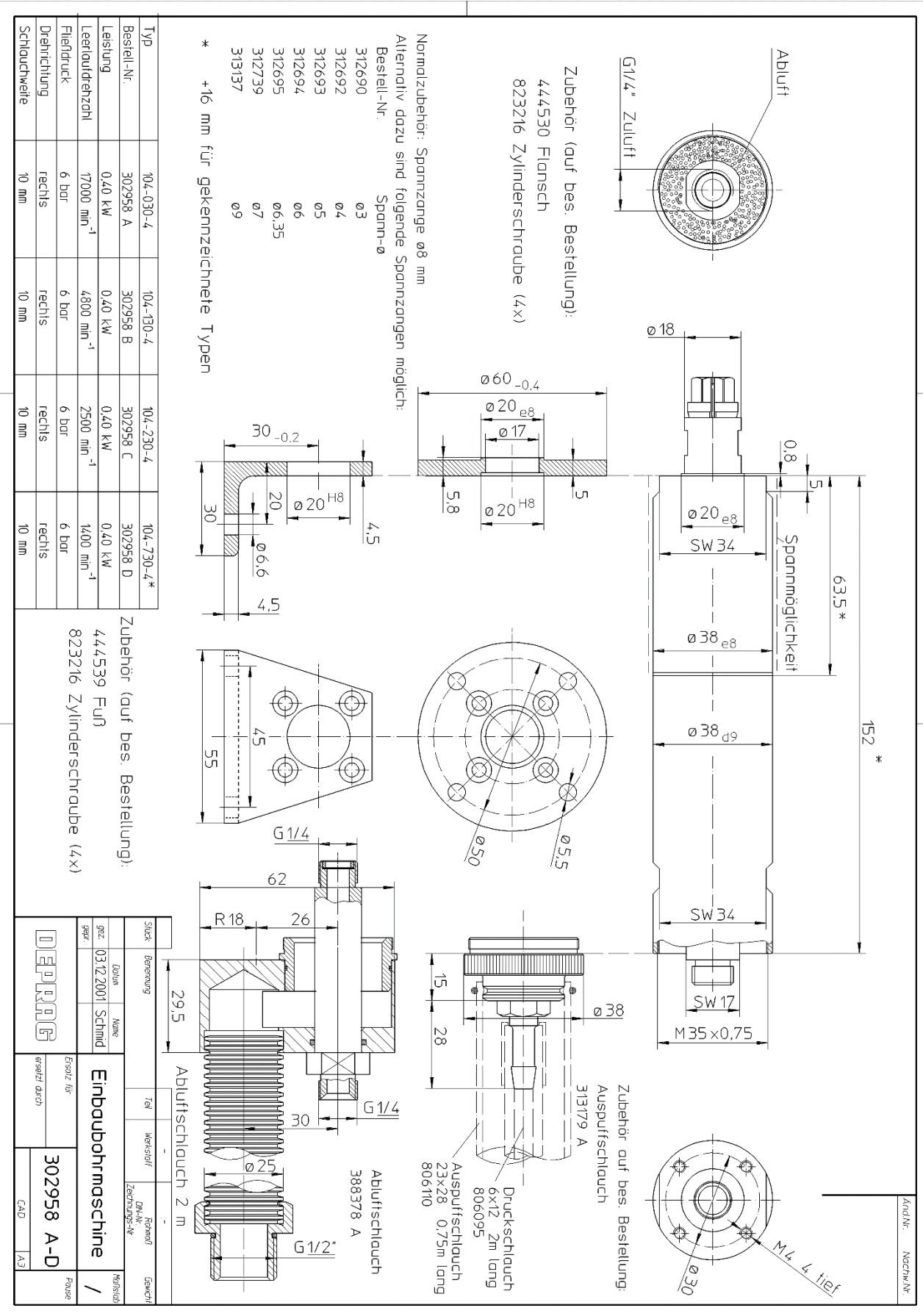
Vi har konkludert i teknologidokumentet hvilken spindel vi skal bruke. Valget falt på DEPRAG Air Vane Motor 104-730-4. Dette er en ypperlig spindel som har egenskaper med potensiale til å utføre prosessen samt innfri kravene satt. Leverandøren har vært veldig samarbeidsvillig med spørsmål fra gruppen og bidratt til å ferdigstille type spindel som trengs. 104-730-4 er en spesiellvariant som bruker collets. Den kan benytte collets opptil 9 mm i diameter. Boret vi vil bruke har innfestning på 6,650 mm i diameter. Vi har bestilt 7 mm, 8 mm og 9 mm collet slik at vi har forskjellige størrelser å gå på. Vi er usikker på om boret brukt til nåværende prosess vil passe i en 7 mm collet. Vi har i tillegg produsert ett spesialverktøy som består av bor med integrert forsenker. Dette verktøyet vil ha en innfestningsdiameter på 9 mm som vil passe største colleten vi har bestilt.

Leveringstiden på spindelen har vært i overkant 6 uker før den ankom KDA. Bildet av spindelen er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Bildet av 104-730-4 spindel

Figur 2.2 på neste side viser en 2D-tegning av spindelen som vi har bestilt. «Spannmöglichkeit» er hvor spindelens husing er forsterket, vi kan da bruke dette område for montering av en klemme eller type festemekanisme slik at den kan monteres til robotarmen. Monteringsområdet på spindelen er 63,5 mm lang og den totale lengden på husingen er 152 mm. Denne spindelen har tomgangshastighet på 1400 RPM og en rotasjonshastighet under last, på 700 RPM. Spindelen har behov for en gjenget kobling med indre diameter på 10 mm.



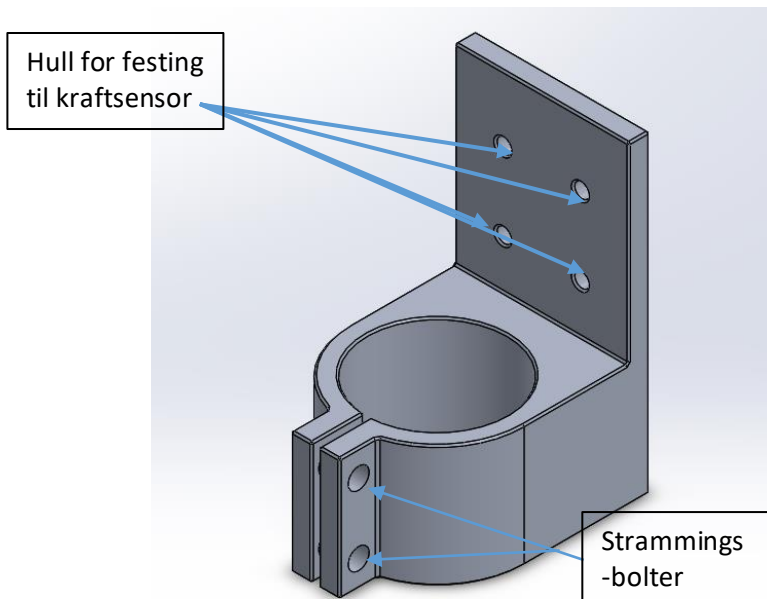
Figur 2.2: 2D-tegning av spindeltype 104-730-4 fra DEPRAG

3. Design skisser/ideer

3.1. Spindelfeste

Designet av feste for spindelen og probingen ble designet rundt spindelen. Siden gruppen har kommet fram til hvilken spindel vi vil ta i bruk, startet vi med å skissere forskjellige måter vi kan feste spindelen med. Under er det kort beskrevet ideene vi kom fram til, hvor en av ideene har blitt videreutviklet og implementert i vårt endelig produkt.

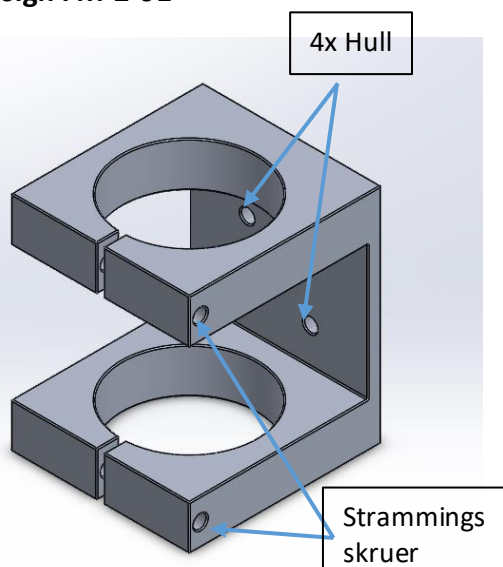
Design FM-1-01



Dette spindelfeste ble designet slik at vi har kortest mulig avstand til robotarmen. Dette vil øke stabilitet på systemet. Spindelen vil ha en angrepsvinkel på 90 grader i forhold til retningen roboten peker. Feste vil stramme rundt spindelen på kun ett sted. Dette er da området hvor spindelens husing er forsterket og egnet for stramming. Designet forsøker å optimalisere stabilitet samt absorbere vibrasjoner. Innfestingen vil fungere som en klemme hvor bolter vil bli brukt til å stramme/klemme rundt til spindelen. De fire hullene som er markert på figuren er til å skru fast festet til kraftsensoren.

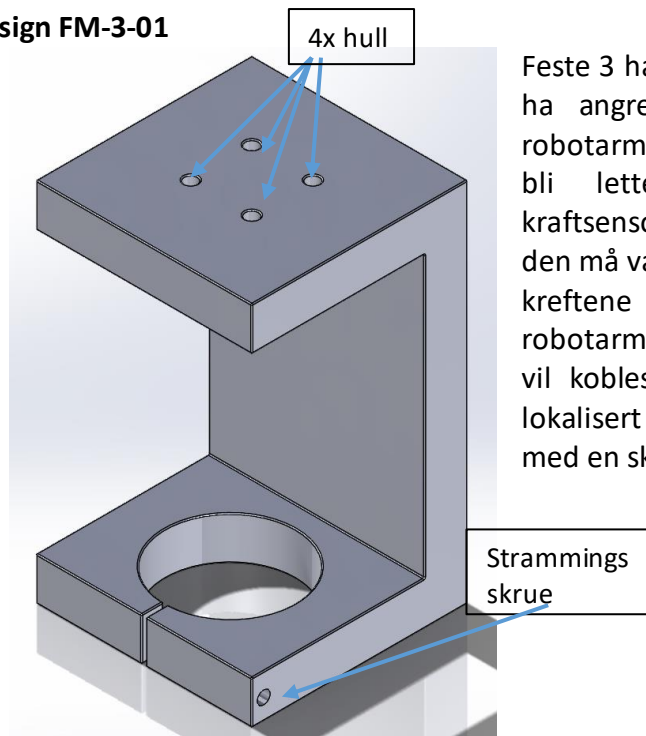
Figur 3.1.1: FM-1-01 feste til spindel

Design FM-2-01



Feste 2 ble designet slik at vi kan stramme to steder på spindelen for at spindelen skal være mer stabilt, men dette kan by på utfordring siden spindelen har ett bestemt sted for å kunne bli klemt/strammet på. Angrepsvinkelen vil være 90 grader i forhold til retningen roboten peker. Festet gir kortest mulig avstand til robotarmen for å maksimalisere stabilitet og redusere vibrasjoner som oppstår når spindelen er i drift. Igjen så vil designet utnytte bolter for stramming og ha fire hull for kolbing til kraftsensoren.

Figur 3.1.2: FM-2-01 feste til spindel

Design FM-3-01


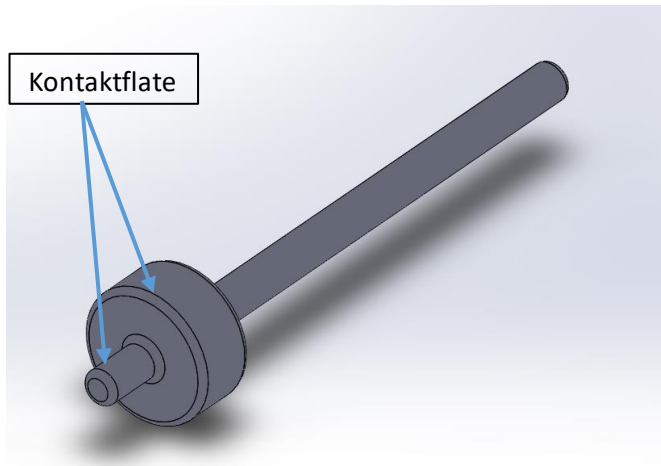
Feste 3 har blitt spesielt designet med tanke på å ha angrepsvinkelen til spindelen i retningen robotarmen peker. Dette er på grunn av det skal bli lettere å samkjøre spindelen med kraftsensoren. Svakheten med dette designet er at den må være kraftigere bygget siden, punktet der kreftene virker på spindelen er lengre unna robotarmen enn på de andre designene. Designet vil kobles til kraftsensoren fra de fire hullene lokalisert på toppen. Spindelen vil festes i bunn med en skrue som vist på figuren.

Figur 3.1.3: FM-3-01 feste til spindel

Design av festemekanisme er en viktig del av multiverktøyet grunnet at dens hovedoppgave er å montere vår største og viktigste komponent, spindelen. Som sakt i teknologidokumentet må vi ta hensyn til at festet er sterkt nok samt lett i vekt slik at vi tilfredsstiller kravene som er satt. Spindelfeste må også være festet slik at stabilitet er optimalisert. Den må kunne tåle belastningene den blir utført for. I våres design må vi også være oppmerksomme på at spindelfeste skal implementere en probemekanisme og om den skal bli brukt igjennom spindelen eller om det skal være en ekstern mekanisme.

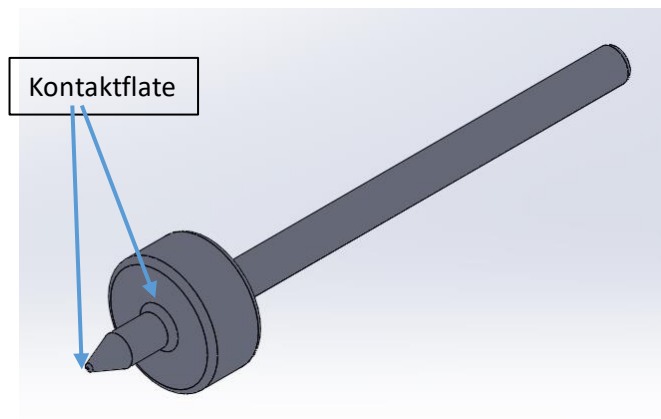
3.2. Skisser for probing

Probepinnen vår er egenutviklet med tanke på oppgaven. Hvor noen av de tidlige ideene våre er representert under.



Figur 3.2.1: IP01 Probe

Design 1: Denne ideen går ut på at pinnen har en relativt flat tupp. Dette vil øke robotens evne til å utnytte funksjonen «face match». Dette vil si, om roboten kommer ned mot kontaktflaten med et vinkelavvik, kan roboten benytte seg av IP01 sin flate overflate for å rette opp roboten slik at den ikke kommer skeivt inn. Probepinnen sin tupp vil bevege seg inn i hullet og stoppe grunnet diameterovergangen på pinnen. Denne flaten må være stor nok, slik at den dekker for-forsenkningen.

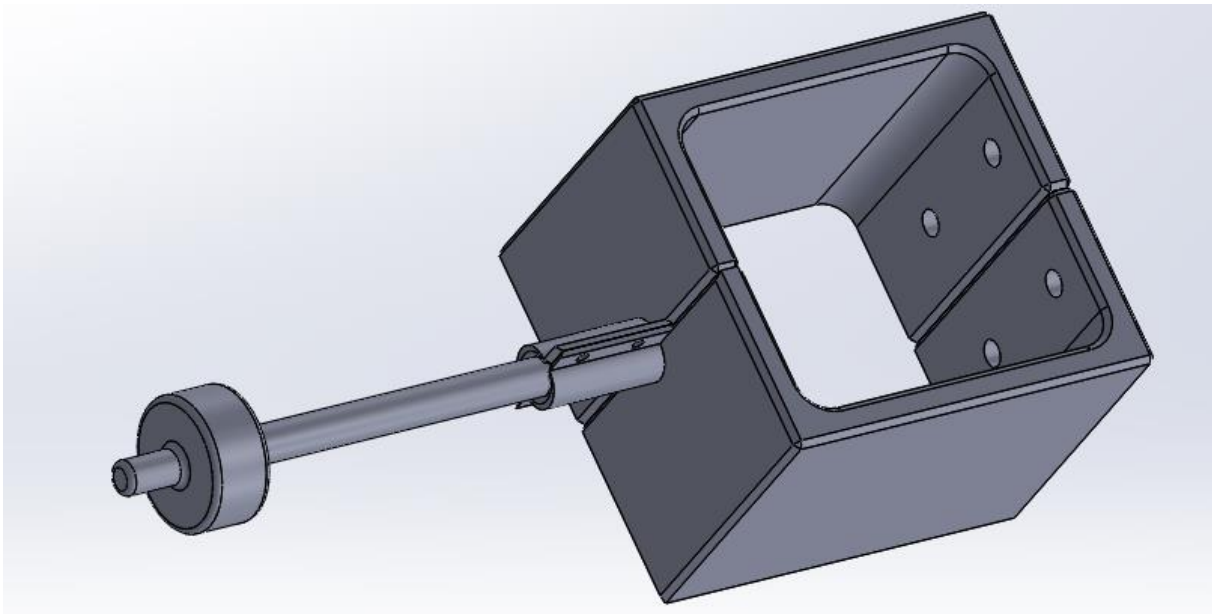


Figur 3.2.2: IP02 Probe

Design 2: Denne ideen går ut på samme prosess, men IP02 sin tupp er mer spiss. Dette er for å øke robotens evne til å gjennomføre «shaft insert» funksjonen. Ved å ha en mindre kontaktflate på tuppen øker vi marginene ved feil posisjonering for at robotens funksjon fortsatt skal kunne gjennomføres. Resten av pinnen går ut på det samme prinsippet som IP01.

3.3. Probefeste

Vi har skissert feste for probingen, dette feste vil kunne holde proben. Ideen for et eget feste for proben var for at systemet skal være mest mulig autonom, der menneskelig innblanding i produksjonen kun vil være ved bytting av arbeidsdel. Ved å ha et eget feste for proben og ett bor med integrert forsenker kan systemet vårt bytte mellom bor/forsenker og probingen selvstendig.



Figur 3.3.1: Tidlig ide av probefeste *med probe*

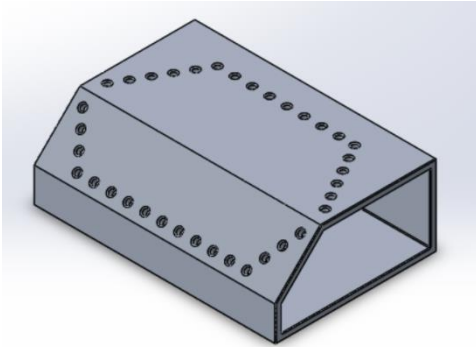
Dette var en tidlig skisse av hvordan et feste for probingen kunne se ut. Festet er designet for å passe sammen med design 1 for spindelfeste.

3.4. Testdel

Vi har skissert flere ideer for en testdel på grunn av delen vi skal operere på er veldig dyr, samt unngå unødvendig kostnader hvis ting skulle gå galt under testing. Det vil også være mer kurant å prototypeteste på en del som ikke er så viktig og dyr.

Designet på testdelene har blitt utviklet slik at de skal etterligne den originale delen, men beholde forenklet geometri. Den skal fortsatt kunne bli bygget ut fra aluminiumsemner som vi har fått utlevert fra KDA. Vi har i tillegg 3D-printet denne delen, slik at testing av probingen har kunnet starte så tidlig som mulig.

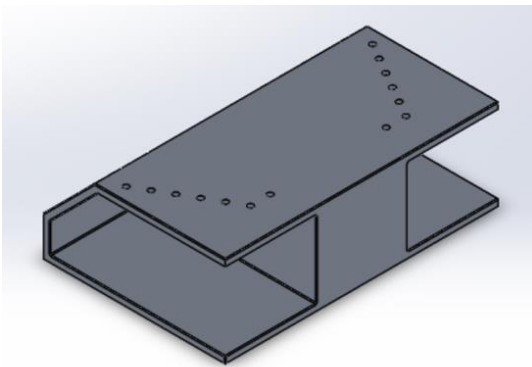
Design TD-1-01



Dette er første testdel vi designet. Hele innsiden er tom. Det vil bli vanskelig å maskinere denne delen på en CNC maskin på grunn av hulrommet. Denne ble designet for å bli brukt i Roboguide programmet for simulering tidlig i prosjektet, uten tanke på at den skulle bli produsert.

Figur 3.4.1: Design TD-1-01

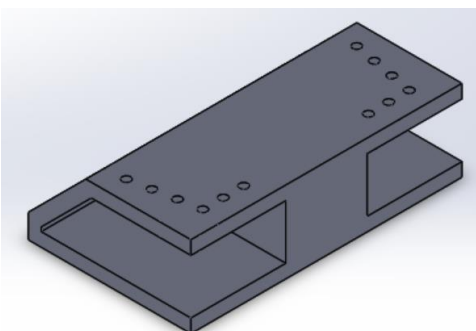
Design TD-2-01



TD-2-01 er en videreutvikling av TD-1-01 hvor prinsippet gikk ut på å gjøre delen maskinerbar i en 3-akset CNC maskin samt lage en forsterket senter. Dette vil bidra til at delen kan tåle belastningen av roboten og multiverktøyet på de ytterste hullene på overflaten av testdelen. Om ett slikt designkonsept skal videreutvikles, vil senere testing bevise om delen vil tåle visse kalkulerte påkjenninger. TD-2-01 har færre hull enn TD-1-01. Dette er fordi programmering av robotens bane vil ta mindre tid og om vi kan innfri kravene satt for hullene ved færre hull, vil vi også kunne innfri kravene for sluttresultatet med flere hull.

Figur 3.4.2: Design TD-2-01

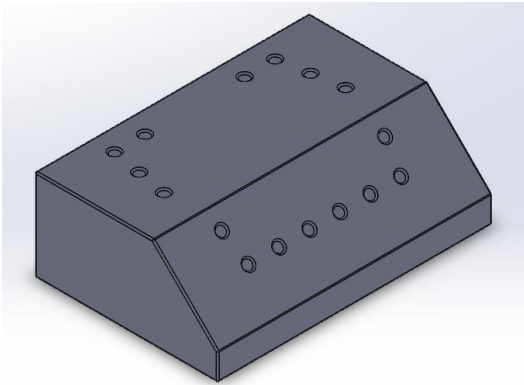
Design TD-2-02



TD-2-02 er en videreutvikling av TD-2-01. Vi har igjen redusert antall hull for å forenkle maskinering samt forenklet skråplanet til delen og redusert dybden fra delens ytterkant til senteret. TD-2-01 var i praksis ikke maskinerbar grunnet dens dybde og at skjæreverktøyet som ville oppnådd denne geometrien ikke er tilgjengelig.

Figur 3.4.3: Design TD-2-02

Design TD-3-01



TD-3-01 er designet igjen med forenklet geometri. Dette er en variant som ikke krever mye skjæring av material og er enkel å programmere for CNC maskinen. I tillegg kan den bli produsert ut fra en 3-akset maskin. Den har likt antall hull men er massiv, uten noe hull/kutt på sidene. Denne vil redusere antall måter delen kan bli festet men er designet for en hurtigere fresingsprosess.

Figur 3.4.4: *Design TD-3-01*

4. Feste til testdel

Vi har tidligere konkludert at nåværende festing av arbeidskomponent ikke er god nok for en autonomisert boring- og forsenkingsprosess. KDA har derfor skaffet oss ett massivt bord som er stabilt og sporet som ett CNC bord. Dette vil gi oss muligheter for mer presis festing av arbeidsdel. Dette bordet bruker da klemmeverktøy som kan bli plassert i sporene og vil da feste komponenten som ligger oppå ved å klemme den fast. Bordet har ett spesifikt antall spor som vi må ta i betraktning når vi skal produsere en testdel som vil bli festet ved bruk av denne. Bordet har tre spor på toppen og to spor på siden. Dette vil gi oss noen muligheter for å variere festningen vår for å tilpasse delen samt finne det mest optimale oppsettet for robotarmen og dens rekkevidde.



Figur 4.1: Bordet fra toppen



Figur 4.2: Bordet fra siden.

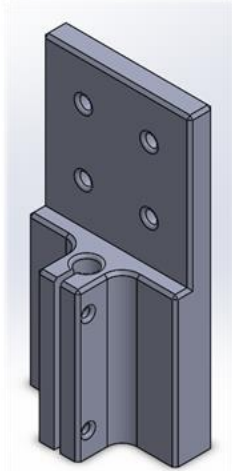


Figur 4.3: Tvinge til testdel

Festet som vil bli brukt for å holde testdelen på plass er en tvinge som er vist i figur 4.3. På bunnen har tvingen en T-sporet kloss som vil passe inn i sporet til bordet. Ved bruk av en t-nøkkel kan vi stramme armen til festet for å klemme ned testdelen til bordet. Dette har vi testet for 3D-printet testdel og viser seg til å være en gunstig løsning. Mest sannsynlig vil vi ha behov for to slike fester når vi skal låse fast virkelig del. Disse festene er tilgjengelig for oss hos KDA og vil derfor ikke påføre noe kostnad til prosjektet vårt.

5. 3D-printing

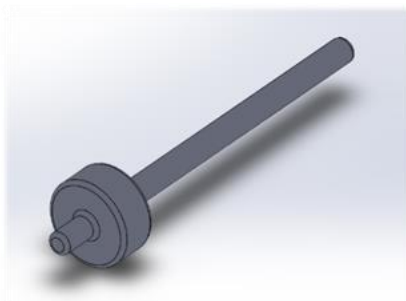
Tidlig i konstruksjonsfasen bestemte vi oss for å lage noen enkle deler for probing som kunne 3D-printes. Ved hjelp av disse kunne gruppen begynne tidlig med å lære robotens funksjoner og teste om det er mulig for å realisere oppgaven. Dette hadde enda større betydning etter at vi har lært at simuleringsprogrammet ikke er avansert nok til å programmere med fysikk, noe vi hadde håpet for. Derfor bestemte vi oss for å lage enkle deler, der vi kan teste noen av funksjonene til roboten. Leveringstiden på spindelen er lang, som vil føre til at vi ikke kan teste hele systemet før spindelen kommer. Systemets evne til å probe riktig, utgjør en stor del av prosessen vår og er derfor viktig å begynne testingen så fort som mulig.



Figur 5.1 : Enkel probeholder

Gruppen har bestemt seg for å 3D-printe testdelen, enkel feste for probe og selve probepinnen. Når vi har endelig design klart og får produsert multiverktøyet, kan vi teste mange av funksjonene til roboten og kraftsensoren. Disse delene vil ikke ha like høy nøyaktighet og toleranse som de ferdigstilte delene på grunn av 3D-printingens unøyaktighet.

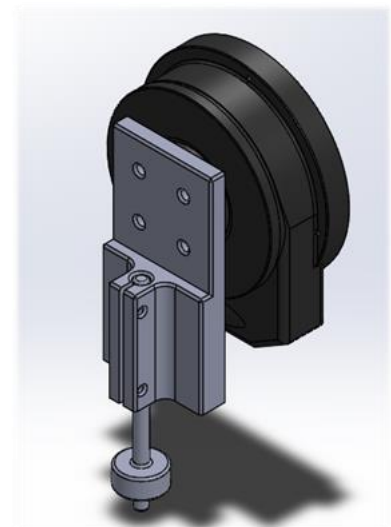
Vi har designet en enkel probeholder, som vil være lett og 3D-printe å feste til kraftsensoren. Designet er kompakt for at den skal tåle påkjenningene under probing, siden delene er produsert med plastikk. Prinsippet går ut på å klemme probepinnen ved bruk av skruer og muttere for å stramme fast pinnen til probeholderen.



Figur 5.2 : P-1-01 Probe

En annen del som vil bli 3D-printet er probepinnen. Probepinnen som vil bli 3D-printet vil ikke ha de samme toleransene som den endelige probepinnen vil ha, men dette vil hjelpe oss med forståelsen på hvordan systemet vårt vil jobbe. Den endelige probepinnen vil bli produsert i metall.

Når probeholderen og probepinnen blir festet til kraftsensoren, vil systemet se ut som det gjør i figur 5.1.3. Den vil ha angrepsvinkel på 90 grader i forhold til robotarm og kraftsensor.



Figur 5.3 : Sammenstilling med Fanuc kraftsensor, probeholder og probe.

5.1. Feil ved 3D-printing

3D-printing er en relativt ny metode for produksjon av deler i industrien og har lang vei å gå før det er optimalisert og effektivt. Det må derfor tas i betraktning at 3D-printing produserer ikke alltid deler av høy kvalitet, eller en gjennomført del i det helle tatt. Gruppen våre fikk opplevd dette problemet og kjenner nå til produksjonsmetodens svakheter.

3D-printing har vanskelig for å produsere geometri som krever støtte, dette kan være geometri med for eksempel, avanserte vinkler og skråflater. Dette vil kreve at 3D-printeren må benytte seg av en annen type materiale for støtte. Bytting av materiale under produksjon kan føre til at matingstuppen til maskinen kan miste kontakt med emnet og levere da smeltet material ut i luften. Ettersom maskinen har mistet kontakt er produksjonen feilet og man må starte prosessen på nytt. Delen som trengte flest forsøk ved 3D-printing var testdelen. Produksjon av denne delen viste seg problematisk når 3D-printeren kom til produsering av testdelens skråflate. På dette punktet, måtte maskinen benytte seg av støttemateriale slik at den skulle få produsere skråflaten uten at det ville kollapse før tørking. Ved dette punktet mistet maskinen kontakt med emnet og førte da til mating av smeltet material ut i luften. En versjon av feilet testdel er vist i figur 5.1.1.



Figur 5.1.1: Feil ved 3D-printing av testdel

I figuren over kan man se hvor i prosessen, maskinen mistet kontakt med overflaten. Maskinen var omtrent halvveis ferdig med å 3D-printe skråflaten når den begynte å miste kontakt. Alt overflødig materiale som hadde lagt seg over delens flate er fjernet i dette bildet, men dette materialet representerte mange tynne løse tråer av tørket plast.

5.2. Endelig resultat av 3D-printing

Kort tid etter noen forsøk ved printing har vi hatt suksess. Bilder av ferdigprintet deler er vist under. Probepinnen samt probefeste vil heretter bli montert til roboten og testdelen vil bli festet til bordet, slik at gruppen kan begynne å lære roboten praktisk, til vi får produsert de virkelige delene ut av metall.

Figur 5.2.1 viser det endelige produktet av 3D-printing av testdelen. Ved flere mislykkede forsøk valgte vi å bytte ett annen type plastmateriale som er mer pålitelig, men dyrere og litt lysere i fargen. Denne delen representerer da en nær fullskala variant av testdelen. Grunnen til at vi ikke kunne kjøre fullskala versjon, er fordi 3D-printeren ikke har stor nok kapasitet til å printe et komponent på 20 cm lengde (testdelens fullskala lengde). Vi har derfor måtte redusere noen dimensjoner slik at produksjon av del kan oppnås.



Figur 5.2.1: Ferdig 3D-printet testdel



Figur 5.2.2: Ferdig 3D-printet probe og feste

Figur 5.2.2 illustrer ferdig 3D-printet probepinne som er tilkoblet probefeste ved 2 x 3 mm skruer og muttere. Vi har deretter koblet probefeste til en L-brakett med 3 x 5 mm skruer og muttere. Denne braketten har da fire hull for oppkobling til kraftsensoren. Grunnen til at vi benyttet oss av en slik brakett, var for å få angrepsvinkelen parallelt med roboten og probepinnen. Vi testet først når angrepsvinkelen var på 90 grader, men viste seg at visse komplikasjoner ville oppstå ved denne metoden og fant da en fortløpende løsning for å endre på angrepsvinkelen. Figur 5.2.3 viser delene når de er oppkoblet til kraftsensoren på roboten.



Figur 5.2.3: Ferdig 3D-printet probe og feste tilkoblet robot

6. Verktøykrefter

6.1. Boring

Spindel 104-730-4 opererer på 700 RPM, har en effekt på 400 W og et dreiemoment på 5,2 Nm. Ved bruk av forskjellige formler kan vi undersøke om effekten og dreiemomentet ligger under hva spindelen tåler. Vi kan også estimere mengde skyvekraft som spindelen må påføre delen for å bore/forsenke med ønsket resultat.

Spesifikk energi (engelsk: specific energy) [W-s/m³] er ett begrep som gir energimengden i en skjæringsoperasjon som trengs ved drivmotoren av verktøyet. Arbeidsmaterialet i vår sammenheng er en aluminiumlegering (krav BA-020). Aluminiumlegeringer har en spesifikk energi som varierer mellom 0,4-1,0 W-s/m³. Disse verdiene er hentet ut fra tabell 21.2, side 579 fra kilde [2]. Vår legering er av høy kvalitet så vi velger en spesifikk energi på 1,0 W-s/m³.

6.1.1. Material Removal Rate (MRR) og Feed

Arbeidshastighet (engelsk: material removal rate) er en viktig faktor i boring. MRR er volumet av material som fjernes per tidsenhet. For en drill med diameter D, er tverrsnittarealet av det ferdigboret hullet, $A = \frac{\pi D^2}{4}$. Hastigheten på drillen vinkelrett på arbeidsdelen er produktet av feed, f [mm/rev] (distansen drillen penetrerer per omdreiningsenhet) og rotasjonshastighet, N [RPM], hvor $N = \frac{V}{\pi D}$. MRR blir da [2]:

$$MRR = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \times f \times N$$

For at denne ligningen kan løses, må f identifiseres. En anbefalt verdi for f kan hentes ut av tabell 6.1.1.1 som er vist under.

Tabell 6.1.1.1: *Generelle anbefalinger for hastighet og feed [2]*

General Recommendations for Speeds and Feeds in Drilling					
Workpiece material	Surface speed m/min	Drill diameter			
		Feed, mm/rev		Speed, rpm	
		1.5 mm	12.5 mm	1.5 mm	12.5 mm
Aluminum alloys	30–120	0.025	0.30	6400–25,000	800–3000
Magnesium alloys	45–120	0.025	0.30	9600–25,000	1100–3000
Copper alloys	15–60	0.025	0.25	3200–12,000	400–1500
Steels	20–30	0.025	0.30	4300–6400	500–800
Stainless steels	10–20	0.025	0.18	2100–4300	250–500
Titanium alloys	6–20	0.010	0.15	1300–4300	150–500
Cast irons	20–60	0.025	0.30	4300–12,000	500–1500
Thermoplastics	30–60	0.025	0.13	6400–12,000	800–1500
Thermosets	20–60	0.025	0.10	4300–12,000	500–1500

Første rad gir informasjon om aluminiumlegeringer, hvor kolonne 3 og 4 er av interesse. Her vises anbefalt feed, f [mm/rev] og anbefalt drilldiameter, D [mm]. Siden vår drilldiameter på 6,650 mm ligger imellom lavest og høyest verdi, må vi interpolere for å finne feed, f.

Interpolering er gjort ved å bruke følgende formel:

$$y = y_1 + \left[\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right] (y_2 - y_1)$$

- $y = f$ (den vi ønsker å finne)
- $y_1 = f$ (lavest verdi) = 0,025 mm/rev
- $y_2 = f$ (høyest verdi) = 0,30 mm/rev
- $x =$ diameter på drill = 6,65 mm
- $x_1 =$ diameter på drill (lavest verdi) = 1,5 mm
- $x_2 =$ diameter på drill (høyest verdi) = 12,5 mm

Ved å erstatte variablene i formelen med tallene ovenfor, blir f:

$$y = 0,025 + \left[\frac{(6,65 - 1,5)}{12,5 - 1,5} \right] (0,3 - 0,025) = 0,164 \text{ mm/rev}$$

Da har vi funnet variabelen som var ukjent i formelen for MRR. MRR kan da bli funnet:

$$MRR = \left(\frac{\pi 6,65^2}{4} \right) \times 0,164 \times 700$$
$$MRR = 3987,3 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}} = 66,5 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

Ved å vite MRR kan vi finne et estimat på effekten som trengs for å utføre denne prosessen.

$$\text{Effekt [W]} = MRR \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \right] \times \text{spesifikkenergi} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{mm}^3} \right]$$
$$\text{Effekt} = 66,5 \times 1 \approx 70 \text{ W}$$

Siden effekt er ett produkt av rotasjonshastighet, ω [rad/s] og dreiemoment, T [Nm], kan vi beregne dreiemomentet som trengs. Først finner vi rotasjonshastighet i rad/s:

$$\omega = \frac{N \text{ [RPM]} \times 2\pi}{60}$$
$$\omega = \frac{700 \times 2\pi}{60} = 73,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Dreiemoment, T blir da:

$$T = \frac{W}{\omega} = \frac{70}{73,3} = 0,95 \text{ Nm}$$

Som vi kan se, er spindelen vi har valgt langt innenfor hva disse beregningene viser når den opererer på 700 RPM og at vi har behov for mindre dreiemoment og effekt enn først antatt, men dette er kun et estimat ved håndberegninger som vil bli brukt som ett utgangspunkt. Fysisk testing må først gjøres for å bekrefte at vi har mye å gå på når det gjelder spindelens maksimale ytelse. I tillegg, tar disse beregningene ikke i betraktning at hullet er forboret.

Ved å ta i betraktning at hullet er forboret, kan vi finne en mer realistisk MRR verdi i boringsprosessen ved å trekke fra arealet til det forboret hullet. Ved å gjøre dette, betyr det

også at feed, f , vil endre seg. For å finne riktig feed, f , må vi først finne feed, f , som trengs for å bore det forboret hullet på $D = 5,5$ mm. Da må man tilbake til tabell 6.1.1.1 og interpolere med at vi har en drill på 5,5 mm.

$$y = y_1 + \left[\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) (y_2 - y_1) \right]$$

- $y = f$ (den vi ønsker å finne)
- $y_1 = f$ (lavest verdi) = 0,025 mm/rev
- $y_2 = f$ (høyest verdi) = 0,30 mm/rev
- $x =$ diameter på drill = 5,5 mm
- $x_1 =$ diameter på drill (lavest verdi) = 1,5 mm
- $x_2 =$ diameter på drill (høyest verdi) = 12,5 mm

Ved å erstatte variablene i formelen med tallene ovenfor, blir f :

$$y = 0,025 + \left[\left(\frac{5,5 - 1,5}{12,5 - 1,5} \right) (0,3 - 0,025) \right] = 0,125 \text{ mm/rev}$$

Ved å gjøre en antagelse at virkelig feed, $f = 0,164 - 0,125 = 0,039$ mm/rev kan vi finne virkelig MRR:

$$MRR = \left(\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \right) \times f \times N$$

hvor $D =$ diameter på bor og $d =$ diameter på forboret hull, realistisk MRR blir:

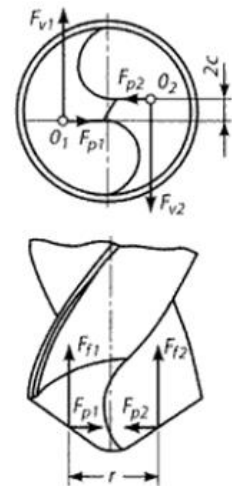
$$MRR = \left(\frac{\pi(6,65^2 - 5,5^2)}{4} \right) \times 0,039 \times 700$$

$$MRR = 299,59 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}} = 4,99 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

Denne MRR verdien er mer realistisk siden den tar i betraktning at hullet er allerede forboret. Materialet som skjæres bort i sekundet vil derfor være mye mindre enn materialet som skjæres bort om hullet skulle bores ferskt.

6.1.2. Skyvekraft (thrust force) og Moment

Matingshastighet (engelsk: feed rate) er begrenset delvis av verktøykrefter. Matingshastighet er hvor langt ned verktøyet beveger seg i sekundet [mm/s]. Figur 6.1.2.1 viser krefter som er felles for boring og forsenking. Drillverktøyet har en «Chisel edge». Denne kanten bidrar til omtrent 50% av den vertikale skyvekraften, T , som er summen av vertikale krefter F_{f1} og F_{f2} som påkjennes på hver «lip» (two-flute drill er antatt). Grunnet drillens heliks, er det en radial kraft på hvert leppepunkt som virker mot drillsenteret. Kraftene på hver side samsvarer nøyaktig med den motsatte kraften og deretter kansellerer de hverandre og bidrar ikke til skyvekraften, T . Videre så har hver leppe en horisontal kraft som virker på tyngdepunktet til leppen (F_{v1} og F_{v2}) som er rettet i retning av leppens hastighetsvektor. Denne kraften fører til motstandsmomentet som virker på verktøyet. [1]



Figur 6.1.2.1: Krefter på bor [1]

Skyvekraft er en veldig vanskelig verdi å beregne seg fram til. Det er mange avhengige variabler som kan påvirke skyvekraften som måles ved skjæring. Faktorer som påvirker skyvekraft er følgende:

- Styrke/hardhet på arbeidsmaterialet
- Feed
- Rotasjonshastighet
- Drill diameter
- Drill geometri
- Skjærevæsker/kjølevæsker

Grunnet disse variablene er det vanskelig å finne en eksakt verdi for anbefalt skjærehastighet. Men forskning og studier viser at det finnes noen generelle formler (Shaw 1957) som kan brukes for å estimere skyvekraft og samt moment som trengs ved den påførte skyvekraften:

$$T_{force} = 0,195 \times H_B \times f^{0.8} \times d^{0.8} + 0,0022 \times H_B \times d^2 \quad [1]$$

$$M = 0,087 \times H_B \times f^{0.8} \times d^{1.8} \quad [1]$$

hvor T = skyvekraft (lb), H_B = Brinell hardness nummer, f = feed (in./rev) og d = diameter på drill (in.). M = dreiemoment (in.-lb)

Arbeidsmaterial som skal brukes til delen er Al 2124 T851, denne materialtypen har en Brinell hardness nummer på 128 [4]. For å bruke disse formlene må H_B bli omdannet til engelske enheter ved å gange H_B med 1420. H_B for Al 2124 T851 blir deretter:

$$H_B = 128 \times 1420 = 181760$$

Ved å benytte oss av verdien $f = 0,039$ mm/rev = 0,0015 in./rev og $d = 6,65$ mm = 0,262 inch kan skyvekraft og moment for drilling beregnes.

$$T_{force} = 0,195 \times H_B \times f^{0.8} \times d^{0.8} + 0,0022 \times H_B \times d^2$$

$$T_{force\ 1} = 0,195 \times (181760) \times (0,0015)^{0.8} \times (0,262)^{0.8} + 0,0022 \times (181760) \times (0,262)^2$$

$$T_{force\ 1} = 94,3 \text{ lb}$$

Verdien er i pund og må konverteres om til Newton. 1 lb = 4,448 N

$$T_{force\ 1} = 94,3 \times 4,448 = 419,45\ N$$

Denne verdien er mye høyere enn hva kraftsensor FS-15iA kan måle (maks 147 N) Verdien på T_{force} tar ikke i betraktning at hullet er forboret og vi må derfor teoretisk sett ikke tilføre en slik mengde av kraft. Ved å anta at kraften som trengs til å bore ett nytt hull minus kraften som trengs for å bore det forborede hullet, er den virkelige kraften, må vi da finne kraften for det forborede hullet for å finne den virkelige kraften.

$$T_{force} = 0,195 \times H_B \times f^{0.8} \times d^{0.8} + 0,0022 \times H_B \times d^2$$

diameter, d er i dette tilfellet 5,5 mm = 0,217 inch.

$$T_{force\ 2} = 0,195 \times (181760) \times (0,0015)^{0.8} \times (0,217)^{0.8} + 0,0022 \times (181760) \times (0,217)^2$$

$$T_{force\ 2} = 76,3\ lb = 76,3 \times 4,448\ N = 339,38\ N$$

$$T_{virkelig} = T_{force\ 1} - T_{force\ 2}$$

$$T_{virkelig} = 419,45 - 339,38 = 80\ N$$

Denne verdien ligger innenfor kraftsensorens maksimale måleevne og er derfor oppnåelig.

Momentet som trengs kan beregnes fra formelen vist på forrige side.

$$M = 0,087 \times H_B \times f^{0.8} \times d^{1.8}$$

$H_B = 161760$, $f = 0,0015$ in./rev, $d = 0,262$ inch

$$M = 0,087 \times (181760) \times (0,0015)^{0.8} \times (0,262)^{1.8}$$

$$M = 7,81\ in.\ lb \approx 8\ in.\ lb$$

Verdien må konverteres til Nm fra in.-lb, 1 in.-lb = 0,1120 Nm.

$$M = 8 \times 0,1120 = 0,9\ Nm$$

Denne verdien tilsvarer omtrent det vi fant tidligere hvor vi benyttet en annen metode.

Matingshastighet/aksial spindelhastighet er produktet av feed, f, og rotasjonshastighet, N. Matingshastighet på spindelen blir:

$$f_{rate} = f \times N = 0,039 \frac{mm}{rev} \times 700\ RPM = 0,5 \frac{mm}{s}$$

Ved å vite aksialhastighet og dybde på hull som skal utarbeides, kan tiden for prosessen beregnes:

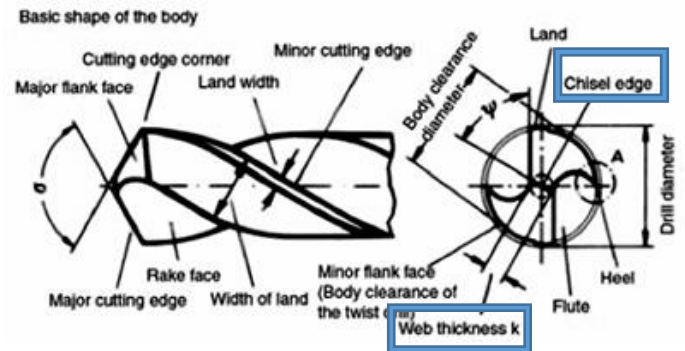
$$t[s] = \frac{l[mm]}{f_{rate}} = \frac{8}{0,5} = 16\ sekunder$$

Tiden det vil ta for å bore ett hull med en matingshastighet på 0,5 mm/s er 16 sekunder. Dette vil behøve en skyvekraft på omtrent 80 N, kreve omtrent 1Nm dreiemoment og ha en MRR

verdi av 5 mm per omdreining. Her er det teoretisk sett rom for justeringer. Dreiemomentet er under spindelens operasjonsmoment og kan derfor justeres ved å for eksempel, øke skyvekraften. Dette vil føre til økt matingshastighet og redusert tid. Men disse verdiene er kun estimater som kan variere i stor grad under praksis gjennomføring og burde bli testet før eventuelt justeringer gjøres.

6.1.3. Forsenking

For å forsenke benytter vi oss av samme spindel. Ved å vite at «Chisel edge» bidrar til 50% av skyvekraften og at forsenking ikke har en slik kant, kan formelen over brukes til å estimere skyvekraft for forsenking ved å gjøre noen modifiseringer:



Figur 6.1.3.1: Krefter på bor [3]

$$T_{force} = 0,50 \times [0,195 \times H_B \times f^{0.8} \times (d_0 - d)^{0.8} + 0,0022 \times H_B \times (d_0 - d)^2]$$

Hvor T_{force} = skyvekraft [lb], H_B = 181760, f = feed [inch/rev], d_0 = forsenkningsdiameter [inch], d = hulldiameter under forsenkning [inch].

Denne formelen kan videre bli forenklet ved å inkludere hardhetsfaktoren og eliminere behov for web tykkelse henvist i figur 6.1.3.1 grunnet mangel av «Chisel edge». Formelen for forsenking blir da:

$$T_{force} = 0,15 \times f^{0.8} \times (d_0 - d)^{0.8} \times H_B \times (1420)$$

Ved å benytte denne formelen kan vi estimere skyvekraften som trengs for å utføre forsenkningsprosessen. Feed, $f = 0,0015$ inch/rev, $d_0 = 13,5$ mm = 0,531 inch, $d = 6,65$ mm = 0,262 inch

$$T_{force} = 0,15 \times (0,0015)^{0.8} \times (0,531 - 0,262)^{0.8} \times (128) \times (1420)$$

$$T_{force} = 52,5 \text{ lb} = 52,5 \times 4,448 = 233,5 \text{ N}$$

Denne verdien er for høy for FS-15iA å måle, vi må derfor redusere denne kraften ved å redusere feed, f . Velger vi en feedverdi på 0,015 mm/rev = 0,0006 inch/rev får vi en ny verdi for T_{force} :

$$T_{force} = 0,15 \times (0,0006)^{0.8} \times (0,531 - 0,262)^{0.8} \times (128) \times (1420)$$

$$T_{force} = 25,23 \text{ lb} = 25,23 \times 4,448 \approx 112 \text{ N}$$

Denne verdien ligger under kraftsensorens maks måleevne og er da godkjent til å brukes i praktisk testing.

Momentet som trengs kan beregnes fra følgende formel

$$M = 0,087 \times f^{0.8} \times (d_0 - d)^{1.8} \times H_B$$

$H_B = 161760$, $f = 0,0006$ in./rev, $d_0 = 0,531$ inch, $d = 0,262$ inch

$$M = 0,087 \times (161760) \times (0,0006)^{0.8} \times (0,531 - 0,262)^{1.8}$$

$$M = 3,9 \text{ in. lb} \approx 4 \text{ in. lb}$$

Verdien må konverteres til Nm fra in.-lb, $1 \text{ in.-lb} = 0,1120 \text{ Nm}$.

$$M = 4 \times 0,1120 = 0,44 \text{ Nm}$$

Dette er omtrent halvparten av momentet som trengs for å utføre boringsprosessen.

Videre så kan vi finne matningshastighet for forskningsprosessen:

$$f_{rate} = f \times N = 0,015 \frac{mm}{rev} \times 700 \text{ RPM} \approx 0,2 \frac{mm}{s}$$

Ved å vite matningshastighet og dybde på hull som skal utarbeides ($l = 3 \text{ mm}$), kan tiden for prosessen beregnes:

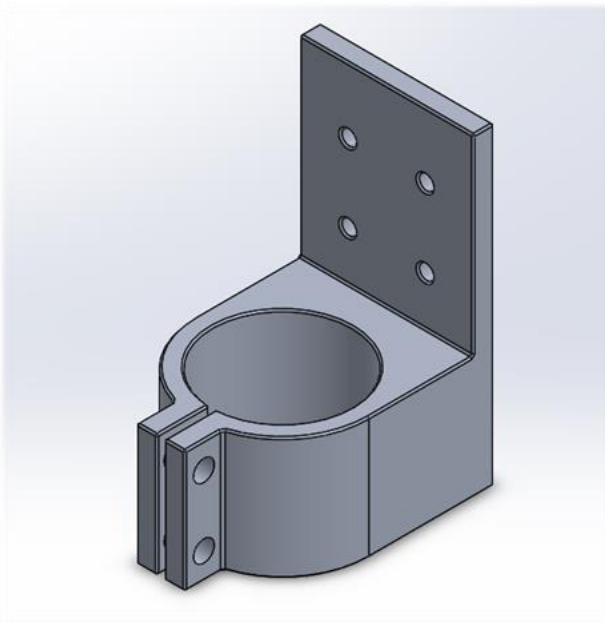
$$t[s] = \frac{l[mm]}{f_{rate}} = \frac{3}{0,2} = 15 \text{ sekunder}$$

Tiden det vil ta for å forsene et hull med en matingshastighet på $0,2 \text{ mm/s}$ er 15 sekunder. Dette vil behøve en skyvekraft på omtrent 112 N, kreve et dreiemoment på omtrent 0,44 Nm som er halvparten av momentet som trengs i boringsprosess, men mer skyvekraft må tilføres. Igjen så er disse verdiene kun teoretisk estimert og vil bli brukt som et utgangspunkt i praktisk testing. Vi kan deretter justere verdier for å finpusse det optimale sluttresultatet på arbeidsdelen. Videre så vil spindelen vi har bestilt, kunne gjennomføre prosessen med spesifikasjonene funnet her.

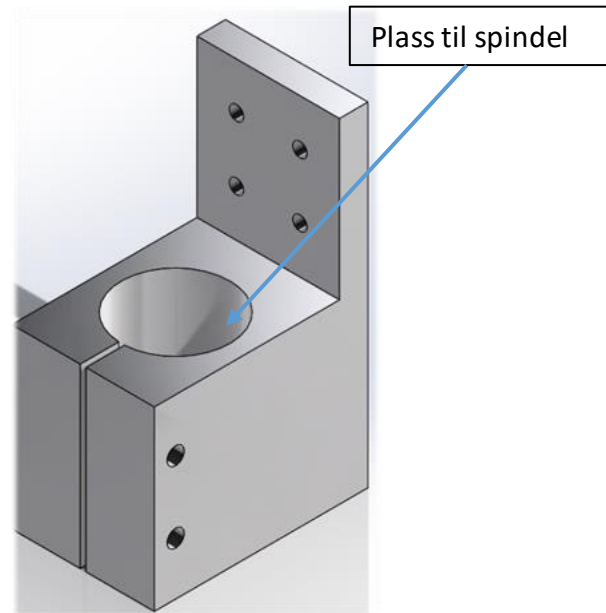
7. Endelig Design

7.1. Spindelfeste

For spindelfeste har vi bestemt for å videreutvikle den første ideen vår. Dette designet virket mer realiserbar. Dens opprinnelige kosmetiske struktur gikk ut på å ha en fin visuell konstruksjon, men vi fant fort ut at denne strukturen var kostbar å produsere. Den har unødvendige kurver og runde flater som ikke utfyller funksjon. Vi har derfor forenklet dens struktur og gjort den mer boksete, slik at den er enklere og mindre kostbar å produsere.

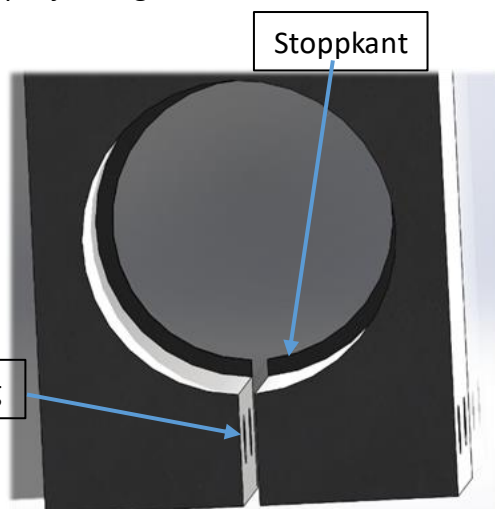


Figur 7.1.1: Skisse design



Figur 7.1.2: Endelig design

Figur 7.1.2 viser det endelige designet vi har kommet fram til. Den har enklere geometri og er enklere med tanke på produksjon. Den er også samtidig mer massiv slik at den vil tåle påkjenningene den blir utsatt for. Dette vil vises ved enkle hånd beregninger og FEM Analyser.



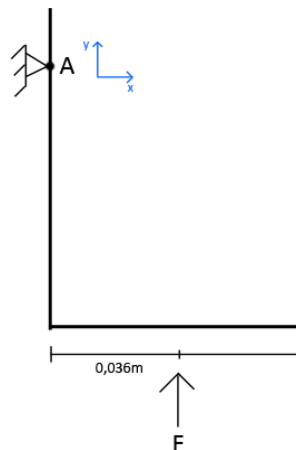
Figur 7.1.3: Implementert stoppkant i bunn

Videre så har vi implementert en liten stoppkant i bunn av spindelhuset. På spindelens tegning i figur 2.1 vises det at spindelen har en mindre diameter på 34mm ved boret før den får sin standard husing diameter på 38 mm. Vi kan derfor utnytte dette ved å lage en kant i spindelfestet slik at plassering av spindelen ved innfestning blir enklere for hver gang. Dette vises i figur 7.1.3. Figuren viser i tillegg hvor klemming av festet vil bli foretatt. På strukturen har vi laget ett mellomrom slik at bolter kan brukes til å stramme materialet sammen og da redusere spindelhusets diameter. Dette vil resultere i klemming av spindelhuset.

7.1.1.1. Krefter på spindelfeste

For å sørge for at designet vårt oppnår funksjon samt motstå krefter den blir utsatt for, er det viktig å gjøre noen beregninger samt analyser på områder som er viktig å få mer informasjon om slik at delen ikke vil feile under operasjon. Tidligere estimerte vi størrelsen på skyvekraften som trengs for å utføre prosessen, vi vet derfor kreftene som spindelen vil bli utsatt for. Fra tidligere beregning, fant vi ut at boringsprosessen trenger en skyvekraft på 80 N og forsenningsprosessen vil trenge en skyvekraft på omtrent 115 N. Vi velger derfor 115 N som kraften spindelen overfører til spindelfeste siden denne er den største.

Ved hjelp av en forenklet struktur av spindelfestet, kan vi beregne kreftene som overføres fra spindelfestet til boltene som brukes til å koble sammen festet og kraftsensor FS-15iA på robotarmen.



Figur 7.1.1.1: Forenklet struktur av spindelfeste

Punkt A viser punktet der bolter skal feste spindelfeste til kraftsensoren. Målet er å identifisere skjærspenningen i boltene (4 bolter) som vi antar, vil representere spenningene i hullene på spindelfestet. Ved å bruke enkel statikk, finner vi først opplagerkreftene i punkt A:

$$\sum F_x = 0$$

Alle krefter i x-retning er lik 0 siden vi ikke har noen ytre krefter som spindelen blir utsatt for i denne retningen.

I y-retning har vi kraft F og opplager kraft A_y , summen av krefter i y-retning blir:

$$\sum F_y = A_y + F = 0$$

$$A_y = -F = -115 \text{ N (nedover)}$$

Boltene blir utsatt for en skjærkraft, $V = 115 \text{ N}$ i motsatt retning enn pilen på figuren peker.

Ved å utnytte formel:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Kan vi beregne skjærspenningen i boltene, hvor τ = skjærspenning [N/mm²], V = skjærkraft [N] og A = tverrsnittareal [mm²].

Finner ut av det totale arealet grunnet det er 4 bolter (d = 5mm):

$$A_{tot} = 4 \times \frac{\pi \times D^2}{4} = \pi \times D^2 = \pi \times (5)^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

Ved å utnytte det totale arealet kan vi finne skjærspenningen som teoretisk vil påkjenne vær bolt.

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{115}{78,54} = 1,46 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Denne verdien vil representere skjærkraften som boltene blir utsatt for. Under FEM analyser som vil bli gjennomført senere, er det forventet at kreftene ikke vil bli jevnt fordelt. Dette er fordi to av boltene befinner seg nærmere kilden til den ytterlige kraften og disse vil da absorbere de største skjærspenningene. Vi kan da forvente at fordelingen av den totale kraften vil spre seg ujevnt, hvor de to nederste boltene vil absorbere en større mengde skjærspenning. Videre så forventer vi også at størrelsen på den oppnådde spenningen for boltene ikke vil direkte overføre til samme størrelse spenning som spindelfestet vil absorbere rundt hullene.

I tillegg, kan momentet i punkt A beregnes. Ved bruk av følgende formel:

$$\sum M_A = 0$$

Her må vi beregne momentet med å ta i betraktning armen på kraften, figur X illustrerer at kraftens armlengde er 36 mm, altså 0,036 m. Momentet i punkt A blir da følgende:

$$\sum M_A = F \times a = 115 \times 0,036 = 4,14 \text{ Nm}$$

Antar vi at kraften fordeles likt er det omtrent kun 1 Nm moment på hver bolt, som er av ubetydelig størrelse som vi kan se bort ifra. Ved FEM analyser kan vi se nærmere på hvor konsentrasjonene av spenning befinner seg på festet.

Klemmekraft på feste

Klemmekraften som trengs for å holde spindelen fast for å hindre bevegelse kan bli estimert ved å utnytte følgende formel:

$$F_{klemme} = \frac{F_{verktøy}}{k}$$

F_{klemme} = klemmekraft [N], $F_{verktøy}$ = kraften spindel utsettes for [N] = 115 N, k = friksjonskoeffisient (stål mot aluminium) = 0,5.

$$F_{klemme} = \frac{115}{0,5} = 230 \text{ N}$$

Benytter oss av sikkerhets faktor på 2. Kraften blir da 460 N. Dette vil teoretisk sett holde spindelen fast under beregnet last.

Ved å vite klemmekraften, kan vi i teori, finne ut boltmoment [Nm] som trengs for å oppnå denne klemmekraften. Dette gjør vi ved å bruke følgende formel [3]:

$$T = k \times D \times F$$

hvor T = boltmoment [in.-lb], F = aksial boltkraft [lb] = 103,4 lb, D = bolt diameter [in.] = 0,197 in., og k = friksjonskoeffisient = 0,5. Boltmomentet blir deretter:

$$T = 0,5 \times 0,197 \times 103,4 = 10,185 \text{ in. lb}$$

$$1 \text{ Nm} = 8,8507 \text{ in. lb}$$

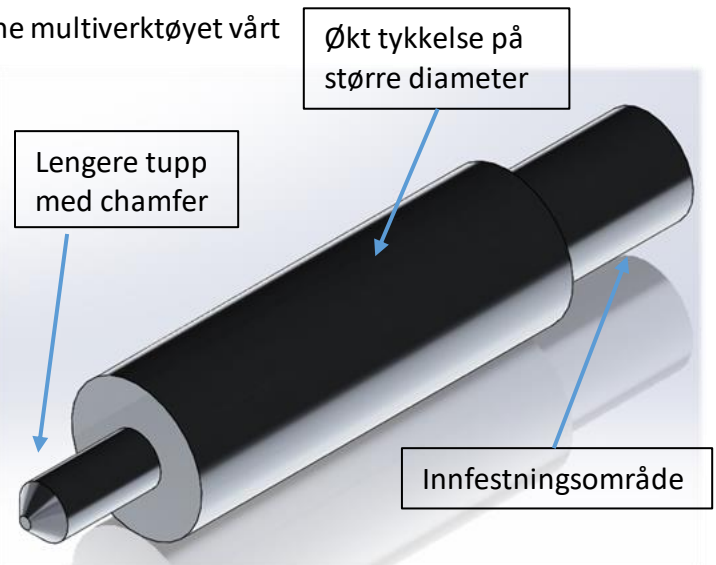
$$T = \frac{10,185}{8,8507} = 1,15 \text{ Nm}$$

For å tilføre en kraft på 460 N må vi stramme med ett boltmoment tilsvarende 1,15 Nm. Disse beregningene kan bli brukt til å gjøre en mer realistisk analyse i FEM for å se åssen festet vil reagere til denne kraften

Videre så vil dette designet undergå FEM analyser for å bekrefte at designet er optimalisert og kan tåle kreftene den kan bli utført med.

7.2. Probe

Probepinnen er en av de viktigste komponentene multiverktøyet vårt består av. Den har oppgaven av å hjelpe roboten med å lokalisere hullene til testdelen samt lagre punktene når den først finner hvert enkelt hull. Probepinnen må derfor ha stor nøyaktighet med relativt strenge toleranser for å redusere feilmarginene roboten vil jobbe med. Figur 7.2.1 viser vår endelig design for probepinnen. Denne har utviklet seg en del siden vår opprinnelig design for 3D-printing. Først og fremst har vi justert tuppen på probepinnen slik at den har en lengre lengde samt en chamfer rundt for at roboten vil kunne utnytte funksjonen «shaft insert» bedre. Videre så har vi forlenget lengden på den største diameteren for å generelt øke stabiliteten og styrken på probepinnen. Når vi brukte vår 3D-printet versjon fant vi fort ut at dens svakhet lå ved det tynne området hvor den ville bli montert. Vi har derfor forlenget tykkelsen på den store diameteren. Vi har i tillegg også økt diameteren ved innfestning som vist på figuren. På figuren ser man at det er en liten kant ved innfestningsområdet, dette vil fungere som en hindring til bevegelse av probepinnen under trykk på tuppen som vil bidra til en sikring mot bevegelse.



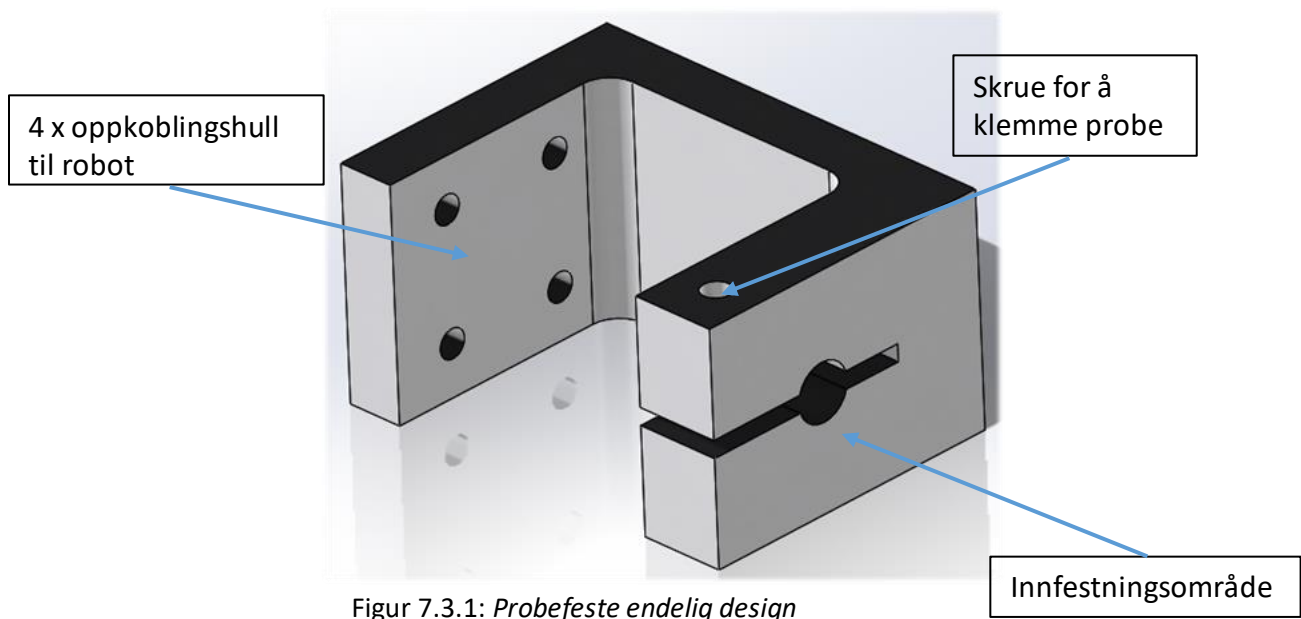
Figur 7.2.1: Probepinne endelig design

7.2.1. Krefter på probepinnen

Krefter som vil bli påført probepinnen er av ubetydelig størrelser og er derfor ikke nødvendig å beregne på dette ved hånd. Men vi vil utføre FEM analyser for å undersøke om delens forskyvning er av betydelig størrelse ettersom dette kan påvirke systemets evne til å probe arbeidsdelens posisjon nøyaktig nok.

7.3. Probefeste

For probefeste har vi valgt å utvikle den annerledes enn vi opprinnelig tenkte. I idemyldringene våre hadde vi tenkt to braketter som ville hold probepinnen fast. Dette var ett urealisert design som ikke hadde noe begrunnelse bak seg annet enn at det var en metode for å holde probepinnen på. Etter vi har utviklet ideen og kommet godt i gang med design fasen har vi kommet frem til ett endelig design som vist i figur 7.3.1. Her har vi redusert festet til kun en del. Dens C fasong er grunnet spindelens husing vil bli plassert i midten av braketten. Dette designet fører til færre deler samt har økt stabilitet grunnet dens tykkelse. Vi har i tillegg redusert distansen fra robotens koblingspunkt til tuppen av probepinnen for å videre øke stabilitet.



Figur 7.3.1: Probefeste endelig design

Figur 7.3.1 noterer noen viktige områder på probefeste som hvor innfestningen til probepinnen er plassert i henhold til oppkoblingspunktet til roboten. Distansen som nevnt før er redusert til det så lite som mulig uten at festet krasjer med spindelhusingen. Vi har i tillegg laget ett 3 mm tykt skjær inn i delen som vil bidra til å gjøre det lettere for skruen til å stramme til probepinnen.

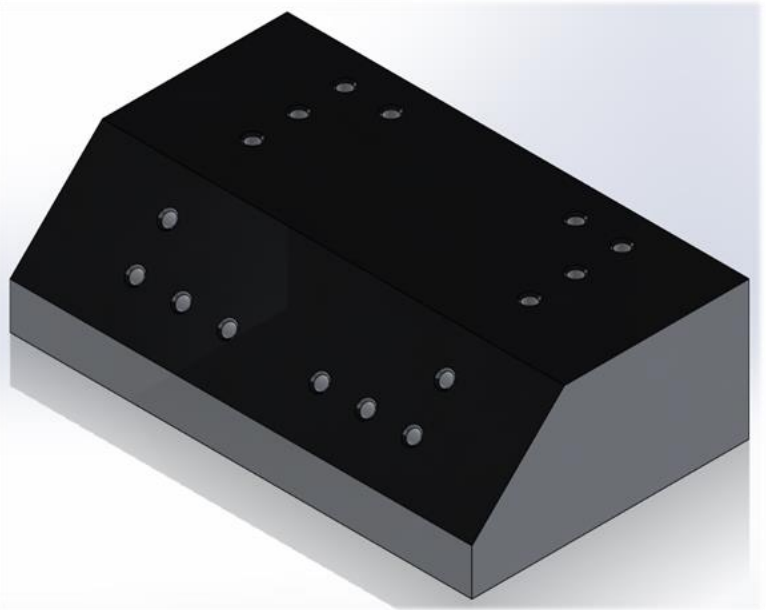
7.3.1. Krefter på probefeste

Krefter som vil bli påført spindelens er igjen av veldig små verdier og vil derfor ikke være nødvendig å utføre håndberegninger men vi vil foreta FEM analyser for å sikre at delen oppnår kvalifikasjonene vi er ute etter.

7.4. Testdel

Testdelen er en del som vi designer for å være så enkel som mulig men kan samtidig utføre alle operasjonene vi trenger for å bekrefte at systemet vårt er godkjent til å bli brukt på den virkelige delen. Målet med testdelen er derfor å ha ett struktur som har enkel geometri samt lett å produsere. Ett slikt design er vist i figur 7.4.1. Fra figuren kan vi konkludere at det er ikke mye endringer som har blitt gjort siden skissene av testdel. Dette er fordi ved det punktet, visste vi allerede materialet og emnene testdelen skulle bli laget ut ifra. Vi har derfor basert størrelsen på testdelen ut ifra disse emnene og har deretter optimalisert testdelens geometri slik at

vi beholder så mye materiale som mulig. Dette vil føre til redusert maskinerings tid og kostand for å produsere delen. I tillegg har vi fem slike emner. Det er usikkert om alle deler trengs å lages men da vil prosessen i seg selv være optimalisert om vi har behov for å produsere flere deler etter hvert. Videre så er det hovedsakelig posisjonene til hullene på testdelen som har forandret seg. TD-3-01 som vist tidligere i dokumentet har hull som ligger på en vinkel i henhold til flaten. Vi har justert disse slik at hullene ligger nå i 90° slik at maskinering blir forenklet. Det er ikke behov for beregning av krefter på denne modellen siden vi vil operere med samme materiale som den virkelige delen.



Figur 7.4.1: Testdel, endelig design

8. FEM Analyser

8.1. Introduksjon

I denne rapporten forsøker vi å forbedre forståelsen innenfor identifisering og lokalisering av spenninger som komponenten vil bli utsatt for under operasjon. Analysene vil inkludere flere komponenter som multiverktøyet består av. Delene forsøker å representere virkelig del, visuelt, men også funksjonelt når den blir utsatt for krefter og spenninger med enkelte forenklinger og antagelser for å gjøre analysen oppnåelig. Målet med rapporten er å få mer realistiske analytiske resultater på komponentene som ikke bør undergå brudd eller permanent deformasjon under analysen. Dette er fordi det er kritisk at komponentene er solide og stabile nok til å absorbere kreftene under operasjon slik at kravene som er satt, kan innfris.

8.2. Komponenter som skal testes

Det er totalt fire komponenter som vi skal produsere. Av disse, er det kun tre av komponentene som vil undergå en analyse. Delen som ikke vil ha behov for analyse er testdelen. Dette er fordi materialet som er brukt for å lage denne testdelen, er det samme som KDA har på sin opprinnelige del. Det vil derfor kun være behov for å kjøre analyse på de tre andre delene som selve multiverktøyet vil bestå av. Delene og deres viktige dimensjoner er presentert nedenfor.

8.2.1. Begrunnelse for valg av material

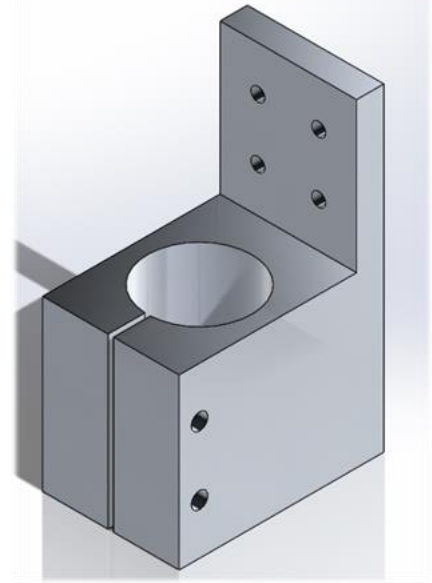
Al 6082-T6 er et materiale som er av det sterkeste i aluminium sin 6000 serie. Materialet er varmebehandlet og kunstig aldret for å øke kvaliteten på dens egenskaper. Det er en middelssterk aluminiumslegering, og dens egenskaper er perfekt for maskineringsmuligheter. Det er også derfor et perfekt material å teste på i FEM. Materialet er tilgjengelig hos KDA for produksjon og er det enkleste og billigste alternativet. Materialets lave tetthet samt relativt høye styrke gjør materialet perfekt for vårt multiverktøy. Materialets spesifikasjoner er listet i tabell 8.2.1.1.

Tabell 8.2.1.1: Al 6082-T6 Spesifikasjoner

Property	Value	Units
Elastic Modulus	6.9e+010	N/m ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.58e+010	N/m ²
Mass Density	2700	kg/m ³
Tensile Strength	295000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	255000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-005	/K

8.2.2. Spindelfeste

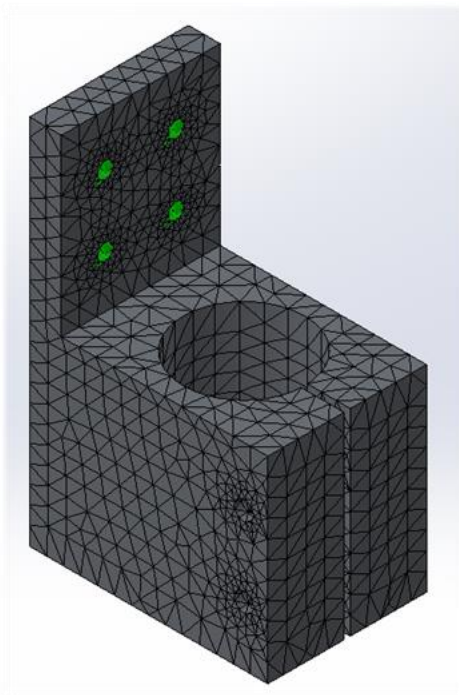
Rapporten vil først og fremst bestå av analyser på spindelfestet som vil bli brukt til å holde spindelen under operasjon. Spindelfestet er delen i multiverktøyet som vil bli utsatt for de største kreftene, og det er derfor viktig å analysere hvordan delen vil reagere til dette. Delens visuelle design er vist i figur 8.2.2.1.



«Mesh» av Spindelfeste

Figur 8.2.2.1: Spindelfeste visuell design

Når en FEM analyse skal gjennomføres, er det viktig at delen implementerer en fin «mesh» siden dette vil bestemme kvaliteten og nøyaktigheten på resultatene analysen viser. Først og fremst kjørte vi en «mesh» som inneholdt automatisk standardisert elementstørrelse som var anbefalt av programmet for vår komponent. Dette er illustrert i figur 8.2.2.3 og tabell 8.2.2.1.



Figur 8.2.2.3: Anbefalt mesh på Spindelfeste

Tabell 8.2.2.1: Mesh Spesifikasjoner

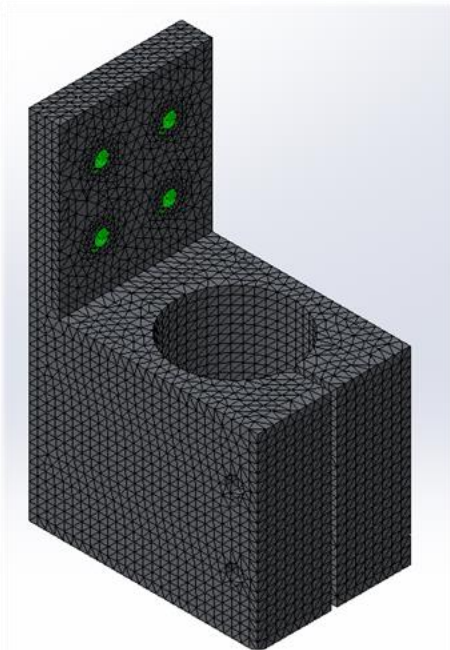
Study name	Static Analysis SF01 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	On
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	5.69545 mm
Tolerance	0.284773 mm
Mesh quality	High
Total nodes	29194
Total elements	18308
Maximum Aspect Ratio	11.403
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	98.4
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.00546
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:02
Computer name	S-K-5119-15

For å analysere en «mesh» ser vi oftest på den totale mengden av elementer og noder. Elementer er hvor mange trekantene det befinner seg på delen og noder er hvor mange knutepunkter det er. For standard «mesh» på spindelfestet er den totale mengden av

elementer lik 18308 med en total mengde av noder lik 29194. Dette er relativt lavt når en analyse skal gjennomføres. Neste viktige faktor er størrelsesforhold, der større elementer er sammenlignet med hverandre blir «mesh» kvaliteten dårligere. Videre så har 98,4% av elementene et størrelsesforhold under tre. Dette er relativt bra og er mest sannsynlig grunnet delens enkle geometri, men det kan fortsatt bli forbedret ved å implementere en finere «mesh». Det er også en liten prosent av elementene som er har et størrelsesforhold over 10, dette kan også forbedres.

Etter å ha raffinert vår «mesh» ved å sette mengden av elementer til maksimum, har vi oppnådd 62429 elementer og 94051 noder. Dette er en betydelig økning i mengden av elementer og noder fra forrige «mesh». Fra «mesh» spesifikasjonene vist i tabell 8.2.2.2 ser vi nå at prosentandelen av elementer med størrelsesforhold mindre enn tre nå har økt til 99,8%, hvor ingen av elementene lenger har et størrelsesforhold mindre enn 10. Disse forbedringene på «mesh» detaljene vil føre til bedre og mer nøyaktige resultater.

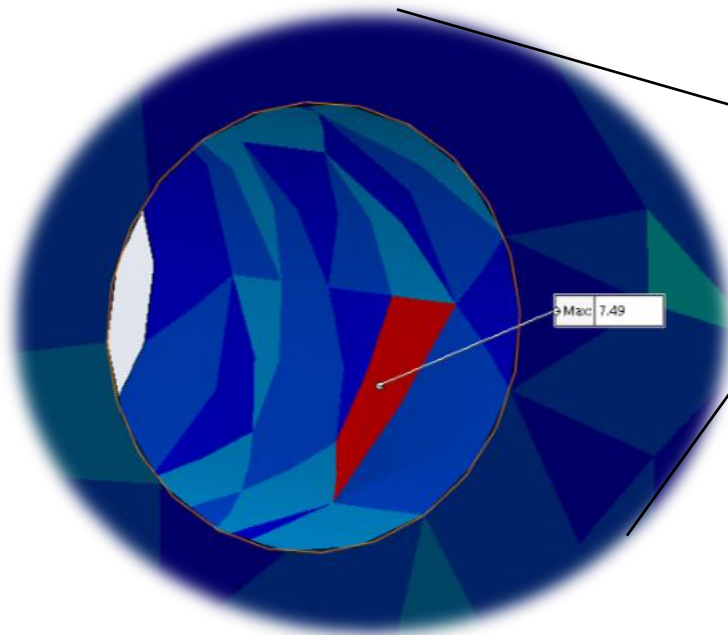
Tabell 8.2.2.2: Mesh Spesifikasjoner (raffinert)



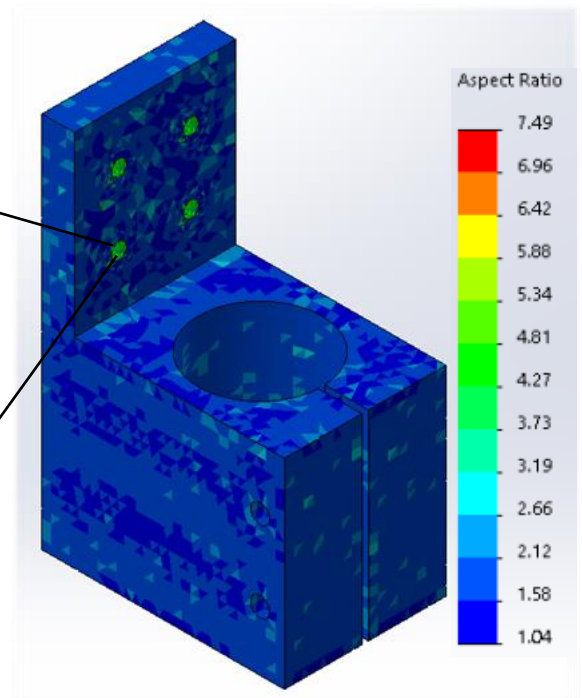
Figur 8.2.2.4: Raffinert mesh på Spindelfeste

Study name	Static Analysis SF01 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	On
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	2.84773 mm
Tolerance	0.142386 mm
Mesh quality	High
Total nodes	94051
Total elements	62429
Maximum Aspect Ratio	7.4949
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	99.8
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:04
Computer name	S-K-5119-15

Mesh Kvalitetsplot

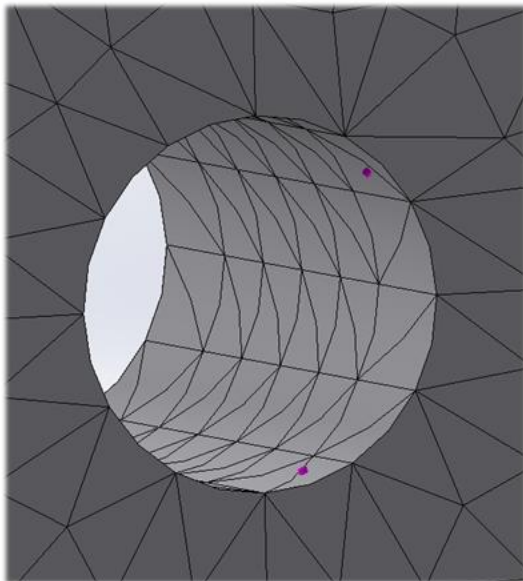


Figur 8.2.2.5: Zoomet inn på problematisk området



Figur 8.2.2.6: Spindelfeste mesh kvalitetsplot

«Mesh» kvalitetsplot er en funksjon som viser hvor på delen størrelsesforholdene befinner seg, dette gjøres ved å skille de med farger. Figur 8.2.2.6 illustrerer spindelfestet sitt «mesh» kvalitetsplot. Som du kan se, er omtrent hele figuren blå, som viser at figuren har en god «mesh» kvalitet. Områder som viser andre skiller av farger betyr at størrelsesforholdene er litt større. Ett område som viste seg problematisk er vist i figur 8.2.2.5. Dette er ett element som befinner seg på hullets indre overflate. Siden dette er hvor spenninger kan konsentrere seg må vi gjøre enn «mesh» kontroll hvor vi velger de indre huloverflatene for å raffinere «meshen» enda mer. Dette er vist i figur 8.2.2.7.

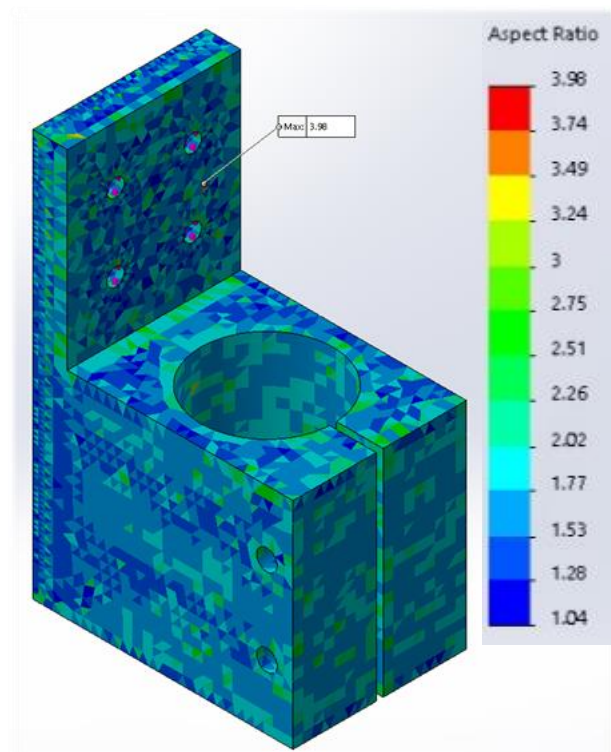


Figur 8.2.2.7: Meshkontroll på hullflater

Elementstørrelsen samt størrelsesforholdet i hullene blir mindre grunnet «mesh»kontroll. «Meshen» har nå et totalt antall elementer lik 105716 og et totalt antall noder lik 156847 og omtrent alle elementer har et størrelsesforhold under tre. Maks størrelsesforhold er nå kun 3,98 og er lokalisert på spindelfestets flate slik som vist i figur 8.2.2.8. Fargevariasjoner på komponenten viser større kontrast, men dette er grunnet fargespekterets reduksjon i maksimal størrelsesforhold. Størrelsesforhold analysen i sin helhet er akseptabel og spenningene som delen vil bli utsatt for vil ikke bli påvirket av dårlig «mesh» ettersom «meshen» er justert for optimale resultater.

Tabell 8.2.2.3: Mesh Spesifikasjoner (Meshkontroll)

Study name	Static Analysis SF01 [-Default-]
Automatic Transition	On
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Mesh Control	Defined
Element size	2.84773 mm
Tolerance	0.142386 mm
Mesh quality	High
Total nodes	156847
Total elements	105716
Maximum Aspect Ratio	3.9802
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	99.9
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:03
Computer name	S-K-5119-15



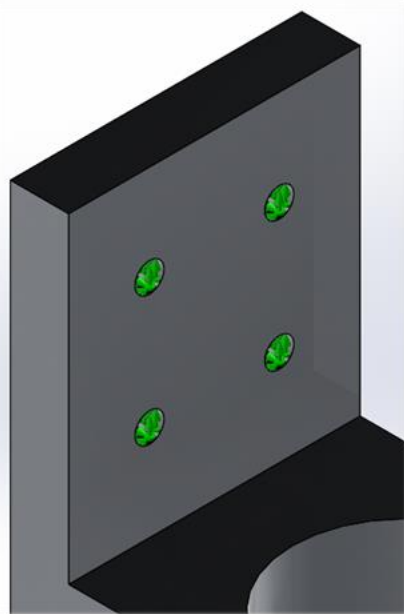
Figur 8.2.2.8: Raffinert mesh med meshkontroll

8.2.3. Statisk Stress Analyse (Spindelfeste)

Analysen vi forsøker å gjennomføre er en statisk stressanalyse. Analysen vil inneholde to situasjoner: Den første situasjon vil gå ut på å analysere spindelfestes reaksjon mot krefter som teoretisk sett vil overføres fra spindelens under operasjon. Den andre analysen vil gå ut på kraften som påføres spindelfestet ved stramming rundt spindelens. Disse analysene vil forsøke å lokalisere spenningskonsentreringer, mulig deformasjon i materialet, eksterne krefter, spenningsplot og deformasjonsplot.

Bruk av Fiksturer

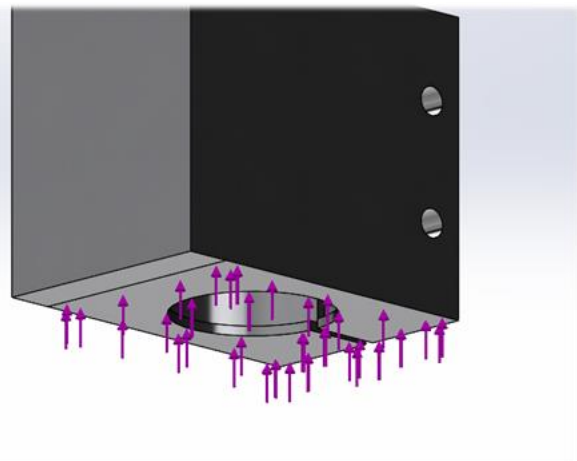
Fiksturer er en viktig del av FEM analysen. Fiksturer forsøker å realisere hvor på delen den er fikset. Det vil si der delen er koblet/festet til noe annet og er derfor låst i dette området. For spindelfestehullene, hvor boltene skal festes til kraftsensoren, er dette det mest naturlige området å benytte fiksturer. Ved hjelp av «fixed geometry» funksjonen i FEM, låser vi delen i alle fire hull og i alle retninger. Kontaktflatene er derfor flaten på innsiden av alle hullene. I virkeligheten er det friksjon fra delens kontakt til kraftsensor og muligens vridning som kan påvirke resultatet, men ser bort i fra dette for å forenkle analysen.



Figur 8.2.3.1: Plassering av fiksturer

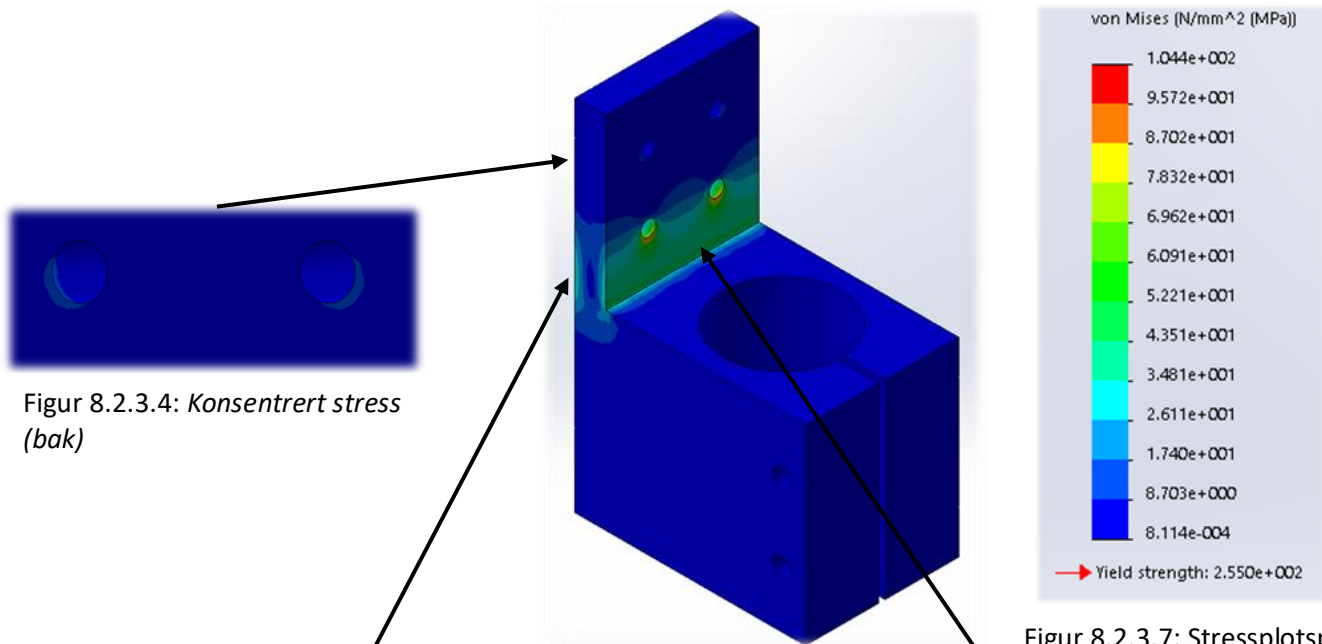
Eksterne krefter (analyse 1)

Fra tidligere beregninger har vi funnet ut at spindelens vil behøve en skyvekraft på omtrent 115 N for å utføre operasjonen med faktorene vi har satt. Spindelfestet vil derfor bli utsatt for en slik kraft rettet oppover. For å forenkle simuleringen, har vi satt kontaktflatene for kraften på undersiden av spindelfestet. I praksis, vil kraften reagere oppover fra spindelens hullsenter. Men i dette tilfellet, virker kraften på flaten som vist i figur 8.2.3.2. Som du kan se fra figuren har vi også delt flaten i to, slik at kraften ikke virker opp spindelfestetets bakflate og dens tykkelse.



Figur 8.2.3.2: Kraftens kontaktflate

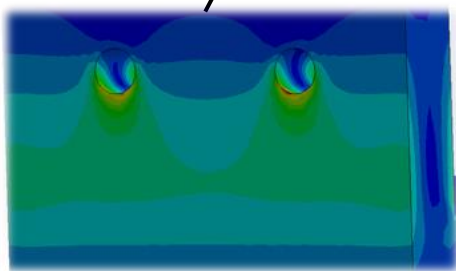
Resultater (analyse 1)



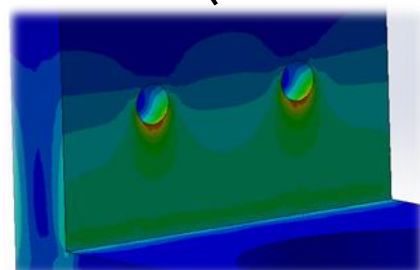
Figur 8.2.3.4: *Konsentrert stress (bak)*

Figur 8.2.3.3: *Stress analyse*

Figur 8.2.3.7: *Stressplotspekter*



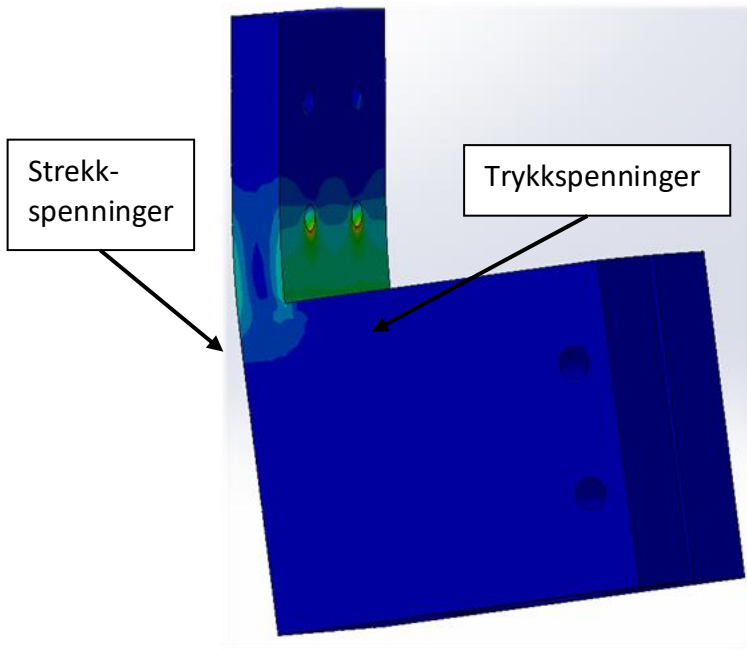
Figur 8.2.3.5: *Konsentrert spenning (bakflate)*



Figur 8.2.3.6: *Konsentrert stress*

Figur 8.2.3.3 viser resultatet av en kraft på 115 N med kontaktflate under spindelfestet. Den største spenningen som oppstår under denne analysen var 104,4 MPa. Dette er under materialets flytegrense med en sikkerhetsfaktor på 2,5. Denne spenningen er lokalisert i figur 8.2.3.5 og 8.2.3.6. Dette er mest sannsynligvis grunnet delens oppspenningsområde. Det blir størst spenning rundt de to nederste hullene siden disse absorberer de største spenningene som forventet. De øverste to hullene absorberer spenninger også, men er av mye mindre størrelse. Disse spenningskonsentrasjonene er vist i figur 8.2.3.4. Fra analysen kan det også konkluderes at flaten under de to nederste hullene blir utsatt for spenningskonsentrasjoner,

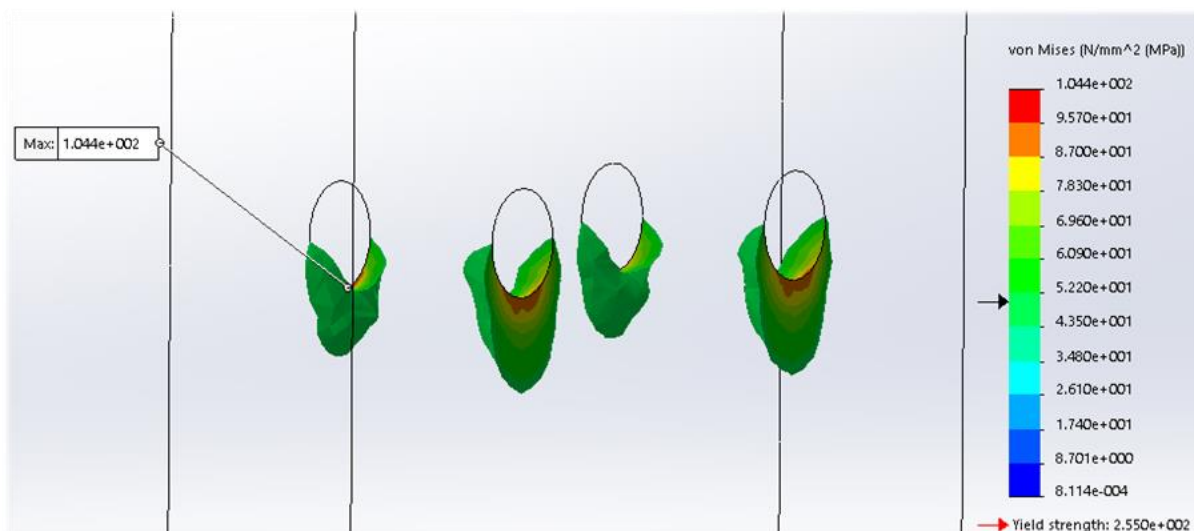
dette er grunnet bøyemoment som oppstår. Om vi forsøker å overdrive resultatet på analysen ved en faktor på 50, kan dette bli mer visuelt demonstrert. Dette vises i figur 8.2.3.8.



Ved en overdrivelse på en faktor av 50, kan delens deformasjonsbilde bli bedre visualisert. Deformasjonen på delen vil føre til spenninger i form av strekk på baksiden av spindelfestet og trykkspenninger på forsiden. Spenningskonsentrasjonene som oppsto fra den påførte kraften er nå identifisert og en endring på denne kraften vil ikke føre til flytting av hvor spenningskonsentrasjonene først oppstår.

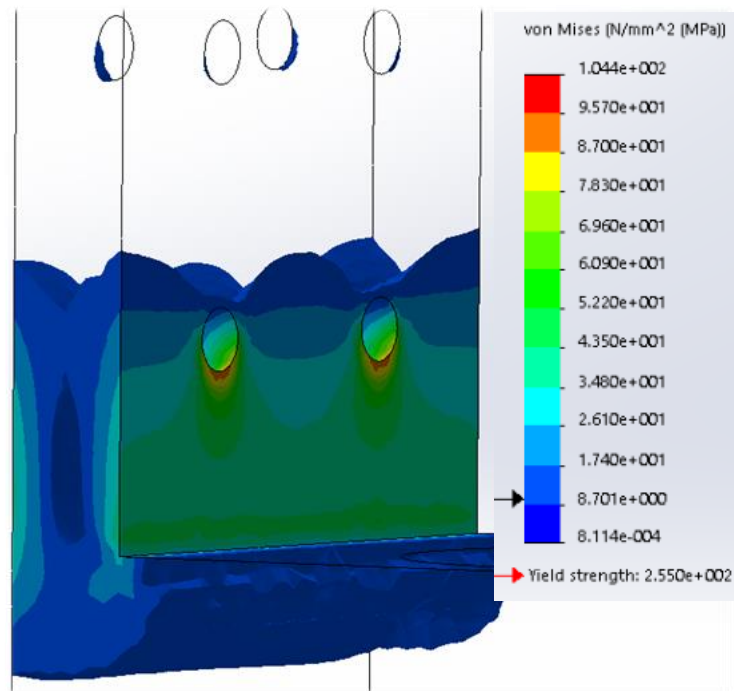
Figur 8.2.3.8: Deformasjonsbilde (faktor 50)

For å få en bedre indikasjon på hvor, på og inni delen, spenninger oppstår og ved hvilken størrelse disse er kan vi benytte oss av funksjonen «Iso Clipping» i FEM. Dette er demonstrert i figur 8.2.3.9.



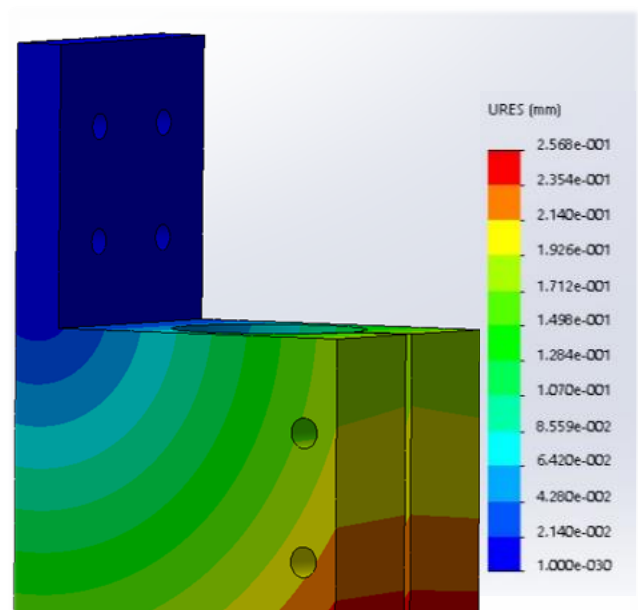
Figur 8.2.3.9: Iso Clipping av stress analyse

Figur 8.2.3.9 viser spenningskonsentrasjonen i de to nederste hullene hvor maks spenning ble lokalisert. Når vi har halvert spenningsmengden på spekteret, er det kun ett lite område hvor spenningene oppstår. På bildet, konsentrerer spenningene seg under hullene. Dette er mest sannsynlig grunnet boltens (fikstur i hullet representerer en bolt) reaksjonskraft i motsatt retning enn kraften spindelfestet er utsatt for. Når vi reduserer spenningen til 1/10 av maks spenning, ser vi at spenning begynner å oppstå i de øvre to hullene samt spenning fordelt utover materialet. I praksis vil dens evne til å absorbere og distribuere spenning være bedre. Men analysen viser en god indikasjon på delens reaksjon mot spenningene.



Figur 8.2.3.10: Iso Clipping av stress analyse

Fra samme analyse har vi også mulighet til å analysere hvor det befinner seg områder av forskyvning og i hvilken grad. Figur 8.2.3.11 viser et forskyvningsplot for spindelfestet, når utsatt for en kraft på 115 N og er oppspent i fire hull som vist tidligere. På figuren er den høyeste registrerte forskyvningen 0,2568 mm og er markert med rød farge på delen. Dette kan i praksis påvirke resultatene oppnådd ved boring og forsenkingsprosessen grunnet våre strenge toleranser. Men i denne analysen har vi påført kraften jevnt på underflaten, mens i praksis vil den bli overført via spindelen som er strammet

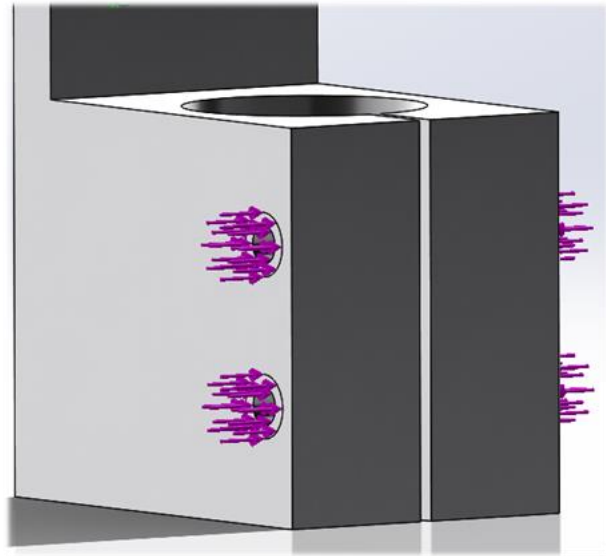


Figur 8.2.3.11: Forskyvningsplot

med spindelfestet. Kraften vil derfor ikke virke langs kanten på spindelfestet som er markert rødt i figur 8.2.3.11. Dette vil føre til en reduksjon i forskyvning ved denne kanten. Konsentreringen av forskyvningen er kun lokalisert ved nedre kant. I praksis, vil ikke kun kanten på delen forskyve seg, vi kan derfor anta at spenningen ved dette punktet vil bli mer jevnt absorbert i praksis.

Eksterne krefter (analyse 2)

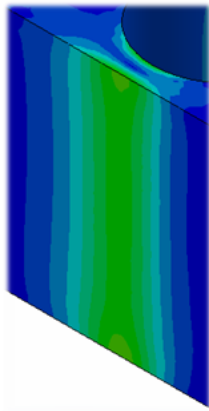
For neste analyse skal vi påføre spindelen krefter som funker på strammingshullene. Fra tidligere beregning har vi estimert størrelse på klemmekraft som trengs for å stramme fast spindelen. Denne verdien på 460 N vil da bli brukt for å gjennomføre denne analysen. For å forenkle simulasjonen har vi påført kreftene direkte på spindelfestet sin overflate på hver side slik at vi ikke har med flere komponenter enn nødvendig for å simulere de resultatene vi er ute etter. I praksis så vil bolten sitt hode påføre kraften til overflaten på spindelfestet. Lokalisering av krefter er vist i figur 8.2.3.12. Figuren illustrerer hvordan vi har satt på kraften slik at den skal etterligne ett bolthode. Dette er for å øke kvaliteten samt nøyaktigheten på sluttresultatet av analysen. Kraften er satt over en diameter på 10 mm. Dette tar i betraktning at vi vil benytte oss av skiver mellom skruhode og spindelfestet for å bedre overføre kraften slik at skruhodet ikke graver seg inn i materialet over tid.



Figur 8.2.3.12: Kraftens kontaktflate

Resultater (analyse 2)

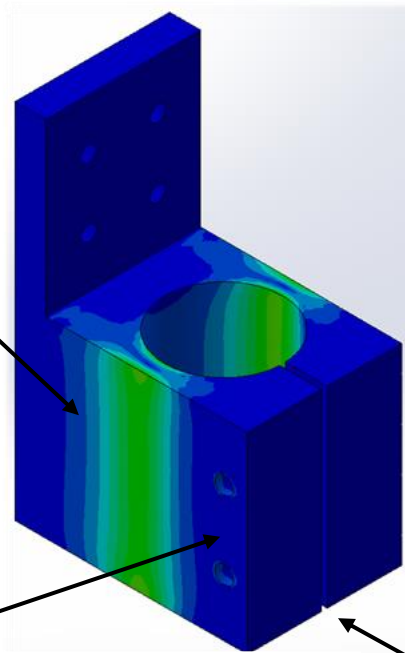
For denne analysen så kjører vi samme «mesh» som i forrige analyse slik at vi opprettholder like analysefaktorer gjennom rapporten. Ved å kjøre analysen får vi følgende resultater:



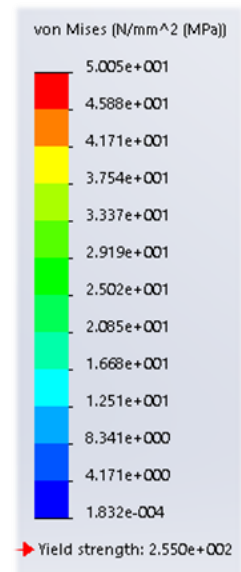
Figur 8.2.3.14: Konsentrert spenning



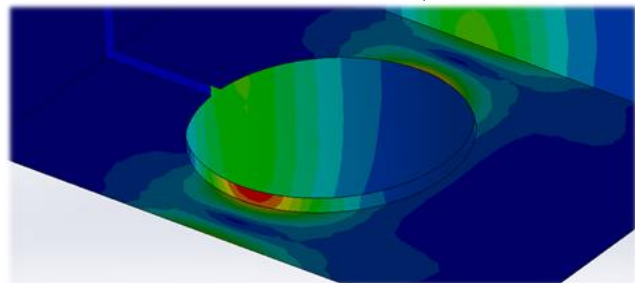
Figur 8.2.3.15: Konsentrert spenning



Figur 8.2.3.13: Stress analyse



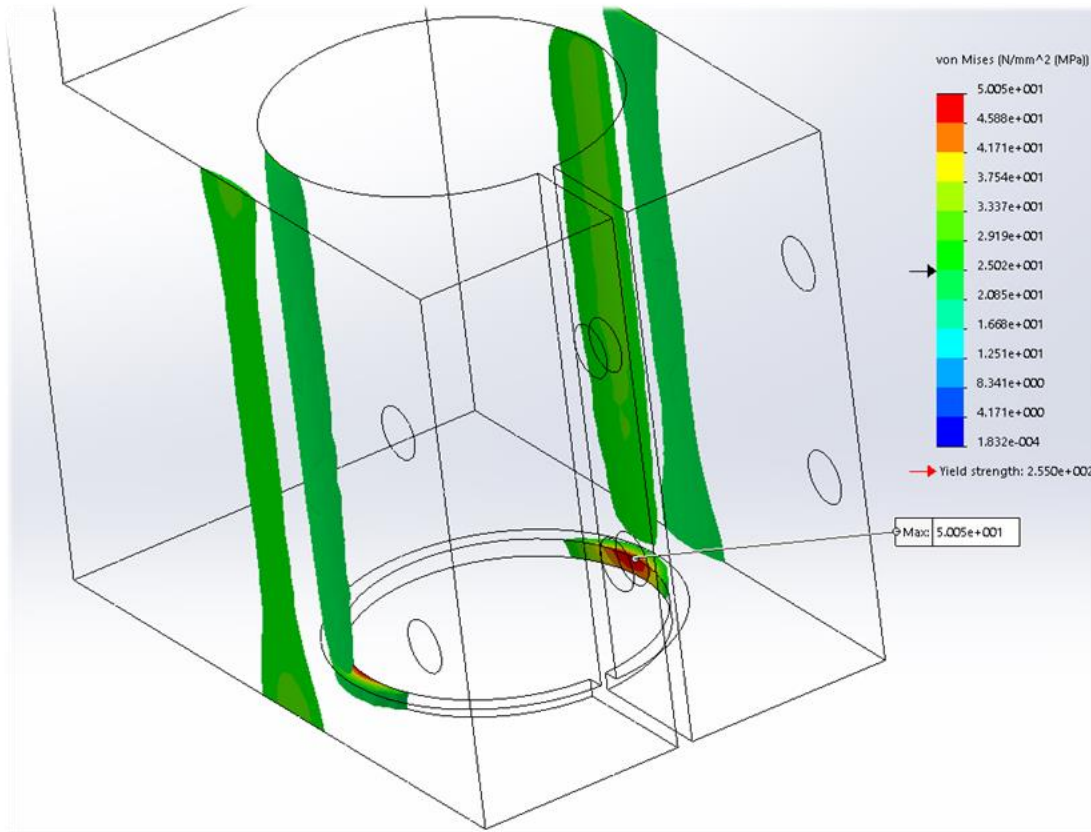
Figur 8.2.3.17: Stressplotspekter



Figur 8.2.3.16: Konsentrert spenning

Figur 8.2.3.13 viser resultatet av en kraft på 460 N med kontaktflate rundt to hull som vil bli brukt til stramming via skruer. Det er fire kontaktområder på modellen hvor hver side vil påføre en kraft på 460 N for og i teorien stramme likt på hver side. Den største spenningen som oppsto under analysen var 50 MPa. Dette er under materialets flytegrense med en sikkerhetsfaktor på 5,1. Dette er en høy sikkerhetsfaktor og materialet er ikke i fare for å overstige dens flytegrense og vil derfor beholde seg i den elastiske regionen ved nåværende påført kraft. Ved denne analysen har vi også definert og lokalisert spenningskonsentrasjonene som befinner seg på modellen. Figur 8.2.3.14 viser spenningskonsentrasjon langs det tynne området rundt klemmen. Dette er forventet og modellen er designet slik at dette området har en svakhet mot bøyning for å redusere kraften på skruene når vi skrur disse til for å stramme spindelen. Figur 8.2.3.15 demonstrerer hvor lite kontaktflaten på modellen blir påvirket av den påførte kraften i forhold til andre konsentrasjonsområder. Ved bruk av skiver mellom

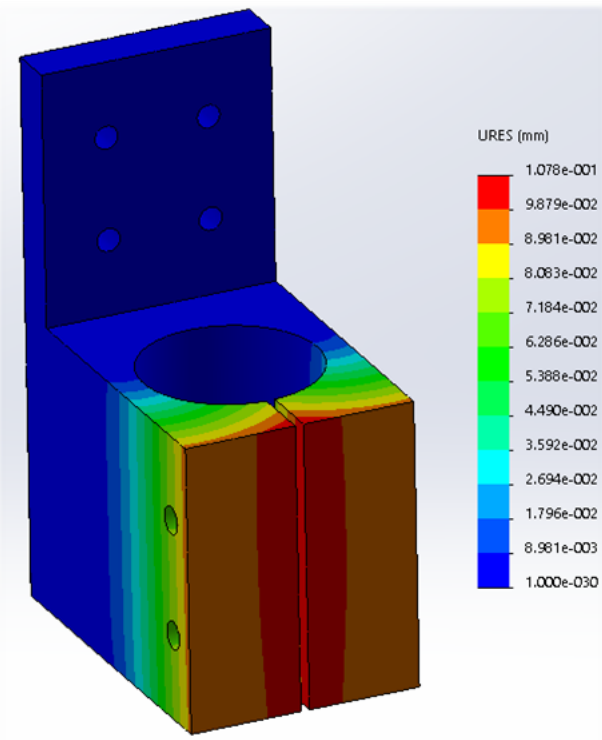
skruehode og spindelfeste, vil vi unngå å få merker fra skruehodet på festet og samtidig fordele kraften bedre. Figur 8.2.3.16 viser høy konsentrasjon på stoppkanten på designet vårt ved undersiden av spindelfestet. Dette er grunnet hurtig endring i geometri i det området som fører til høyere konsentrasjon av spenninger. Spenningene har i tillegg ikke mye rom for å fordele seg og vil derfor bli tvunget til å samle seg over stoppkanten. Spenningskonsentrasjoner som er identifisert kan speiles på den andre siden av spindelfestet, siden det befinner seg symmetri ned på midten av modellen.



Figur 8.2.3.17: Iso Clipping av stress analyse

Figur 8.2.3.17 viser resultatet av stressanalysen ved «iso clipping» på en spenningsmengde som er halvparten av maksimal spenning som oppsto i modellen. Figuren viser også hvor på modellen maksimal spenning befinner seg. Som nevnt tidligere så har vi en høy sikkerhetsfaktor mot permanent deformasjon og vil ved nåværende påført kraft, ikke være noe å bli bekymret over.

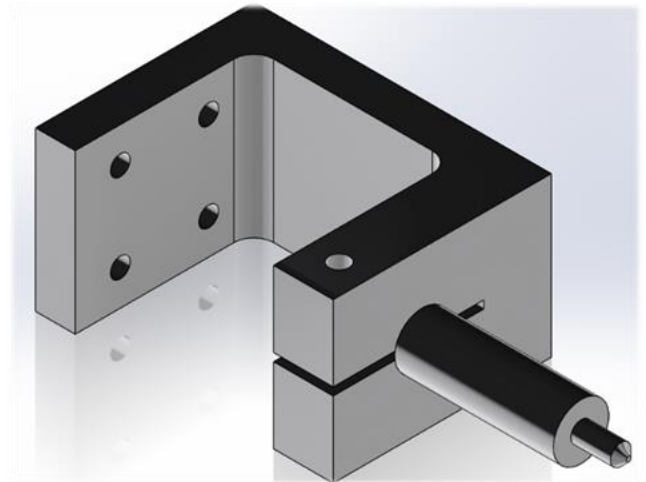
Figur 8.2.3.18 viser et forskyvningsplot for spindelfestet, når den er utsatt for en strammingskraft på 460 N på begge sider. Delen er som forrige analyse, oppspent i fire hull når kraften påkjennes. Fra figuren kan vi notere den høyeste forskyvningen som ble registrert som er 0,1 mm. Dette er grunnet beregningene som vi har gjort ikke tar i betraktning metallens evne til å overføre klemmekraft. Det er derfor mer komplisert i praksis, men ved strenge toleranser vil kraften kunne overføres til spindelen. Det røde området viser hvor forskyvning er høyest. I praksis vil vi stramme til med skruene slik at spindelen vil sitte fast, dette er grunnet mangel på måleverktøy for å undersøke eksakt hvor mye kraft vi virkelig strammer med. Vi kan deretter påføre en kraft på 115 N på spindelen for å sjekke om den ikke beveger seg fra sin posisjon i festet. Om den beveger seg så er toleransene på hullet for dårlig i forhold til spindelens husingsdiameter og vi må deretter stramme mer enn vi først hadde beregnet på.



Figur 8.2.3.18: Forskyvningsplot

8.2.4. Probe og probefestet

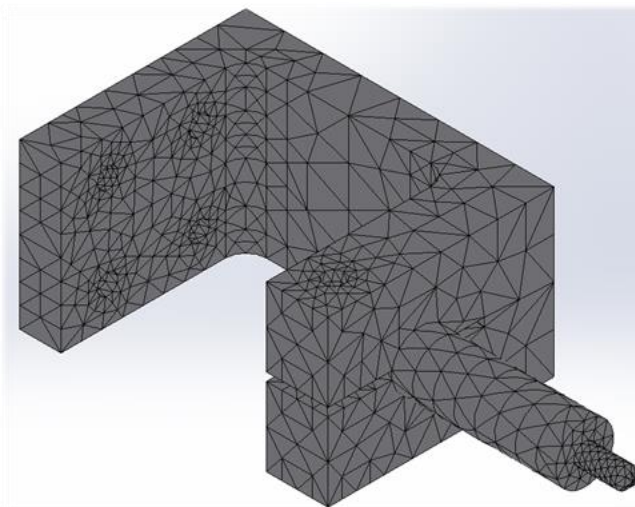
Proben med probefestet er de delene som vil bli minst utsatt for krefter. Det er allikevel viktig å få kjørt analyser på hvordan disse delene vil reagere når de blir utsatt for krefter. Dette er viktig på grunn av små bevegelser som kan ha negativt utslag på sluttresultatet til systemet vårt, på grunn av de strenge toleransene.



Figur 8.2.4.1: Sammenstilling Probefeste og Probepinne

«Mesh» av Probefeste og Probe

Først utfører vi «mesh» med standardiserte elementer som er anbefalt av programmet, men vi må huke av for «Curvature-based mesh» på grunn av formen til proben. Dette er illustrert i figur 8.2.4.2 og tabell 8.2.4.1



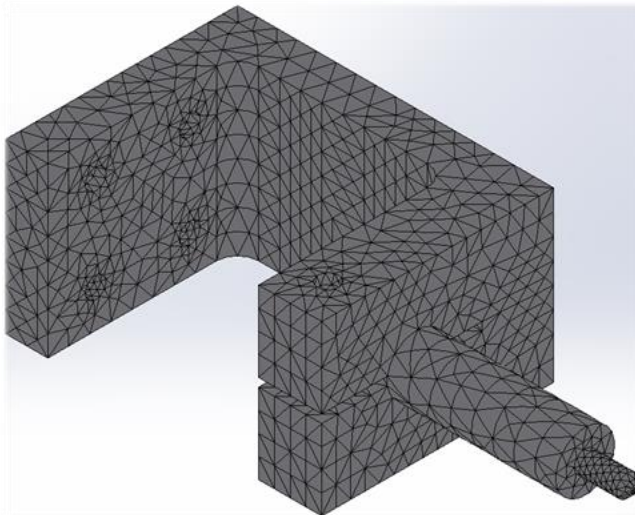
Figur 8.2.4.2: Standard mesh

Tabell 8.2.4.1: Mesh spesifikasjoner (Standard)

Study name	Static Analysis IP and PF (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	8.59958 mm
Min Element Size	1.71992 mm
Mesh quality	High
Total nodes	16110
Total elements	9671
Maximum Aspect Ratio	52.877
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	95.6
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.341
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:01
Computer name	S-K-5119-19

Det totale antallet av elementer er 9671 og det totale antallet av noder er 16110, dette er lavt når en analyse skal gjennomføres. 95,6 % av elementene har et størrelsesforhold som er mindre enn tre. Dette er akseptabelt med tanke på delens komplekse geometri. Vi kan forbedre dette ved å implementere en finere «mesh». Elementene som har et størrelsesforhold som er større en 10 er også høyt, dette kan også forbedres.

Etter å ha kjørt en ny «mesh» med høyere finhet, ved å sette mengden av elementer til maksimum, har vi fått 15131 elementer og 24454 noder. Dette er en økning fra forrige «mesh», for både elementer og noder. Som vi ser fra tabellen 8.2.4.2 har prosentandelen av elementer med størrelsesforhold mindre enn tre økt til 98.5%. Elementene med størrelsesforhold mindre enn 10 har blitt halvert. Disse forbedringene på «mesh» detaljene vil føre til bedre og mer nøyaktige resultater.



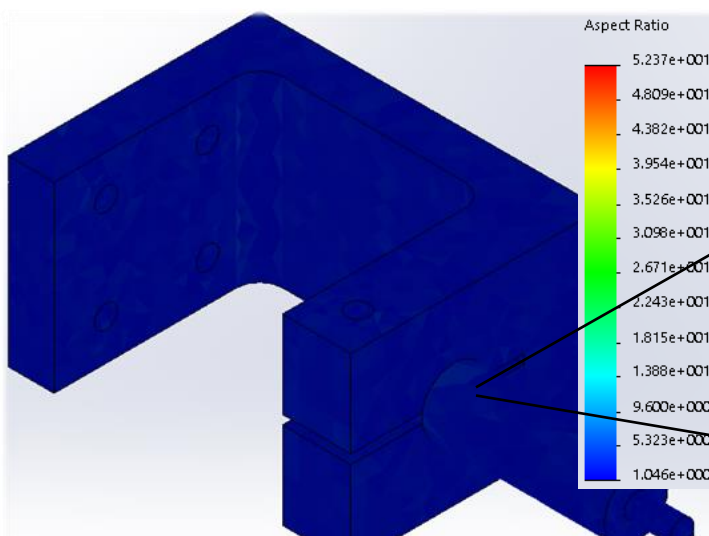
Figur 8.2.4.3: Fin Mesh

Tabell: 8.2.4.2: Mesh spesifikasjoner (fin)

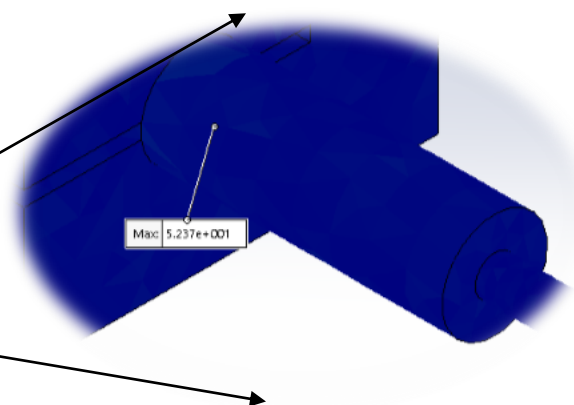
Study name	Static Analysis IP and PF (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	4.29979 mm
Min Element Size	0.859958 mm
Mesh quality	High
Total nodes	24454
Total elements	15131
Maximum Aspect Ratio	52.37
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	98.5
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.152
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:01
Computer name	S-K-5119-19

«Mesh» Kvalitetsplot

Figur 8.2.4.4 illustrerer probefestet med proben sitt «mesh» kvalitetsplot. Som vi kan se, er hele figuren blå noe som indikerer en god «mesh» kvalitet. Områdene som viser andre farger har større størrelsesforhold. Som vi ser fra Figur 8.2.4.5 er den maksimale spenningskonsentrasjonen ikke veldig mye høyere enn resten av delen. Størrelsesforholdsanalysen er akseptabel og spenningsene som sammenstillingen vil bli utsatt for vil ikke bli påvirket av dårlig «mesh» kvalitet.



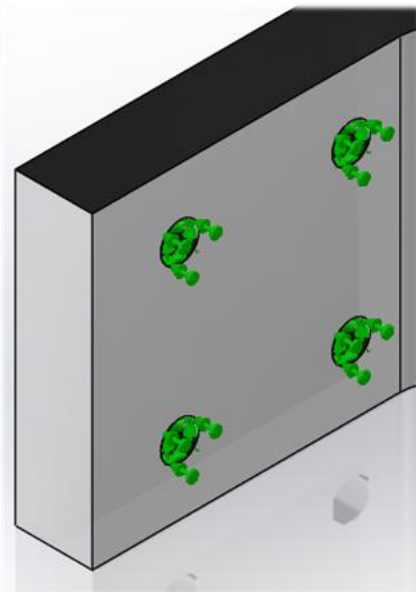
Figur 8.2.4.4: Sammenstilling IP og PF mesh kvalitetsplot



Figur 8.2.4.5: Zoomet inn på maks spenningskonsentrasjon

8.2.5. Statisk Stress Analyse (Sammenstilling Probe og Probefestet)

Under statisk stress analysen vil vi analysere to ulike situasjoner. Situasjonene vi vil analysere er probens og probefestets reaksjoner mot en kraft under «shaft insert» og kontaktprobing. Vi har konkludert med at vi ikke har behov for å analysere stramming av proben på grunn av at vi har tatt dette i betraktning under design. Analysen vil forsøke å lokalisere spenningskonsentreringer, mulig deformasjon i materialet, eksterne krefter, spenningsplot og deformasjonsplot.



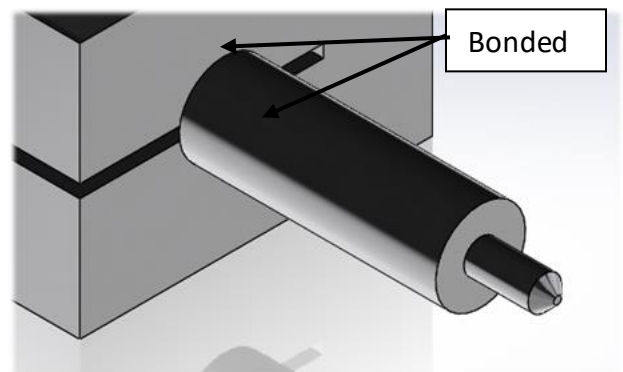
Fikstur

Probefestet vil ha fiksturene på skruehullene som skal bli festet til robotarmen, dette er det mest naturlige område å sette fiksturen på. Ved bruk av «Fixed geometry» blir delen låst i alle retninger. For å simplifisere systemet ser vi bort ifra kontaktflaten mellom spindelfestet og probefestet.

Figur 8.2.5.1: Plassering av fiksturer

Kontakt

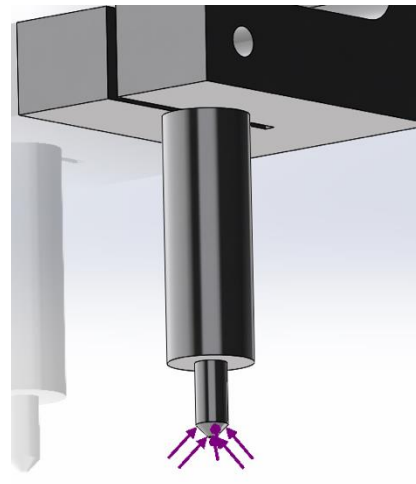
For nøyaktigere resultater under analysen har vi angitt kontaktområde mellom probefestet og proben. Dette kontaktområde har blitt definert som «bonded» på grunn av at de vil bli sammensatt ved hjelp av en skrue, noe som vil føre til at de vil oppføre seg som en del under analysen.



Figur 8.2.5.2: Zoomet inn på probe

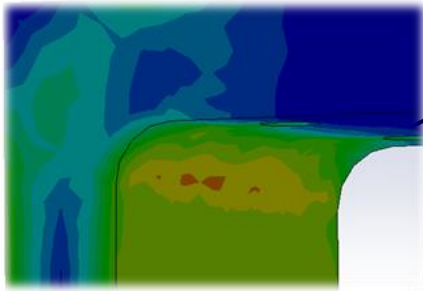
Analyse 1 eksterne krefter

Systemet vårt vil bli programmert til å ikke skyve med mer enn 50 N kraft under «shaft insert». Proben og probefestet vil derfor bli utsatt for en kraft rettet oppover fra arbeidsoverflaten. Vi har satt kontaktflaten for kraften på siden av tuppen av proben på grunn av at dette er den mest sannsynlige kontaktområde mellom proben og arbeidsdelen (chamfer på hullet) som vist på figur 8.2.5.3.

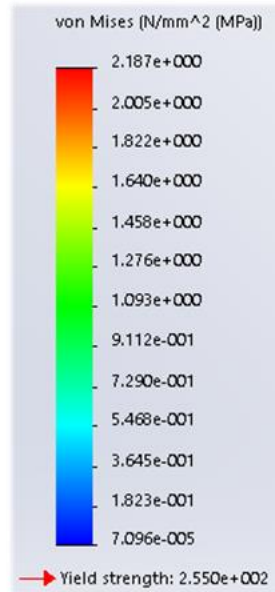
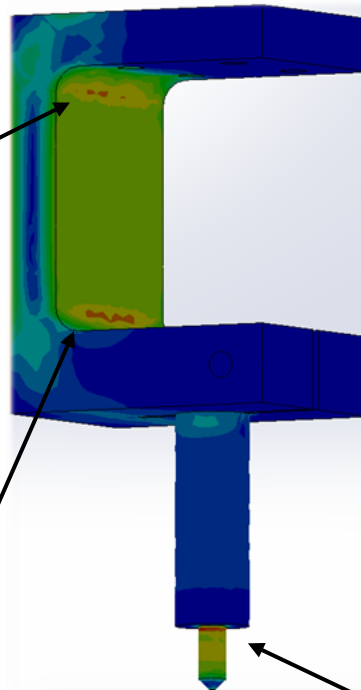


Figur 8.2.5.3: Kraftens kontaktflate

Resultater

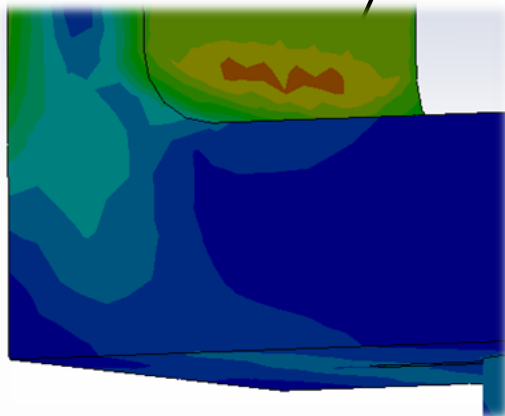


Figur 8.2.5.5: *Konstentrert stress topp*

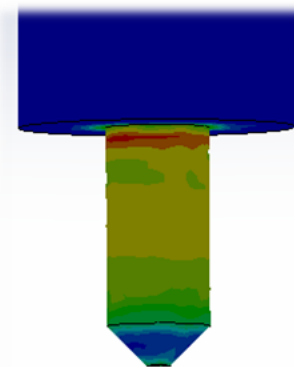


Figur 8.2.5.8: *Stressplotspekter*

Figur 8.2.5.4: *Stress analyse*

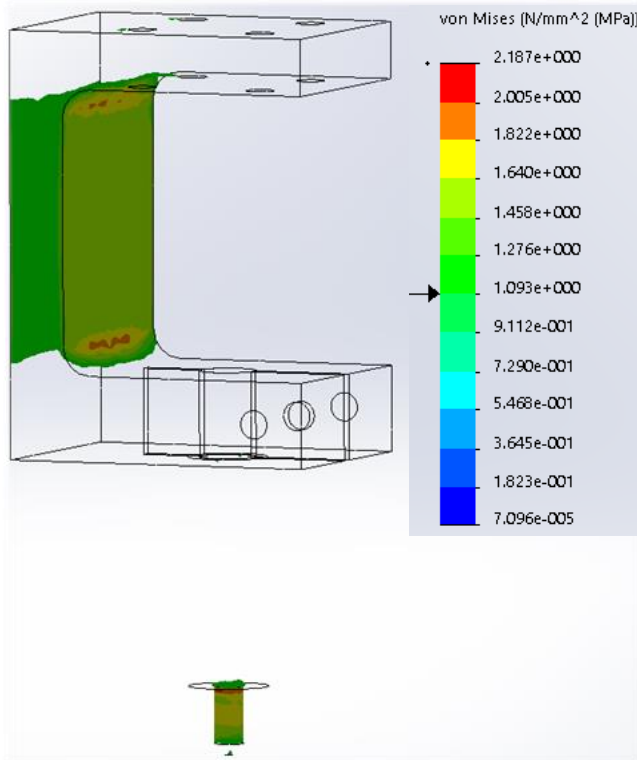


Figur 8.2.5.6: *Konsentrert stress bunn*



Figur 8.2.5.7: *Konsentrert stress IP*

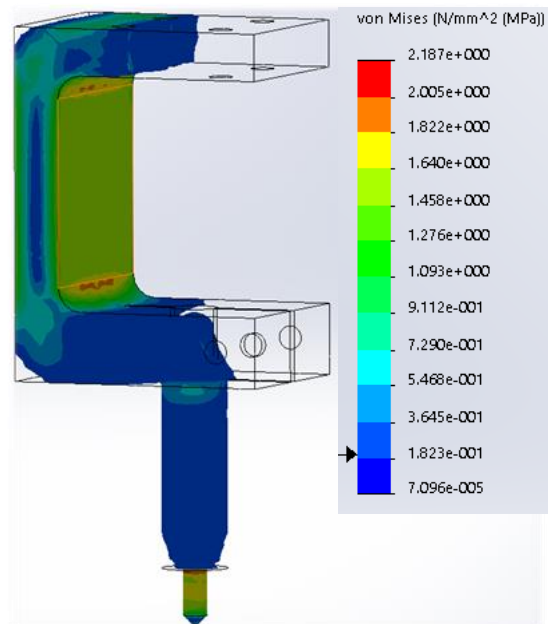
Figur 8.2.5.4 viser resultatet av en kraft på 50 N med kontaktflate på tuppen av proben. Som vi kan lese av fra Figur 8.2.5.8, er den største spenningen som oppstår under analysen 2,187 MPa. Dette er langt under materialets flytegrense, selv med en sikkerhetsfaktor på 2,5. Disse spenningene er lokalisert i figurene 8.2.5.5, 8.2.5.6 og 8.2.5.7. Dette er mest sannsynligvis grunnet delenes design og kraftens angrepsvinkel. Som vi ser på figur 8.2.5.4 er spenningskonsentrasjonene størst der delene er mest sårbare for bøyning. Dette er på grunn av bøyemomentet som oppstår.



Figur 8.2.5.9: Iso Clipping av stress analyse

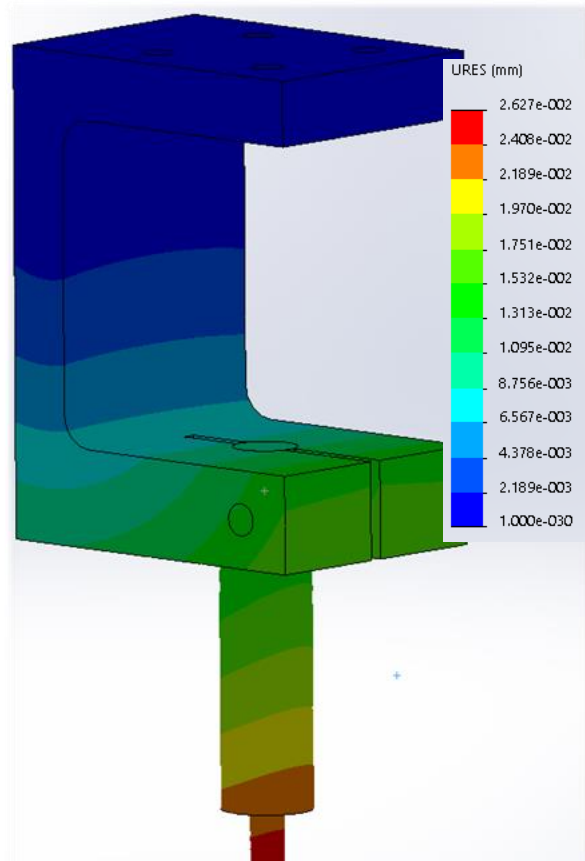
Når vi reduserer spenningen til 1/10 av maks spenning ser vi spenningene oppstår der det er mest bøyemoment, samt spenningen som fordelt utover materialet. I praksis vil spenningene bli absorbert og distribuert jevnere, men vi kan se i figuren 8.2.5.10 at spenningene blir ganske jevnt fordelt utover delene. Analysen viser en god indikasjon på delens reaksjon mot spenningene.

For å få en bedre indikasjon på hvor, på og inni delen, spenningene oppstår og ved hvilken størrelse disse spenningene er, kan vi benytte oss av funksjonen «Iso Clipping» i FEM. Som demonstrert på figur 8.2.5.9. De områdene som er røde har de høyeste spenningene. Når vi har halvert spenningsmengden på spekteret er det kun de områdene som er mest utsatt for bøyemoment som vises.

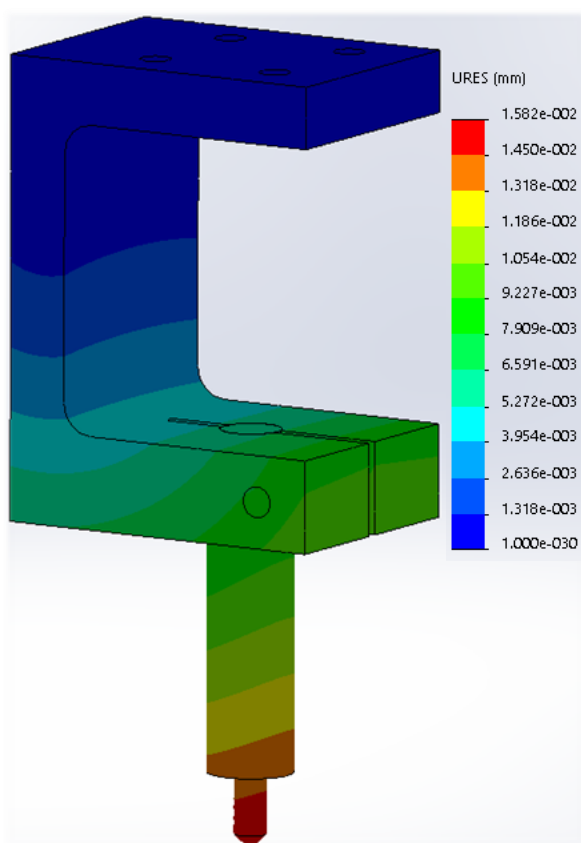


Figur 8.2.5.10: Iso Clipping av stress analyse

Fra samme analyse, analyserer vi også hvor det befinner seg forskyvning på delen og til hvilken grad. Figur 8.2.5.11 viser forskyvningsploten for probefestet og proben når de er utsatt for en kraft på 50 N. Oppspenningen er på de fire hullene som vist tidligere. På figuren er den høyeste registrerte forskyvningen 0,0267 mm, dette område er markert med rød farge på delen. Dette kan påvirke resultatet av probeprosessen grunnet våre strenge toleranser, men dette vil være minimalt. Som vi kan se fra figuren er forskyvningen størst på tuppen av proben. Dette er som forventet på grunn av forskyvning lenger oppe på delen vil også forskyve tuppen av proben.



Figur 8.2.5.11: Forskyvningsplot

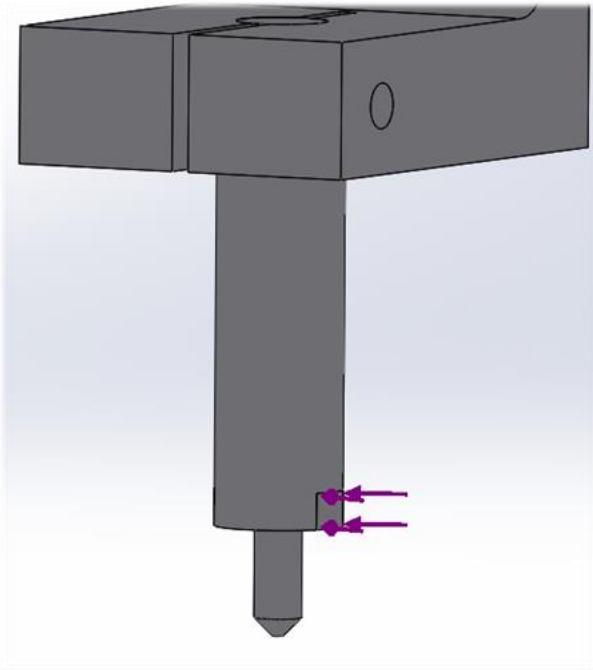


Figur 8.2.5.12: Forskyvningsplot 30N

Systemet vårt vil operere med 25-30 N under «Shaft insert» operasjonen. Som vi kan se fra figur 8.2.5.12, er maks forskyvning 0,0158 mm med 30 N kraft. Dette er minimalt med forskyvning, men noe som vi må ta hensyn til siden denne forskyvningen kan påvirke systemets evne til å lagre riktig posisjonering av hullene.

Analyse 2 eksterne krefter

Under denne analysen vil vi analysere hvordan probefestet og probepinnen vil reagere på krefter som vil treffe probepinnen fra kanten, som vist på figur 8.2.5.13. Dette er en situasjon som vil oppstå når vi gjør kontaktprobing ved å utnytte «constant push» funksjonen til robotarmen. Kraften som blir påført under denne operasjonen varierer mellom 12 og 20 N. Vi vil derfor kjøre analyser med 12 og 20 N for å finne maksimums- og minimumsresultater med tanke på forskyvning.



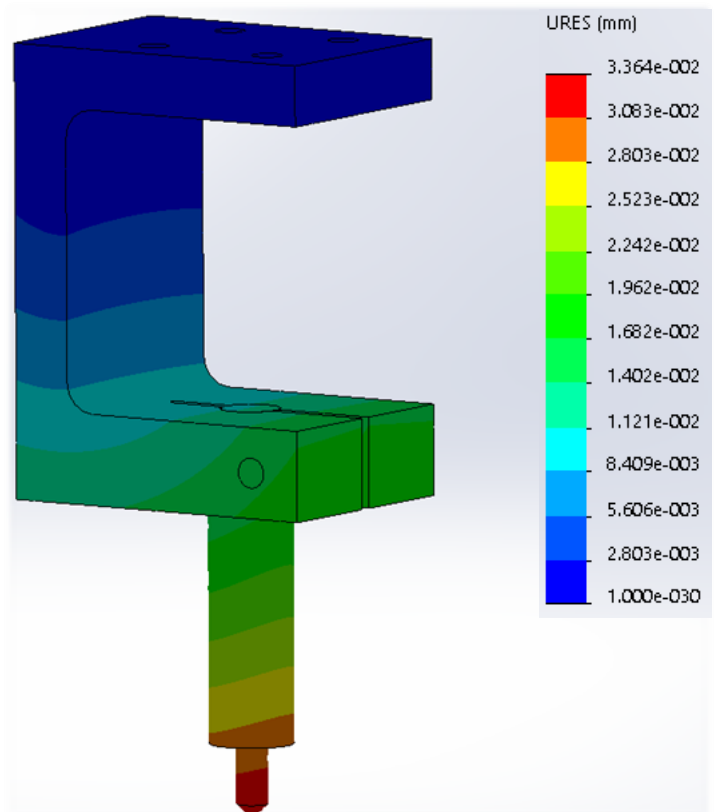
Figur 8.2.5.13: Kraftens kontaktflate

Resultater

For denne analysen er det forskyvningen som er viktig, derfor vil kun disse resultatene bli analysert.

Kraft 12 N

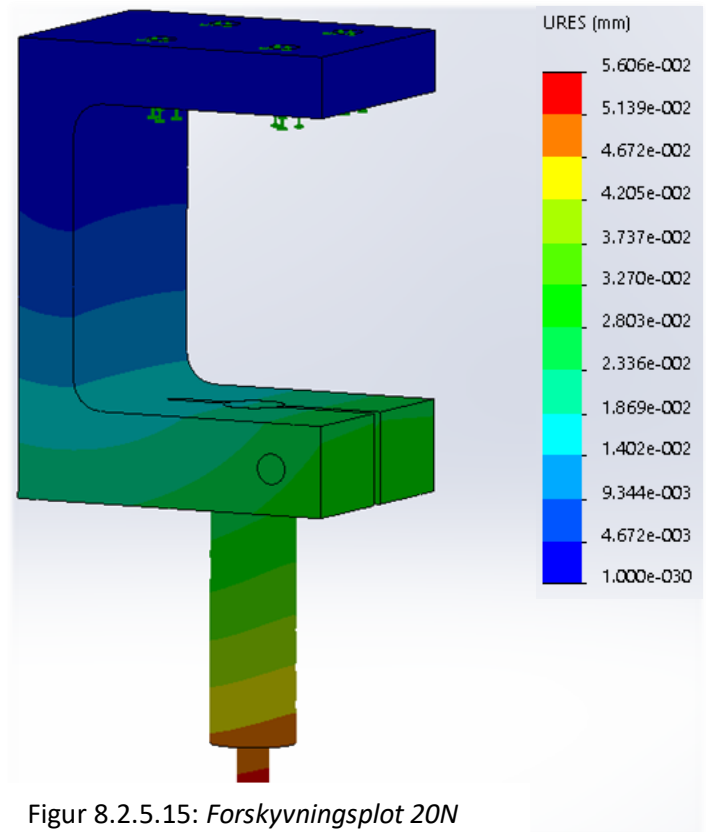
Først vil vi se på forskyvningsploten for 12 N. Oppspenningen er på de fire hullene som ved tidligere analyse. Som vi kan se fra figur 8.2.5.14 er den høyeste registrerte forskyvningen 0,0336 mm, dette området er markert med rød farge på delen. Som ved tidligere analyse er forskyvningen størst på tuppen av probepinnen. Denne verdien vil ikke ha nevneverdig negativ effekt på prosessen vår, selv med de strenge toleransene vi har.



Figur 8.2.5.14: Forskyvningsplot 12N

Kraft 20 N

Forskyvningsploten for 20 N har lik oppspenning som 12 N. Figur 8.2.5.15 viser forskyvningen, hvor den høyeste forskyvningen er 0,0560 mm. Dette er på tuppen av probepinnen, som er markert rødt på delen. Denne verdien vil ikke ha nevneverdig negativ effekt på prosessen vår, lik som 12 N kraften. Dette er fordi kontaktprobing gjøres for å lokalisere delens posisjon i samarbeid med «iRVision» og har derfor ikke behov for stor nøyaktighet siden funksjonen «shaft insert» vil fin pusse hullenes posisjonering.



8.3. Konklusjon

For å oppsummere, har vi gjennomført analyser for spindelfeste og probefeste. Valg av materiale for disse analysene var Al 6082-T6. For alle analyser har vi en fast fikstur i fire hull som representerer oppkoblingshull til roboten. For spindelfestet har vi gjennomført mesh analyse samt statisk stress analyse hvor vi fikk en maks spenning på 104,4 MPa. Denne verdien ligger under materialets maks flytegrense med en sikkerhetsfaktor på 2,5. For håndberegning fikk vi en liten verdi på 1,46 MPa som ikke stemmer overens med analysen våre. Beregningen ble gjort for skjærspenning på boltene. Forenkling av beregningen kan føre til at dens verdi ikke blir realistisk og overføring av skjærkraft til aluminiumstålet kan være mye høyere slik at vi får ett punkt bak skruen hvor store spenningskonsentrasjoner oppstår. FEM analysen forsøker å realisere situasjonen og får derfor mer realistiske verdier som er å stole på enn forenklet håndberegninger. Vi kan i tillegg anta at siden boltens størrelse vil være tilnærmet hullets størrelse, vil spenningen som oppstår bak bolten fordele seg mer jevnt. I tillegg har vi gjennomført en forskyvningsanalyse hvor vi ser på hvor mye delen beveger seg elastisk under den påførte lasten. For spindelfestet fikk vi en maks forskyvning på 0,2568 mm. Denne verdien er relativt stor med tanke på våre toleranser, men vil ikke påvirke systemets evne til å gjennomføre operasjonen på `x` antall hull siden deformasjonen er kun elastisk. Dette vil kun ha mulig påvirkning på boringsvinkelen.

For probefestet og probepinnen har vi også gjennomført mesh analyse for å øke kvaliteten på resultatet og gjennomført flere statiske analyser hvor vi har påført varierende krefter. For stress analysen med høyest kraft av 50 N, oppsto det en maksimal spenning på kun 2,187 MPa som er langt under flytegrensen til materialet. Maksimal forskyvning som oppsto under 50 N last var 0,0267 mm. Denne verdien er veldig liten, men må tas hensyn til siden dette kan påvirke robotens evne til å posisjonere hullene riktig. Videre har vi hatt behov for å analysere probefestet når en kraft virker på siden av probepinnen. Her påførte vi en maks kraft på 20 N. Denne kraften kan oppstå under kontaktprobing og vi må derfor analysere forskyvningen til probepinnen under denne operasjonen. For 20 N oppsto det en maks forskyvning på 0,0560 mm. Denne størrelsen kan påvirke til økt avvik i sluttresultatet, men siden denne operasjonen forsøker å lokalisere delens posisjon, vil den bli brukt i samarbeid med 2D-iRVision. Forskyvningen som oppsto i analysen vil derfor ikke ha stor betydning for sluttresultatet.

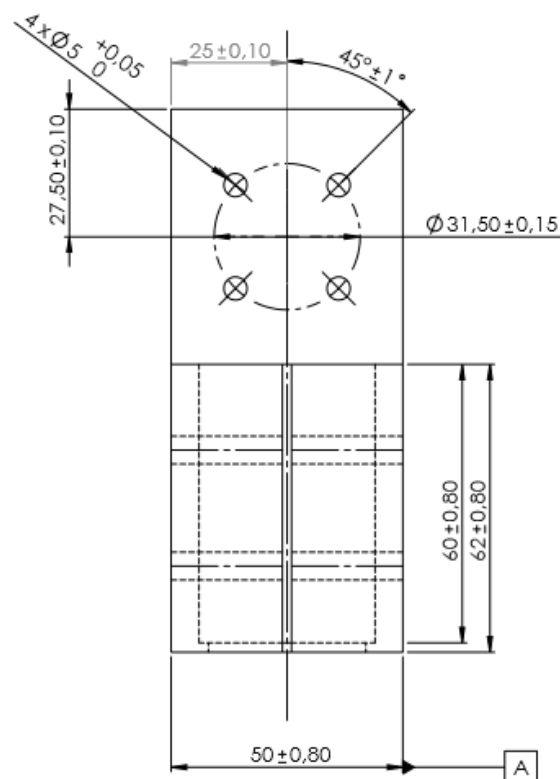
Videre er vi fornøyd med mesh kvaliteten på analysene. Vi har sett på andre mulige løsninger for å øke kvaliteten på meshen, men siden FEM i Solidworks ikke er best egnet for simulering har vi gjort det beste ut av dens funksjoner og kommet med mesh analyser som er av god nok kvalitet for å sikre verdifulle resultater. Ting som kunne forbedret analysene våre var om vi fikk tilgang til en CAD modell av spindelen vi har bestilt slik at vi kunne kjørt analyse på hele systemet vårt og lokalisert kreftene på spindelen hvor i praksis de ville ha oppstått og deretter endt opp med mer realistiske tall. Siden alle våre analyser genererte resultater som har vært langt innenfor sikkerhetsmarginene til materialet, vil komponentene vi har designet, kunne gjennomføre vår ønskede operasjon.

9. 2D-tegning/Toleranser

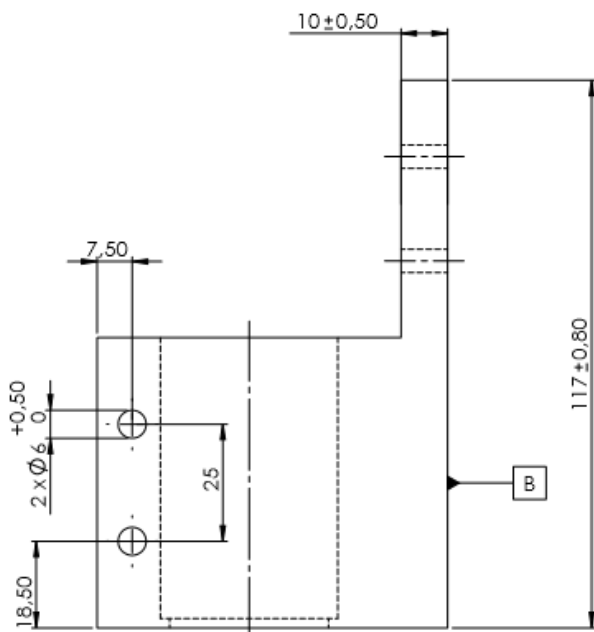
Ettersom vi har gjennomført beregninger og analyser på komponenter som multiverktøyet vårt består av, kan vi bekrefte at deres dimensjoner er god nok og vi kan da produsere og ferdigstille 2D-tegninger for produksjon hos KDA. Når deler skal produseres er toleranser en viktig del av 2D-tegningene samt dimensjonene selv. Toleranser er hvor mye en dimensjon sin størrelse, posisjon og avhengighet kan variere, vanligvis mellom to verdier. Differansen mellom disse vil gi toleransen på dimensjonen. Dette er ekstremt viktig ved produksjon siden det gir operatøren en klar indikasjon for å skille mellom dimensjoner som er av stor betydning fra dimensjoner som ikke har stor betydning. Strengere toleranser er mer tidskrevende og vanskeligere for operatøren å oppnå og er derfor også mer kostbart. For vårt prosjekt har vi forsøkt å gjøre toleransene så grove som mulig for dimensjoner som ikke er av stor betydning og fokusert på å gjøre toleransene av betydning, strengere.

9.1.1. Spindelfeste

Figur 9.1.1.1 viser 2D-tegning av spindelen sett forfra. En god del av dimensjonene samt toleranser er identifisert og lokalisert på delen. Alle dimensjoner har ett \pm symbol og en verdi bak. Denne verdien definerer størrelsen på toleransen. De fleste verdier er definert fra en standardiseringstabell som DIN ISO 2768. I vårt tilfelle er dimensjoner som har ISO toleranser ikke av betydning, siden disse verdiene ikke vil ha påvirkning på systemets operasjonsevne. For å ta ett eksempel er dimensjonen; $50 \pm 0,80$ ikke av stor betydning. Dette reflekterer dens grove toleranse på 0,80 mm. Ved denne 2D-tegningen er det kun en dimensjon som vi har tatt i betraktning som viktig. Denne verdien er størrelsen på de fire hullene med en verdi av 5 mm. Denne verdien har en streng toleranse på mellom 5 – 5,05 mm i diameter. Dette er for å redusere mulig avvik fra posisjonering av spindelfestet når den vil bli montert på kraftsensoren. Vi har strenge toleranser å ligge innenfor på arbeidsstykke og burde derfor implementere strenge toleranser for dimensjoner som vil påvirke systemets sannsynlighet til å oppnå dens funksjon. Videre så er det en datum A som er vist på figuren, denne vil ha betydning for siste del av 2D-tegningen.



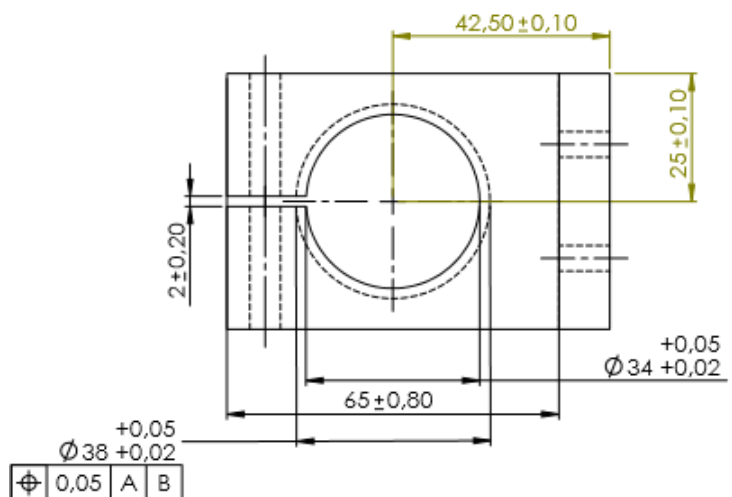
Figur 9.1.1.1: Spindel sett forfra



Figur 9.1.1.2: Spindel sett fra siden

Figur 9.1.1.3 viser spindelen sett ovenfra. Her blir de resterende dimensjoner av modellen oppgitt. Spindelhullet er en viktig dimensjon for modellen siden denne dimensjonen vil påvirke festets evne til å stramme spindelen samt bestemme dens posisjon i henhold til kobling med kraftsensor. Vi har derfor satt strengere toleranse på dens verdi som nå er 38,02-38,05 mm. Dette gir operatøren en toleranse margin på 0,03 mm.

Grunnen til at dimensjonen må være over 38 mm er fordi spindelens diameter er satt på denne verdien. Vi må derfor sørge for at hullet sin størrelse er litt over, for at spindelen skal kunne passe, men ikke for høyt siden dette kan gi avvik ved stramming. Videre så er både datum A og B implementert i dimensjonen på spindelhullet. Dette vil si at dimensjonen på hullet må ha en posisjon i henhold til datum A (dimensjonen til festets bredde) og datum B (spindelens bakflate) innenfor en toleranse av 0,05 mm. Dette sørger for at posisjonen til hullet er innenfor viktige flater og dimensjoner som den er avhengig av.



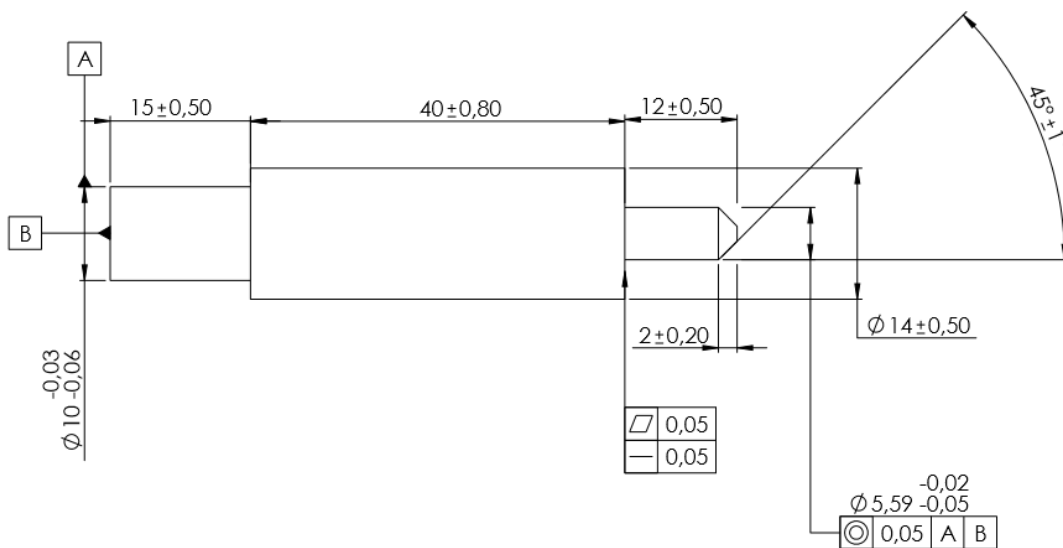
Figur 9.1.1.3: Spindel sett ovenfra

Neste del av 2D-tegningen er spindelen sett fra siden. Her blir flere dimensjoner definert samt toleransene som må identifiseres for hver dimensjon. Når modellen er sett fra denne vinkelen er det ingen dimensjoner som er av stor betydning og følger da standarder fra DIN ISO 2768 for målsetting av toleranser. Datum B er plassert på modellen som vil ha betydning for siste del av 2D-tegningen for spindelfestet.

9.1.2. Probepinne

Probepinnen vi har designet vil ha en total lengde på 67 mm. Dette er en relativt kort lengde men er nok for at systemet vårt skal kunne gjennomføre dens oppgaver. Videre så vil probepinnen bestå av tre forskjellige størrelse aksler som til sammen gjør opp for probepinnen.

Figur 9.1.2.1 viser 2D-tegning av probepinnen. I denne figuren er alle dimensjonene til proben oppgitt. De fleste dimensjonene har toleranser som er satt fra DIN ISO 2768, men har også viktige dimensjoner som har behov for strengere toleranser. Siden dette verktøyet har som oppgave å lokalisere hullene på arbeidsdelen nøyaktig nok, må vi tilføre strenge toleranser for innfesting av probepinnen, tuppen på proben, samt tuppens ko-aksialitet med datum A og B. Innfestningen må ha en dimensjon mellom 9,94-9,97 mm i diameter. Grunnen bak dette er fordi sirkulære aksler aldri kan bli større enn dens oppgitte dimensjon, men kun mindre. I tillegg har vi gitt operatøren en margin på 0,03 mm som vil være oppnåelig. Videre så er samme prinsippet tilknyttet probetuppen sin dimensjon. Her må dimensjonen ligge mellom 5,53-5,57 mm. Disse verdiene har strenge toleranser siden de er avhengig av en ytere dimensjon fra en annen del. Tuppens lengde vil i tillegg være lang nok for at systemet kan få full utnyttelse av funksjonen «shaft insert».

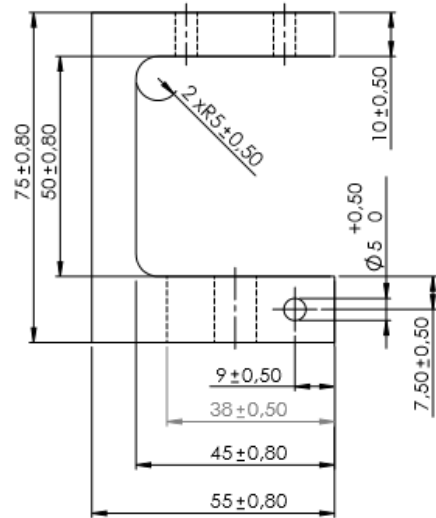


Figur 9.1.2.1: Spindel sett fra ovenfra

Videre så har vi valgt å sentrere tuppens beliggenhet med innfestningsakselen innenfor en toleranse av 0,05 mm med datum A og B som nevnt tidligere. Dette vil si at tuppens sylindriske sentrallinje skal ligge 0,05 mm innenfor datum A sin sentrallinje som er vinkelrett med datum B. Vi har i tillegg satt en retthet- og flatetstoleranse på den store sylindrerflaten ved probetuppen. Dette er for å optimalisere systemets evne til å utnytte «shaft insert» funksjonen.

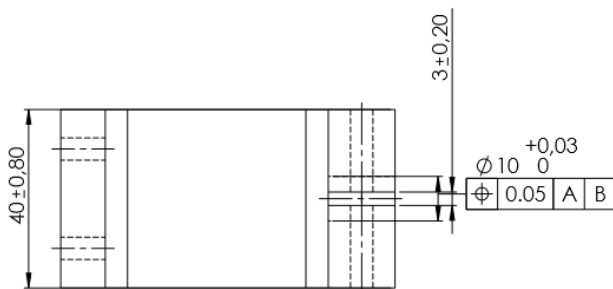
9.1.3. Probefeste

Probefeste sin maskintegning er illustrert i figurer 9.1.3.1-9.1.3.3. Dens totale lengde vil ha en verdi på 75 mm. Dens bredde vil ligge på 55 mm med en høyde på 40 mm. Figur 9.1.3.1 viser probefeste sett ovenfra. Her er alle dimensjoner på probefeste satt med tanke på avstand fra kobling mot kraftsensor samt gi nok rom for at spindelen kan være i midten av festet. Tykkelsen er satt med tanke på stabilitet slik at vi minimaliserer bøyninger under operasjon. Alle dimensjoner på figur 9.1.3.1 har standard toleranser satt fra DIN ISO 2768.



Figur 9.1.3.1: Probefeste sett ovenfra

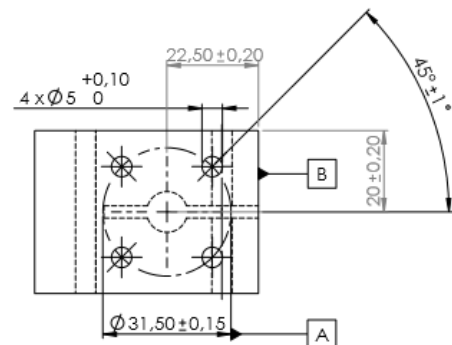
Figur 9.1.3.2 viser probefeste sett fra siden av. Her er innfestningshullets dimensjon definert. Denne verdien er direkte tilknyttet innfestingssylinderen for probepinnen vist i forrige maskintegning. Høyden på probefeste og strammingsmellomrommet er også vist. Av disse verdiene er innfestningsdimensjonen den viktigste. Her har vi forsøket å minimalisere slark mellom hullet og sylinderen til probepinnen for å redusere strammingskraften for skruen slik at vi ikke utsetter festet for spenninger vi kan unngå under design. Minking av toleransene vil i tillegg redusere mulig avvik av probepinnen ved stramming. Hulldimensjonen vil derfor ha en verdi som varierer mellom 10,00-10,03 mm. Dette vil igjen gi operatøren en feil margin på 0,03 mm. Siden dette er en hulldimensjon, kan toleransene ikke være mindre enn den satte dimensjonen. I praksis kan hull kun bli større enn den oppgitte verdien og ikke mindre som for aksler. Videre har vi definert en



Figur 9.1.3.2: Probefeste sett fra siden

posisjoneringstoleranse av hulldimensjonen i henhold til datum A og B. Deres plassering er vist i neste del av 2D-tegningen.

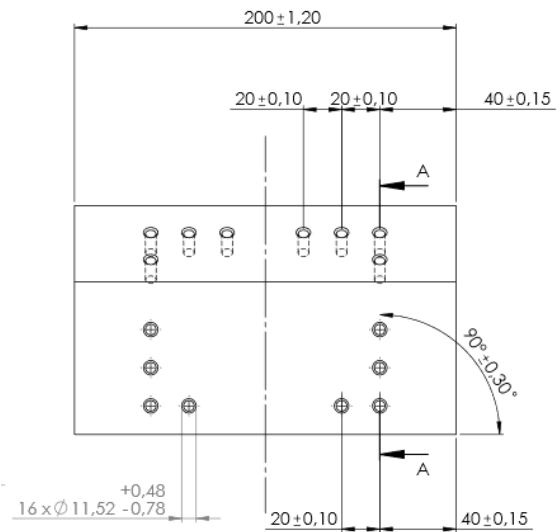
Figur 9.1.3.3 viser probefeste sett forfra. Her er dimensjoner for oppkoblingshullene til kraftsensoren samt datum A og B illustrert. Alle dimensjoner på denne figuren har standard toleranser fra DIN ISO 2768. Datum A er satt på sirkelen som viser oppkoblingshullene og deres fordeling rundt denne sirkelen. Datum B er satt på siden av festet. Hullets posisjon som vist i figur 9.1.3.2 har en posisjonstoleranse på 0,05 mm i henhold til datum A og B. Dette er for å skape konsentrisitet mellom sentret av de fire oppkoblingshullene med innfestningshullet.



Figur 9.1.3.3: Probefeste sett forfra

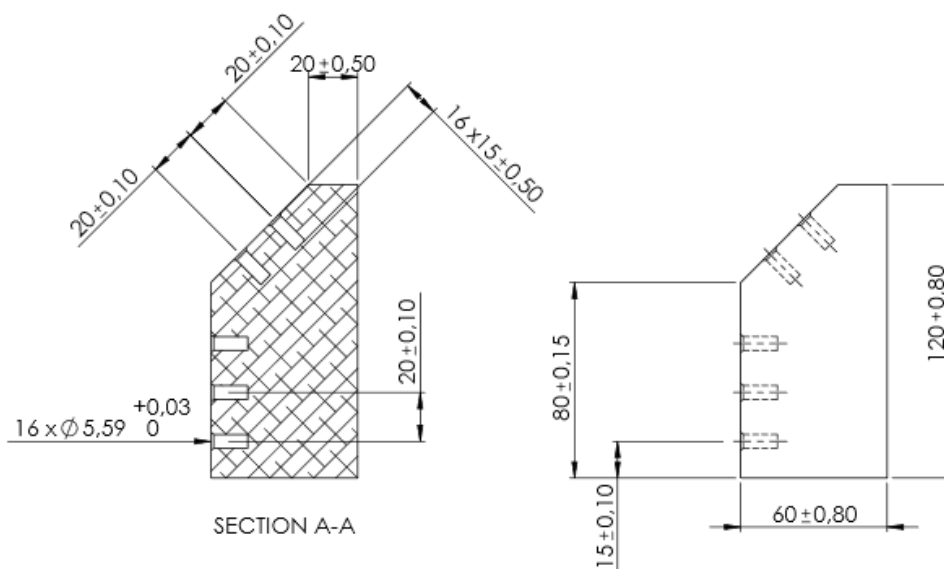
9.1.4. Testdel

Testdelen sin 2D-tegning er vist i figur 9.1.4.1 og 9.1.4.2. Testdelen sine dimensjoner er designet etter emner vi har fått fra KDA, samt verdier som den virkelige delen består av. Testdelen vil ha en total lengde på 200 mm, bredde på 120 mm og høyde på 60 mm. De fleste av dimensjonene følger DIN ISO 2768 ved bestemmelse av toleranse størrelse. Forsenkning på testdelen kan variere mellom 10,74-12,00 mm i diameter. Dette er beregnet ut ifra maskintegning av virkelig del. Dimensjonene og toleransene på hull og forsenkninger er forsøkt å speile dimensjonene og toleransene til den virkelige delen systemet vårt skal operere på. Dette er for at vi skal ha mest mulig likt utgangspunkt som den virkelige delen under testing. Det er også tatt et seksjonskutt av tegningen slik at vi kan definere dybden på hullene. Dette er vist i figur 9.1.4.2.



Figur 9.1.4.1: Testdel sett ovenfra

Figur 9.1.4.2 viser testdelen sett fra siden i to forskjellige varianter. Til venstre vises det et seksjonskutt A-A. Kuttets plassering vises i figur 9.1.4.2. Ved å utnytte denne funksjonen i Solidworks kan vi definere størrelsen samt dybden på hullet. Testdelen vil bestå av 16 hull med diameter som varierer mellom 5,59-5,61 mm. Dette gir operatøren en feilmargen på 0,03 mm. Dybden på hullene vil variere mellom 14,50-15,50 mm. Dette er en standard toleransemargin og har ikke stor betydning siden hullene på virkelig del er gjennomgående. Alle andre dimensjoner består av standardtoleranser og kan leses fra figuren.

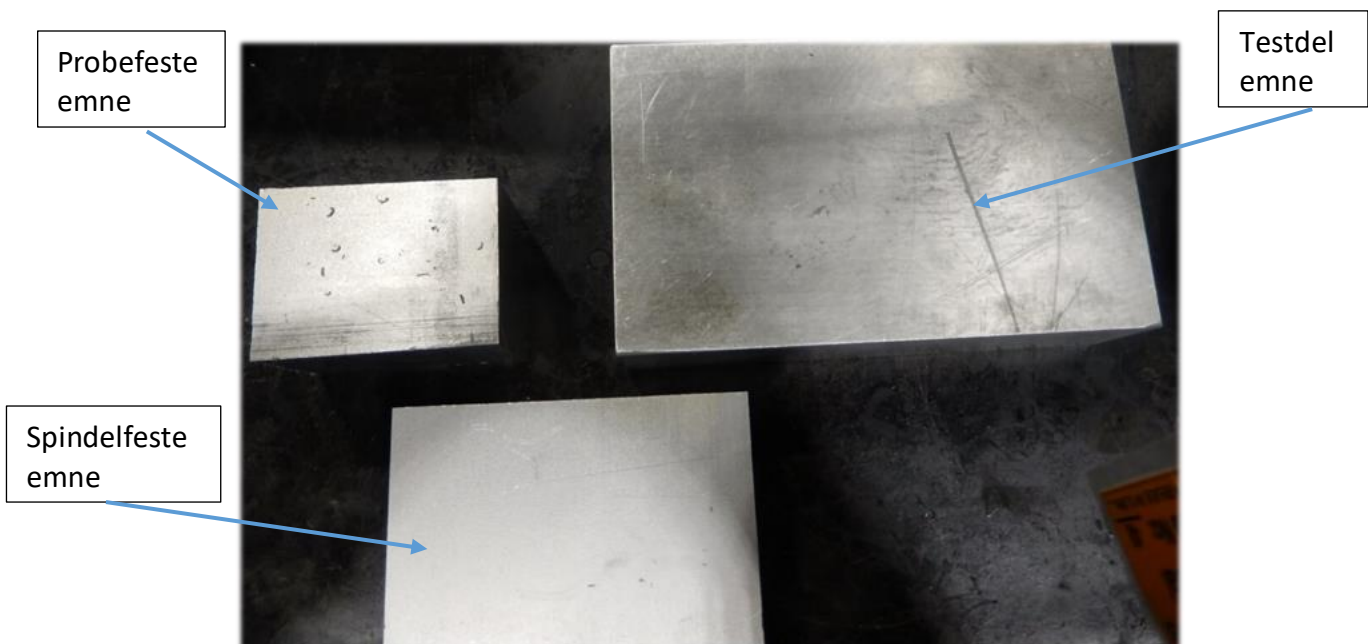


Figur 9.1.4.2: Testdel sett fra siden (seksjonskutt og vanlig)

10. Produksjon

For vårt prosjekt har vi benyttet oss av muligheten til å konstruere en prototype. Dette vil bestå av produksjon av flere deler som multiverktøyet vårt inneholder. Vi har med oppdragsgiver, kommet til konklusjon at produksjon av komponenter vil ta plass hos KDA. Skolen har verksted og potensial til å la oss produsere våre design, men har behov for en operatør som kan drive maskinen som har vært lite tilgjengelig. For å sørge for at vi ender opp med en ferdigstilt prototype, har vi konkludert at produksjon hos oppdragsgiver er det beste valget. For at produksjonen skal kunne bli gjennomført har vi designet deler som har enkle geometri, benytter seg av standardmaterialer, har maskintegninger med realistiske og oppnåelige verdier. Ettersom 2D-tegninger ble ferdig og godkjent gjennom KDA, har de satt opp en workshop for Maskinstudentene i gruppen.

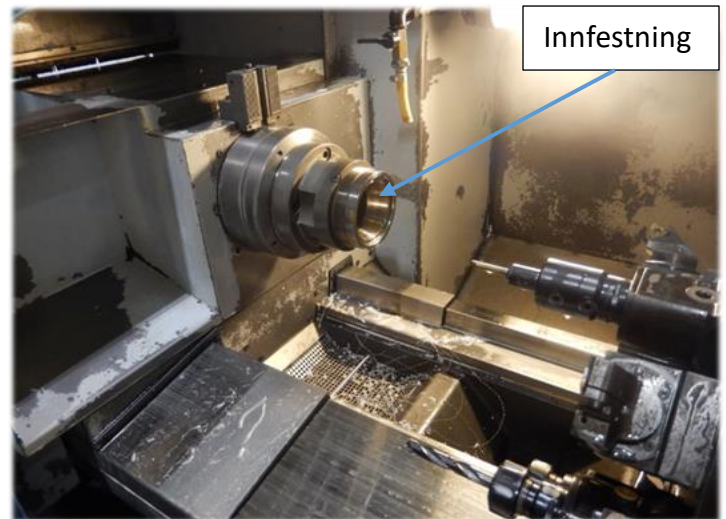
Siden vi ikke hadde oversikt på hvor mye tid det var behov for i produksjon, bestemte gruppen for å starte med probepinnen samt probeholderen slik at gruppen kunne begynne å teste ut endelig probepinne med probefeste. Som nevnt i FEM analysene, er materialet for komponentene Al 6082-T6 unntatt for testdelen. Dette er fordi 6000 serien av aluminium er ett relativt sterkt materiale og er ofte brukt for produksjon av prototyper hos KDA. Materialet er derfor lett tilgjengelig for oss og trenger ikke å bestilles. Testdelen vil bli laget ut ifra Al 2124-T851 siden dette vil gjenspeile materialet til den opprinnelige delen. Figur 9.1.4.3 viser emnene vi har fått hos KDA som vil bli brukt for produksjon av probefeste, spindelfestet og testdel. Probepinnen vil bli dreid ut av en sylinder.



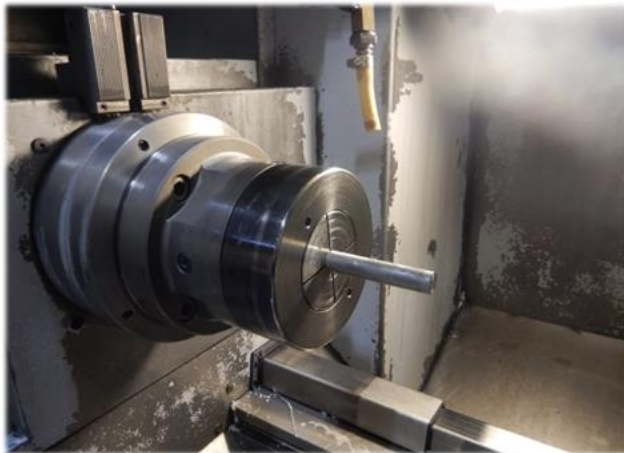
Figur 10.1: Aluminiums emner for produksjon

10.1. Probesteppe

Probesteppen har en sylindrisk form og må derfor dreies for å oppnå ønsket geometri. Figur 10.1.1 viser maskinen hos KDA som vi brukte til å utarbeide probesteppen. At vi fikk være med på workshopen hos KDA innebærer at vi som studenter er med på produksjonsprosessen ved hjelp av en operatør. Det vil si at vi overvåker hva operatøren gjør mens vi får faglig forklaringer og gjennomgang av selve prosessen, men vil ikke fysisk lage delene selv. I figuren er innfestingsområdet til maskinen lokalisert. Denne maskinen bruker såkalte chucks som er veldig lik collets for spindelen. Størrelsene på chucks varierer med 1 mm forskjell.



Figur 10.1.1: Dreiebenk Innfestnings område



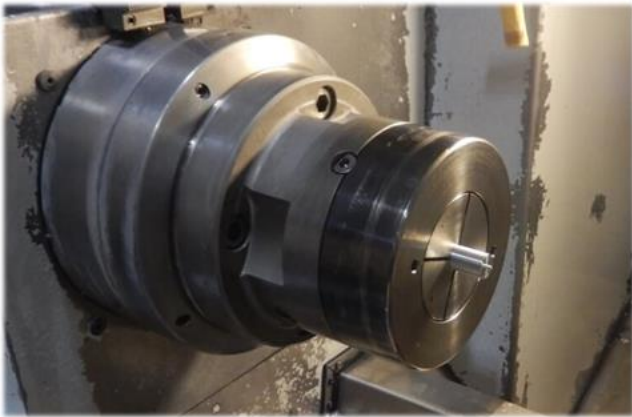
Figur 10.1.2: Emne festet med chuck

Figur 10.1.2 viser første oppspenning av emnet vårt for probesteppen. Denne har en startdiameter på 15 mm hvor den største diameteren for probesteppen ligger på 14 mm. Chucken fungerer ved å skru hele delen på innfestingsområdet vist i figur 10.1.1. Deretter bruker vi komprimert luft til å stramme emnet. Tennene til chucken strammer rundt emnet og griper tak slik at emnet sitter fast. Vi vil totalt ha to oppspenninger for denne delen.

Alle bildene har ikke optimal kvalitet, grunnet sikkerhetsregler har vi måttet bruke kamera utlevert fra KDA. Dette har medført til at noen av bildene har dårlig oppløsning. Figur 10.1.3 forsøker å demonstrere visuelt hvordan dreining av emnet ser ut under prosessen. I denne prosessen benytter vi ett skjæreverktøy med kjølevæske. Skjæret beveger seg i et 3-akset plan mens emnet roterer. Skjæringen foregikk med en standard matningshastighet på 0,130 mm/rev. Prosessen er programmert direkte i GE Fanuc Series 18i-T som er programvaren samt kontrollpanelet til maskinen.



Figur 10.1.3: Dreining i første oppspenning



Figur 10.1.4: Andre oppspenning av probe

Etter å ha skjært bort overflødig material for enden av proben samt den største diameteren, er det kun tuppen på probepinnen som gjenstår. Dette krever en ny oppspenning hvor vi bare snur emnet og fester det i den andre enden. Andre oppspenning er vist i figur 10.1.4. Her kan vi feste emnet lengere inn i chucken for å redusere mulig kast under rotasjon siden vi trenger kun adgang til en liten del av det totale emnet. Siden vi har skjært bort overflødig materiale rundt hele emnet, har vi redusert diameteren med 1 mm og vi har derfor også byttet chucken slik at den har en innfestning på 1 mm mindre enn hva vi startet med.

Etter å ha dreid ferdig andre oppspenning, er probepinnen dreid ferdig. Dette er vist i figur 10.1.5. Etter produksjonen har vi målt dimensjonene på probepinnen for å sikre oss at den har blitt produsert etter spesifikasjonene. Eksempler på noen målte dimensjoner er:

- Diameter på tuppen: 5,55 mm
- Diameter på innfestningsområde: 9,97 mm
- Diameter på største sylinder: 13,98 mm
- Lengde på tuppen er 12,06 mm

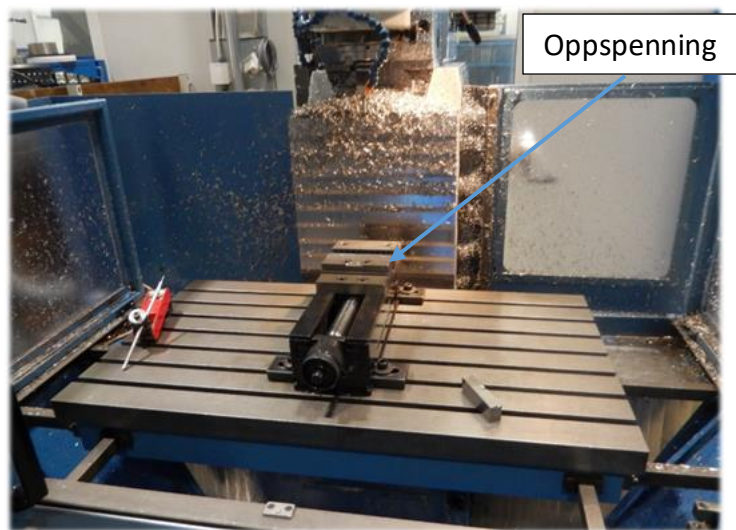
Dimensjonene er målt med en mikrometer som måler ned til hundrededel av en mm. De målte dimensjonene ligger innenfor toleranser satt på delens dimensjoner og er derfor godkjent.



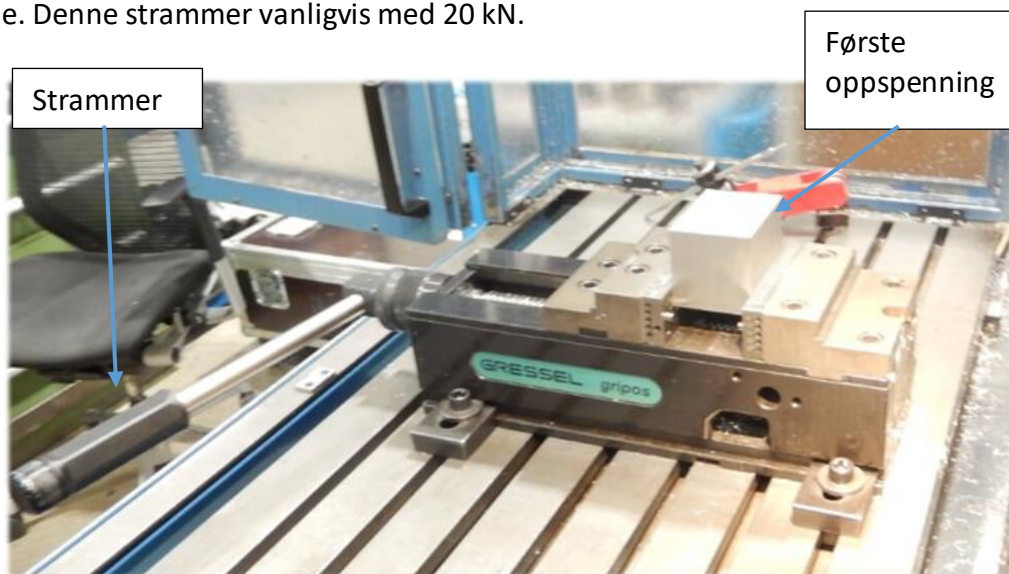
Figur 10.1.5: Ferdig dreid produkt

10.2. Probefeste

For probefeste og de resterende delene som skal produseres har vi brukt en 3-akset CNC maskin som vist i figur 10.2.1. Denne maskinen kan opereres manuelt eller ved opplasting av en programmert prosess. For å produsere våre deler ved bruk av en CNC maskin, ble Mastercam X8 tatt i bruk for å programmere maskinen. Dette er et maskineringsprogram (CAD software) for å programmere CNC maskiner for operasjoner. Selve programmeringen av maskinens bane og kjøring av maskinen er gjort av en ansatt hos KDA, men vi har hatt æren av å bli med på prosessen. Som henvist til i figuren er oppspenningen av emnet en klemme. Denne strammer vanligvis med 20 kN.



Figur 10.2.1: 3-akset CNC Maskin



Figur 10.2.2: Første oppspenning av emnet for probefestet

Når man tar utgangspunkt i ett emne er det viktig at alle skarpe kanter er fjernet og at oppspenning skjer på valset sider og ikke sider som er skjært. Sider som er skjært er ofte skjeve, utgangspunkt i slike flater kan føre til feil oppspenning som medfører til skjev skjæring. Probefeste har behov for fire oppspenninger hvor den første er vist i figur 10.2.2. Figuren viser også momentarmen som klemmer fast emnet med 20 kN. Dynamisk fresing er fresingsmetoden som ble brukt under produksjonen av delene. Dette er relativt ny maskineringsmetode som har blitt ganske utbredt i dag. Dynamisk fresing gir flere fordeler, noen av de viktigste fordelene er bedre verktøyøkonomi og redusert bearbeidings tid. Etter å ha oppspent delen, kjører vi en kort prosess for å frese og rette opp sidene av emnet som var skjært. Slik at vi får en kloss med godt utgangspunkt for maskinering.



Figur 10.2.3: Freset i første oppspenning

Neste steg i prosessen er å benytte oss av en 10 mm fres for å starte å forme hovedgeometrien på probefeste. Spindelen opererer på en standard rotasjons hastighet på 3000 RPM. Når man velger utgangspunkt i hvor man skal starte på delen, er det viktig å bevege seg i en retning som er med fresen. Dette vil si at spon (overflødig material) skyter motsatt retning enn retningen fresen beveger seg. Dette medfører til at spon ikke bygger seg opp foran fresen. Oppbygging av spon foran fresen kan føre til at fresen riper opp overflaten på komponenten som blir produsert. Dette medfører til en dårlig overflatefinish. Figur 10.2.3 viser grov

skjæring med 10 mm fresen omtrent 10 minutter inn i prosessen. Her vises det en stor mengde med spon som har lagt seg rundt delen, men foran fresen er oppbygningen av spon minimalt, noe som medfører til at fresen skjærer på arbeidsstykket og danner nye spon, istedenfor å dra med seg det løse sponet. Etter å ha grovskjæret delen kjører vi samme prosess igjen, men med redusert matningshastighet slik at vi får mye finere sluttresultat på overflaten. Under produksjonsprosessen av probefeste, benyttet vi oss av kjølevæske under alle innstramninger.

Etter å ha freset mesteparten av materialet, byttet vi verktøy til en 5 mm bor for å bore ut strammingshullet i samme oppspenning. Denne operasjonen er illustrert i figur 10.2.4. Under samme oppspenning byttet vi verktøyet på CNC maskinen til en 3 mm skivefres, for å skjære bort en 3 mm mellomrom mellom topp og bunn på probefeste som vist på figur 10.2.5.



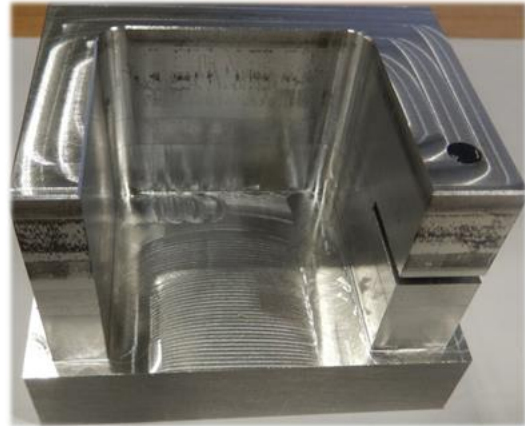
Figur 10.2.4: Boring i første oppspenning

Dette kuttet vil da føre til at vi kan stramme probepinnen i innfestningshullet på probefeste. Vi måtte passe på at skiven var stor nok til å kutte i ønsket dybde, men vi måtte i tillegg passe på at den ikke var større enn nødvendig slik at skivefresen ville treffe veggen på andre siden av probefeste.

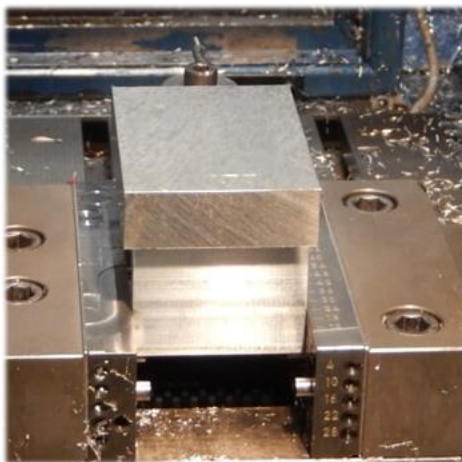


Figur 10.2.5: Skivefreset i første oppspenning

Figur 10.2.6 viser resultatet etter alle prosessene er kjørt i første oppspenning. De svarte merkene på delen er på grunn av sperring under dynamisk fresing og kan fjernes ved pussing av overflaten. Det er fortsatt en del overflødig materiale som må skjæres bort. Vi har derfor behov for en ny oppspenning hvor vi nå klemmer delen i andre enden slik at vi kan skjære bort klossen i bunn.



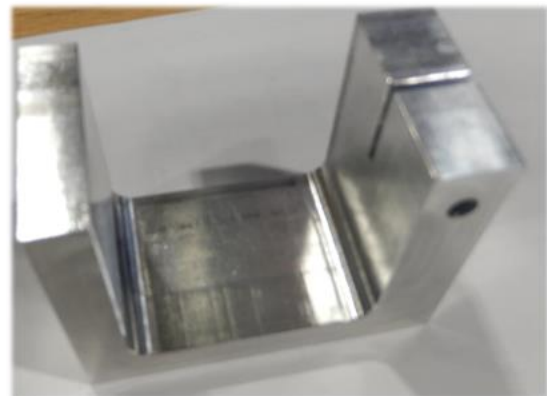
Figur 10.2.6: *Resultat etter første oppspenning*



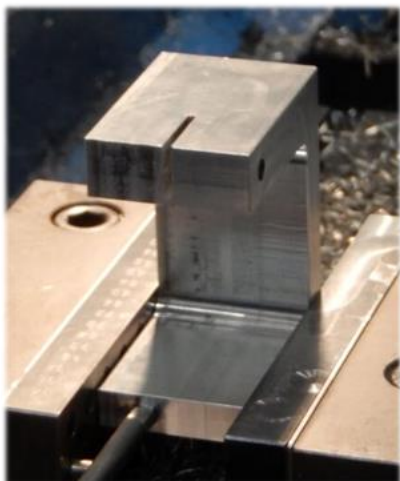
Andre oppspenning er vist i figur 10.2.7. Her vil vi bytte tilbake til 10 mm fres og kjøre noenlunde samme prosess som i figur 10.2.3. Siden vi freser fra kanten og inn mot midten, må vi være observante på når verktøyet beveger seg forbi tykkelsen på probefeste. Da kan den resterende klossen av overflødigmaterial løsne og bli kastet i en virkårlig retning. Vi må derfor stoppe fresingen når fresen har skjært nok materialet og banke ut klossen for å unngå dette. Denne oppspenning lar oss kun gjennomføre en prosess før vi må skifte oppspenning igjen.

Figur 10.2.7: *Andre oppspenning*

Figur 10.2.8 viser resultatet etter andre oppspenning hvor vi da har fjernet alt overflødig materiale. Det som gjenstår er å bore hull for innfestning av probepinnen samt fire hull for tilkoblingen av probefeste til kraftsensoren. Vi har derfor behov for to oppspenninger til før vi sitter igjen med en ferdig produsert probefeste. I tillegg, må vi sørge for at vi fjerner alle skarpe kanter etter hver prosess. Siden vi ikke har noen «chamfers» eller «fillets» på delene, må vi fjerne skarpe kanter for hånd.



Figur 10.2.8: *Resultat etter andre oppspenning*



Figur 10.2.9: Tredje oppspenning

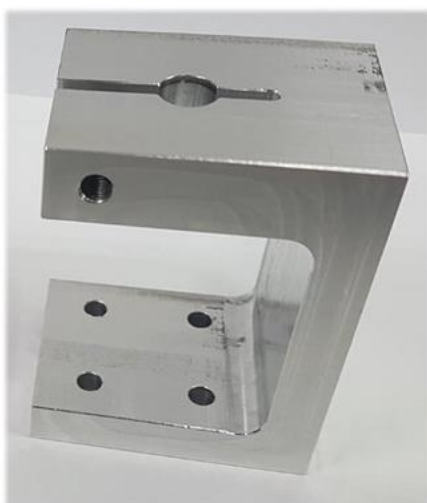
Tredje oppspenning er vist i figur 10.2.9. I denne oppspenningen skal vi frese ut innfestningshullet for probepinnen. Denne verdien skal da ha en dimensjon som er 10 mm eller over, men innenfor toleransen satt. Grunnen til at vi ikke borer ut hullet istedenfor fresing er fordi når hulldimensjoner blir større, oppnår man bedre og mer nøyaktige toleranser ved fresing av hull. Etter at hullet er freset, sørger vi for å slipe skarpe kanter og tester om probepinnen passer i hullet. Hullet viste seg å ha en dimensjon som er 9,98 mm. Dette er 0,002 mm under minste tillatte dimensjon og er derfor utenfor toleransene. Ovenfor ble det skrevet at hull kun kan bli større enn den oppgitte dimensjonen, når man freser ut hull kan det oppstå kjeldene situasjoner hvor den oppnådde dimensjonen er

mindre enn verdien satt. Men siden 9,98 mm er større enn den oppnådde verdien vi fikk for probefeste som var 9,97 mm har vi faktisk oppnådd en bedre tilpasning av kun 0,01 mm forskjell. Etter en kjapp vurdering har vi valgt å godkjenne dimensjonen på probefeste og beveger oss derfor til siste oppspenning for probefeste.

Figur 10.2.10 viser siste oppspenning for probefeste. I denne oppspenningen skal 4 x 5 mm hull bores. Her benytter vi oss derfor av en 5 mm bor. Programmeringen av prosessen fra CAD versjon av probefeste vil sørge for at plasseringen av de fire hullene vil være nøyaktig i forhold til andre dimensjoner på festet.



Figur 10.2.10: Siste oppspenning



Figur 10.2.11: Endelig resultat

Figur 10.2.11 viser det endelige resultatet etter alle operasjonene er gjennomført i CNC maskinen. For å unngå å måtte bruke mutter ved innstramningen av probepinnen, slik at vi kun kan bruke en skrue, har vi valgt å lage gjenger. Deretter har vi valgt å plassere «helicoil» stålgjenger inni hullet siden aluminiumsgjenger er relativt svakt i forhold til stålgjenger og kan bli ødelagt om skruen blir strammet med for mye kraft. Vi har derfor eliminert behovet for en mutter og gjort designet litt finere, samtidig som det er mer praktisk. Alle dimensjonene på komponenten er innenfor kravene med unntak av dimensjonen på innfestningshullet, men dette har vi konkludert at ikke er nødvendig å endre på.

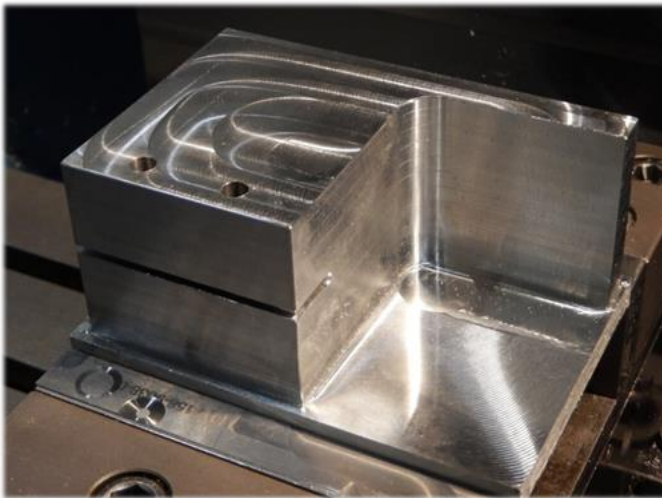
10.3. Spindelfeste

Spindelfestet var neste komponent som ble kjørt i CNC maskinen. Som for probefeste, er det behov for å kontrollere om emnet har skarpe hjørner og at alle sider er rette. Første prosess gikk derfor ut på å slipe kantene på emnet og spenne den fast på de valsete sidene for å rette opp i sidene som er kuttet. Produksjon av spindelfestet vil kreve fire oppspenninger

Første oppspenning bruker vi en 10 mm fres for å starte å forme hovedgeometrien på spindelfeste som vist på figur 10.3.1. Standard rotasjonshastighet ble brukt og bevegelsen av spindelen var det samme som fresen. Dynamisk fresing ble brukt under denne prosessen, lik som de andre produksjonsprosessene. Etter at delen var grovskjært, ble samme prosess kjørt på nytt, men med redusert matningshastighet for et finere sluttresultat på overflaten. Under samme oppspenning ble mellomrommet mellom topp og bunn på spindelfeste skjært bort ved bruk av en 2 mm skivefres. Dette for å kunne stramme spindelen på plass. Etter å ha byttet verktøy på nytt ble strammingshullene boret ut ved bruk av en 6 mm bor.



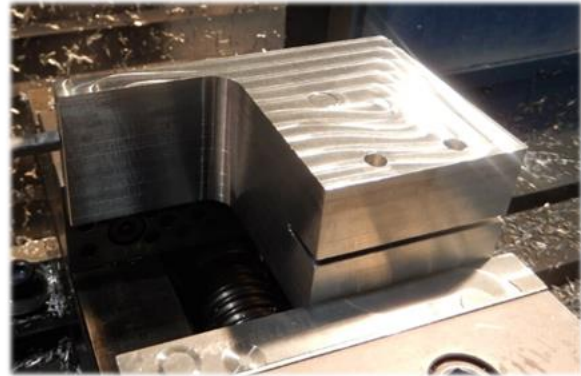
Figur 10.3.1: *Fresing første oppspenning*



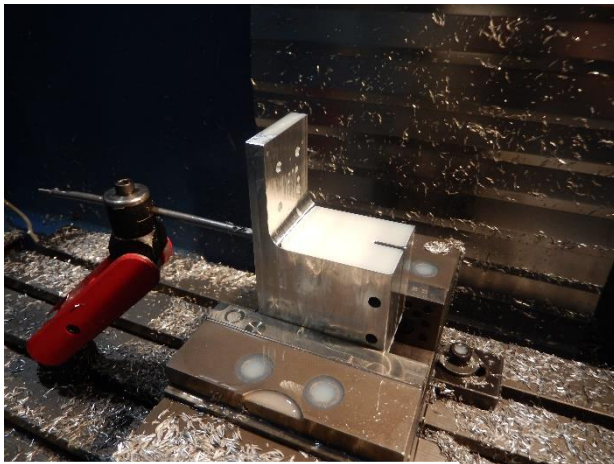
Figur 10.3.2: *Resultat etter første oppspenning*

Figur 10.3.2 viser sluttresultatet etter første oppspenning. Som vi kan se fra figuren mangler vi fortsatt en del materiale som skal bli fjernet fra spindelfestet før den blir klar til bruk. Det gjenstår tre oppspenninger før spindelfeste vil være klar.

Figur 10.3.3 viser ferdige delen etter andre oppspenning. Under denne oppspenningen ble det overflødig materialet som var på undersiden av spindelfeste under første oppspenning fjernet. Nå mangler kun hullet for spindelen og de fire hullene for å kunne montere spindelfeste til robotarmen.



Figur 10.3.3: Resultat andre oppspenning



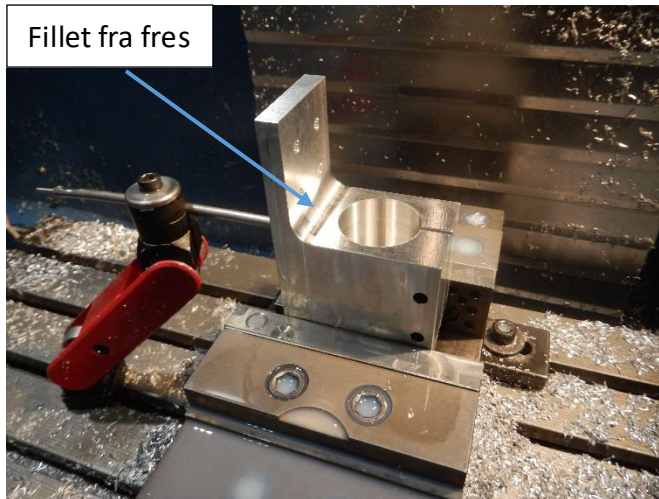
Figur 10.3.4: Fjerde oppspenning

Etter andre oppspenning, ble spindelfestet festet på ryggen for å kunne bore ut hullene for festningen av spindelfeste til robotarmen. Figur 10.3.4. viser fjerde oppspenning der spindelfeste har blitt klargjort for siste operasjon, hvor vi vil forsøke å frese ut hullet som vil bli brukt til infestning av spindelen.

Under fjerde og siste oppspenning ble spindelhuset freset ut som vi kan se fra figur 10.3.5. Her ble en 20 mm fresingsverktøy brukt under operasjonen. Størrelsen på fresen var stor på grunn av mengden av overflødig materiale som skulle bli fjernet. Med en større fres bruker man mindre tid samt slitasje på verktøyet er mindre. Dybden på hullet bestemmer også størrelsen på verktøyet siden det krever et tykkere verktøy ved dypere hull slik at verktøyet ikke vil få kast og i verste tilfelle knekke.



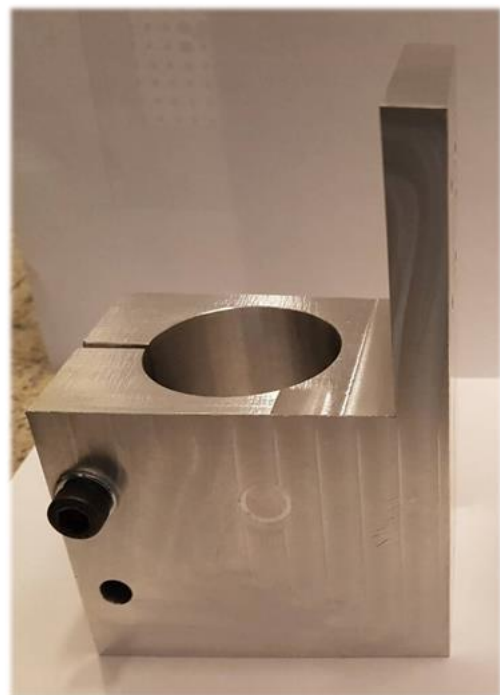
Figur 10.3.5: Fresing fjerde oppspenning



Figur 10.3.6: Siste operasjon

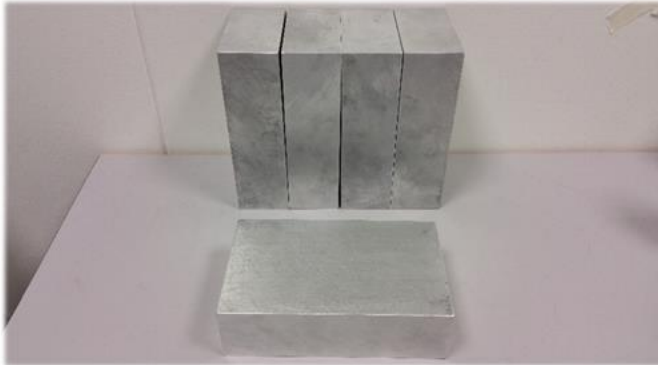
Sluttresultatet av ferdig produsert spindelfeste er vist i figur 10.3.7. Som på probefeste har vi valgt å plassere «helicoil» stålgjengene inni hullet for å forsterke gjengene å øke levetiden på hvor mange ganger den kan strammes og løsnes. Vi har i tillegg eliminert behovet for muttere og gjort designet mer praktisk. Vi har også benyttet oss av standard skiver bak skruhodet for å unngå at skruen graver seg inn i materialet over tid på grunn av innstrammingskraften. Dette vil også bli benyttet for probefeste samt skruene som festes til kraftsensoren på roboten. I tillegg har delen dimensjoner som faller innenfor våre ønsker og er derfor godkjent.

Figur 10.3.6 viser spindelfestet i siste oppspenning etter at spindelhullet er freset ut. Etter fresing av det overfløydige materialet i første oppspenning sto det igjen en stor fillet på spindelfestet som vist i figuren. Denne filleten er uønsket og må derfor fjernes slik at vi får riktig størrelse på filleten.



Figur 10.3.7: Ferdig spindelfeste

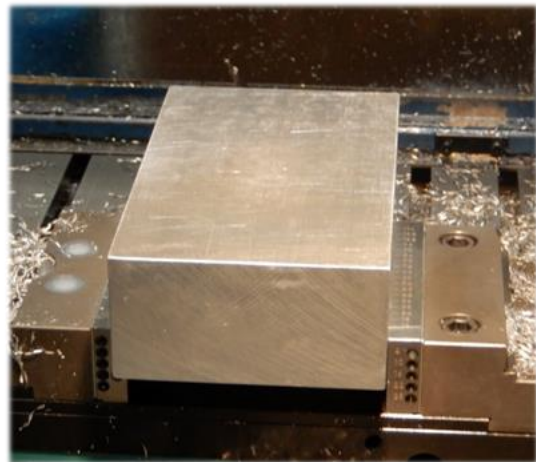
10.4. Testdel



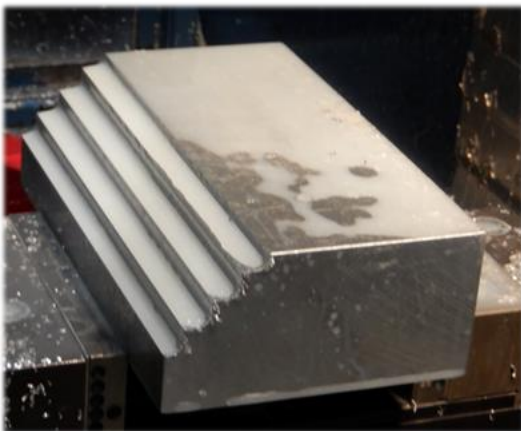
Figur 10.4.1: Bilde av aluminiumsemner

For å lage en testdel har KDA gitt oss fem emner laget av Al 2124-T851 som vist i figur 10. Disse klossene ble gitt til oss midt i prosjektet og vi har derfor skapt vår designide ut i fra disse emnene. Emnene har et fint utgangspunkt og vi trenger derfor ikke å etterarbeide eller rette opp noen sider før produksjon starter.

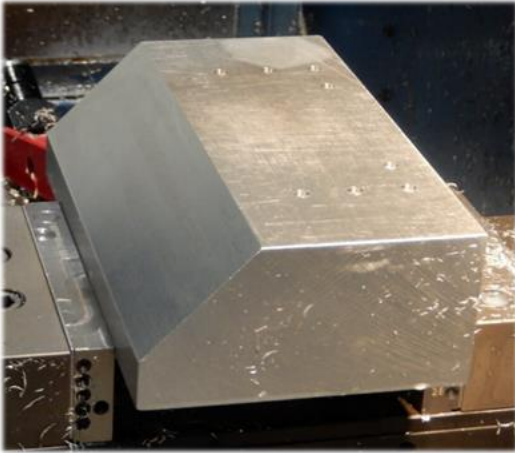
Testdelen har kun behov for to oppspenninger grunnet dens forenklet design. Første oppspenning er vist i figur 10.4.2. Under denne oppspenningen har vi flatfrest og boret hullene som ligger på overflaten. For boring har vi benyttet oss av sirkuler fresing slik at vi kan oppnå dimensjonen vi har satt for delen. En dimensjon som er 5,59 mm er vanskelig å oppnå ved å kun bore, siden dette ikke er en standarddimensjon for størrelse på bor. Vi har derfor hatt behov for å frese ut hullene. Fresing av hull vil i tillegg føre til mer nøyaktig resultat slik at hullene ligger innenfor toleransene våre. Siste operasjon vi har gjennomført i nåværende oppspenning er flatefresing for å produsere skråflaten på testdelen. For denne operasjonen har vi brukt to forskjellige freser. Første fresen var brukt for å grovfrese overflaten, dette for å fjerne mesteparten av materialet og minske arbeidet for finfresing. Neste operasjon var da å trappe ned matningshastighet og bruke ett mindre verktøy for fresing, slik at vi får en finere sluttresultat på skråflaten. Figur 10.4.3 viser resultatet etter grovfresing. Her er mesteparten av materialet som skal bli skjært bort blitt fjernet, slik at under finfresingsoperasjonen vil det være lettere å håndtere oppgaven samt spare tid.



Figur 10.4.2: Første oppspenning av testdel



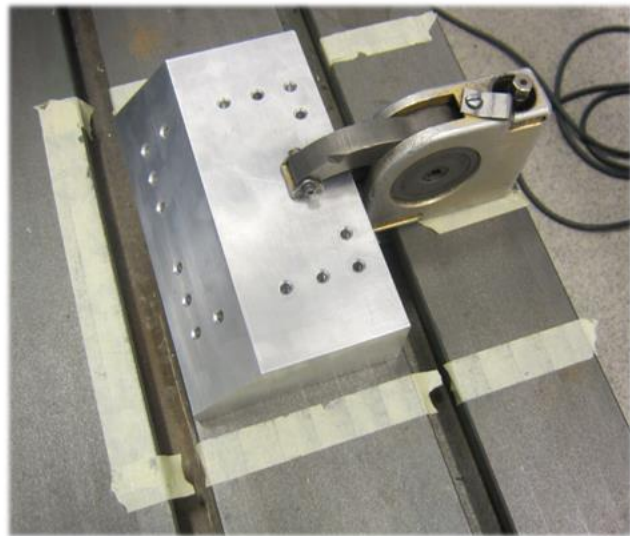
Figur 10.4.3: Resultat etter grovfresing



Resultat etter første oppspenning er vist i figur 10.4.4. Her er finfresing ferdig samt fresing av hullene. For siste oppspenning måtte vi benytte oss av en annen maskin med 5-akser slik at vi fikk produsert hullene på skråflaten. Det hadde blitt for unøyaktig ved å forsøke å gjøre det i 3-akset maskin. Ved en 3-akset maskin måtte vi ha plassert delen på en vinkel lik 45 grader. Denne plasseringen hadde ikke falt innenfor posisjoneringskravene til hullene og det var derfor bedre å gjøre det ordentlig i en mer avansert maskin

Figur 10.4.4: Resultat etter første oppspenning

Figur 10.4.5 viser testdelen ferdig produsert og montert til bordet med tvingen. Teipen skaper rammen som testdelen må bli festet innenfor. Når vi plasserte testdelen, viste det seg at lyset i rommet skinte på delens overflate. Dette skapte problemer ved probing. Vi har deretter kommet med en løsning ved bruk av sandblåsing. Sandblåsing består av å blåse mange små sandpartikkler på delens overflate. Dette fører til en mer matt overflatefinish. Testdelen i figur 10.4.4 har undergått sandblåsing og viser derfor minimalt lysreflektering. Videre så har delen verdier som faller innenfor våre ønsker.



Figur 10.4.5: Endelig testdel festet til bordet

10.5. Sammenstilling av produserte deler

Etter å ha produsert alle komponenter til multiverktøyet, har vi montert de sammen slik at vi har en sammenstilling av komponentene. Hver av hovedkomponentene er vist i figur 1.5.1. I figur 1.5.2 og 1.5.3 demonstrerer vi hvordan multiverktøyet, med da uten spindelen, vil se ut på roboten.



Figur 10.5.1: *Spindelfeste, probefeste, probepinne*



Figur 10.5.2: *Montering på robot*



Figur 10.5.3: *Montering på robot*

11. Andre viktige komponenter

11.1. Koblinger og slanger

For at systemet vårt skal fungere har vi behov for en kilde av komprimert luft fra en kompressor. Vi har også behov for slanger og koblinger som vil overføre denne luften fra kilden til systemet vårt. Oppkoblingen til spindelen krever en indregjenget diameter på 1/4". Denne koblingen er vist i figur 11.1.1. Figur 11.1.2 fremstiller to 1/8" koblinger. Disse vil bli koblet til Solenoid ventilen slik at vi kan skru av og på luftstrømmen til spindelen. Figur 11.1.3 viser en 3/8" kobling. Denne vil bli koblet til roboten hvor luftkilden vil være. Grunnet til at den har en knekk, er for å redusere bøyninger i luftslangen ut fra roboten og til ventilen.



Figur 11.1.1: 1/4" kobling



Figur 11.1.2: 2 x 1/8" kobling



Figur 11.1.3: 3/8" kobling med knekk

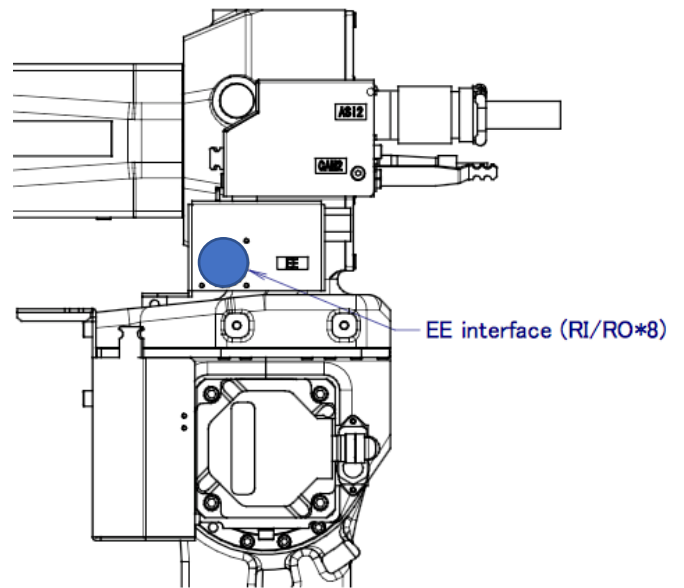
Figur 11.1.4 viser luftslangen vi har kjøpt. Denne har ytre diameter på 10 mm slik at den kan bli festet til alle koblinger i figurene over. Vi har kjøpt inn omtrent 2 m som vil holde til systemet, men kutting for tilpassing må gjøres.



Figur 11.1.4: 10 mm ytre diameter (slange)

11.2. EE-kontakt

«End Effector»-grensesnittet består av inngangs- og utgangssignaler mellom robotkontrolleren og selve roboten. Disse signalene sendes til en EE-kontakt. MS-10iA/10S har 8- inn og utganger. Vi benytter en av utgangene til å kontrollere den pneumatiske solenoidventilen. Denne skal åpne og stenge lufttilførselen som blir gitt til spindelen. Av figur 11.2.1 kan vi se at kontakten er plassert under det fjerde leddet på robotarmen. Det er en 24-pins hannkontakt. For å koble oss til denne skal vi bruke en 24-pins hunnkontakt som i figur 11.2.2. På baksiden av denne vil det loddes på 2 ledninger fra den pneumatiske ventilen. Det vil i teorien være mulig å koble ventilen opp til roboten uten en ekstra hannkontakt, men det vil da ikke være noen barriere som beskytter grensesnittet mot støv og andre partikler.



Figur 11.2.1: Plassering av EE-kontakt.

Fra robotens EE-kontakt kobler vi oss på 0V og RO1-signalet som gir 24V DC. RO1, «Robot Output 1», vil gi oss muligheten til å sende et av/på-signal til ventilen. Koblingskjema for kontakten mellom robot og ventil kan sees i vedlegg 10.



Figur 11.2.2: 24 pin hannkontakt.



Figur 11.2.3: 24 pin hunnkontakt.

For å stenge og åpne ventilen brukes en av linjene fra koden under. Ventilen vil kun være i åpen posisjon under boringsprosessen og ellers av.

```
1: RO[1:Spindel]=OFF ; //Sender PÅ-signal
2: RO[1:Spindel]=ON ; //Sender AV-signal
```

Figur 11.2.4: Veksling av RO-signal.

11.3. Magnetventil

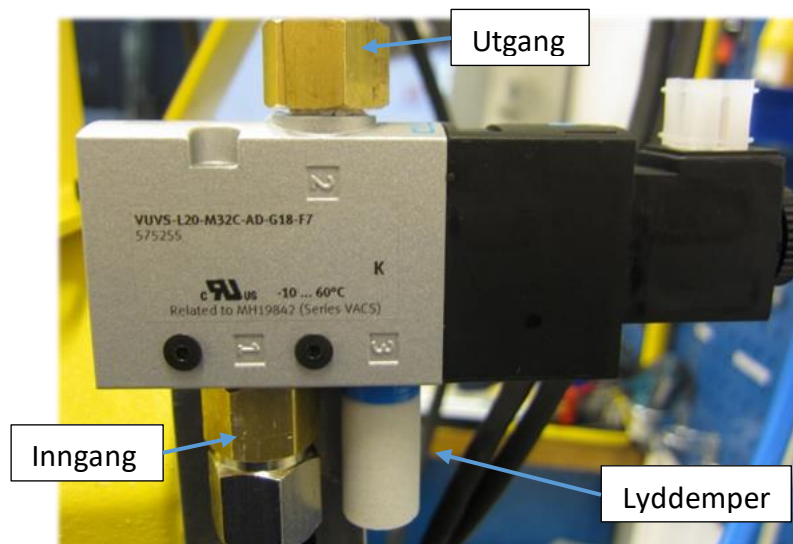
Ventilen som blir brukt for å stenge og åpne lufttilførselen er en magnetventil som kommer fra leverandøren Festo. Denne ble valgt fordi de var raske til å svare, tilbød en leveringstid ned til én dag og hadde allerede en kundeavtale med KDA.

For å kunne driftes krever den 24V DC. Gjengestørrelsen på inn og utgangene er 1/8". Dette var den størrelsen vi måtte ha med tanke på strømming av liter luft per minutt. For mer detaljert informasjon om ventilen henvises det til datablad i vedlegg 8.



Figur 11.3.1: *Pneumatisk ventil.*

Ventilen har en inngang (1) og utgang (2) for luft. Når utgangen stenges vil noe restluft passere gjennom lydtemperen (3). Det er ikke nødvendig å ha en lydtemper, men med denne tetter vi igjen et åpent hull samtidig som vi reduserer støy ved utblåsningen.



Figur 11.3.1: *Ventilen festet til roboten*

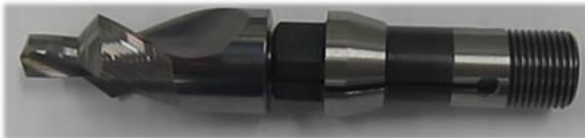
11.4. Trykkregulator

KDA leverer komprimert luft med ett trykk som ligger på 7 bar. Spindelen vi har opererer på maks 6 bar. Vi har derfor behov for å implementere en trykkregulator som vist i figur 11.4.1. Denne trykkregulatoren kan justere operasjonstrykket til spindelen. I vårt tilfelle har vi satt trykkregulatoren til å gi maks 6 bar slik at vi ikke overstiger spindelens operasjonstrykk siden dette kan føre til å skade på spindelen. Trykkregulatoren har også ett trykkmeter som viser oss i bar og psi enheter, mengde trykk som strømmer igjennom den.



Figur 11.4.1: Trykkregulator

11.5. Collet og spesialverktøy

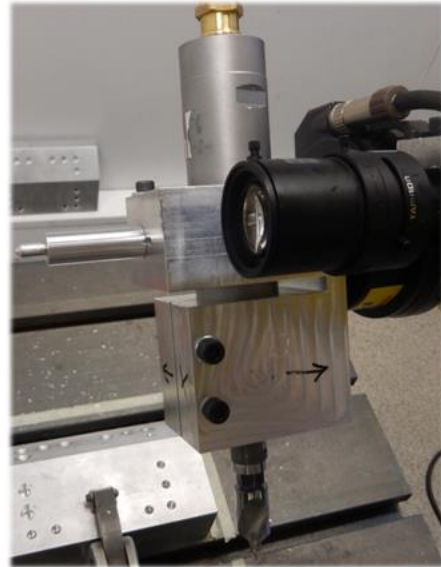


Figur 11.5.1: Sammenstilling av collet og verktøy

Collet og spesialverktøyet er en viktig del av systemet vårt. Figur 11.5.1 viser sammenstilling av 9 mm collet og spesialverktøyet vi har laget. Verktøyet passer nøyaktig inn med colleten. Boret på 6,65 mm passer ikke inn i 7 mm collet og vi har derfor valgt å benytte oss av en 7 mm bor for å teste om systemet kunne boret før vi bruker spesialverktøyet vårt. Resultatet av dette var at systemet kunne boret uten problemer og benyttet deretter spesialverktøyet.

12. Endelig Produkt

Etter produksjon og sammenstilling av alle komponenter til multiverktøyet, sitter vi igjen med en ferdigstilt prototype som vist i figur 12.1. Vi som gruppe er svært fornøyd med resultatet på hvordan prosessen for design og produsering av multiverktøyet har utviklet seg. Alle komponenter som er produsert ligger innenfor dimensjonene satt. Noen unntak på toleranser, men generelt ligger alle komponentene innenfor toleransene. Spindelen er av høy kvalitet samt lett i vekt som passer ypperlig til vårt prosjekt. På figuren så er spesialverktøyet med 9 mm collet festet til spindelen. Dette verktøyet kan da bore og forsænke i en og samme prosess uten at operatøren må bytte verktøy eller justere systemet på en eller annen vis.



Figur 12.1: Multiverktøyet i sin helhet

12.1. Resultater og finjusteringer

Når vi kjørte systemet for å teste boring og forsænking oppsto det flere utfordringer underveis som gruppen har jobbet effektivt med, for å justere og finpusse systemet til å funksjonalisere optimalt. De fleste av justeringene var med robotens bane og bevegelser samt dens funksjoner med tanke på kraftsensor og «iRvision» som er skrevet mer om i dokumentene om roboten, kraftsensoren og «iRvision». Men det oppsto også mekaniske utfordringer. Under testing av systemet testet vi med en matningshastighet på 0,2 mm/s som beregnet for forsænkingen i kapittel 6.1.3. Dette viste seg å ikke produsere ett fint sluttresultat med tanke på overflatefinish. Spesialverktøyet produserte chatter på overflaten. Dette kan oppstå fra flere forskjellige grunner som dårlig skjæreverktøy, vibrasjoner, feil matningshastighet osv. Vi prøvde deretter å justere hastigheten ned til 0,1 mm/s også ned til 0,05 mm/s hvor vi da oppnådde finest resultat på overflaten. Dette er mye lavere enn beregnet men i praksis er det veldig vanskelig å estimere riktig hastighet, kraft, mating, grunnet mange avhengige variabler. Under videre testing kom vi fram til at vi kan øke hastigheten ved boringsprosessen, opptil 0,5 mm/s som beregnet for boring i kapittel 6.1.2 og senke hastigheten til 0,05 mm/s når spesial verktøyet var nesten ferdig med å forsænke slik at overflatefinishen ble så fin som mulig. Resultatet av denne justeringen er vist i figur 12.1.1 og 12.1.2.



Figur 12.1.1: Matningshastighet på 0,2mm/s for forsænking



Figur 12.1.2: Matningshastighet på 0,05 mm/s for forsænking

I teori vil reduisering av matningshastighet ved forsenking resultere i ett dårligere overflatefinish, men i vårt tilfelle, oppsto det vibrasjoner som viste seg å være en svakhet for roboten. Derfor når vi økte matningshastigheten, oppsto det større vibrasjoner som førte til enda dårligere resultat. Vi måtte derfor redusere matningshastigheten for å redusere vibrasjonene som deretter resulterte i ett finere sluttresultat. Uansett om vi forbedret overflatefinishen var det fortsatt chatter som vi ikke ønsket. De resterende årsakene for chatter kan være spesialverktøyet i seg selv. Verktøyet ble ikke spesial laget fra bunn for å passe vårt system, men ble modifisert av ett allerede eksisterende verktøy. Dette kan føre til at verktøyet ikke er optimalt designet for å skape best sluttresultat. Videre så er vibrasjonene under prosessen av betydning. Dette kan være en svakhet for roboten vi benytter og er noe vi som gruppe ikke får gjort noe med. Delene vi har produsert var solide nok og vibrasjonene var ikke på grunn av dårlige fester, men roboten seg selv.

Videre så beregnet vi på kreftene spindelen og probefeste ville bli utsatt for. Under boring og forsenking varierte kraften mellom 20-60 N. Dette er fordi vi ikke boret eller forsenket under konstant kraft, men med fast matningshastighet. Kraften som oppsto ble da mindre enn beregnet. Vi hadde derfor mulighet til å øke matningshastighet, men ble hindret av vibrasjonene som oppsto.

Etter alle justeringer fikk vi gjennomført en fullstendig prosess som ble vellykket uten visuelle feil. Resultatet av denne prosessen er vist i figur 12.1.3.



Figur 12.1.3: Resultat av en helgjennomført prosess.

Resultatene av systemets evne til å utføre en fullstendig prosess på testdelen vår er dokumentert i testrapporten. Selv om vi fikk uønsket overflatefinish, er det ikke et krav for vår oppgave og hindrer derfor ikke systemets evne til å oppfylle kravene satt for vårt prosjekt.

13. Kilder

[1] Gillespie, LaRaux. "Countersinking Handbook." *Google Books*. N.p., n.d. Web. 15 Apr. 2017.

<<https://books.google.no/books?id=esWtCQuLWtIC&pg=PA163&lpg=PA163&dq=calculating%2Btorque%2Bfor%2Bcountersinking&source=bl&ots=eXb7FeduI0&sig=K7dXuuGZVYg2KOWDt3la9O4I7LI&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjBkZbFz5TTAhWBYJoKHf-9AIMQ6AEIzAB#v=onepage&q=calculating%20torque%20for%20countersinking&f=false>>.

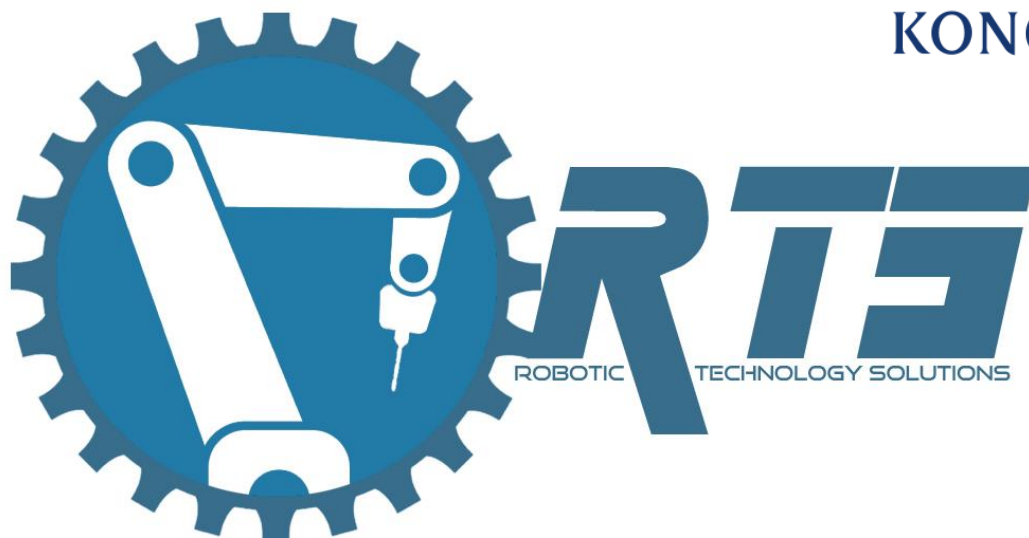
[2] Kalpakjian, Serop, Steven R. Schmid, and Vijay Sekar K. S. "Chapter 23." *Manufacturing Engineering and Technology*. Singapore: Pearson Education South Asia, 2014. 625-61. Print.

[3] Edge, LLC. Engineers. "Fastener and Screw Torque Design and Equation and Calculator." *Engineers Edge*. N.p., n.d. Web. 13 Apr. 2017.

<<http://www.engineersedge.com/torque.htm>>.

[4] "Aluminium 2124-T851." *ASM Material Data Sheet*. N.p., n.d. Web. 18 Apr. 2017.

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2124T851>>.



Utviklingsdokument - Systemprosess		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Alihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	24.05.2017	Første offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	3
2. Programmering av robot	4
2.1. <i>Kontaktprobing</i>	4
2.1.1. Hvordan finne delens posisjon og rotasjon	4
2.1.2. Utvikling av kontaktprobeprosessen	8
2.1.3. Kode for kontaktprobing	9
2.2. <i>Sette probepinnen ned i hull</i>	13
2.2.1. Hvordan justere robotens bane	14
2.2.2. Utvikling av probebane	15
2.2.3. Kode for å sette probepinnen ned i hull	16
2.3. <i>Boring- og forsenkingsprosessen</i>	22
2.3.1. Kode for boring- og forsenkingsbane	23
3. Bruk av «iRVision»	25
3.1. <i>Kalibrering av kamera</i>	25
3.1.1. Automatisk oppsett av «uframe»	29
3.2. <i>GPM Locator Tool</i>	30
3.3. <i>Beskrivelse av kode</i>	34
3.4. <i>Utfordringer underveis</i>	34
4. Kraftsensor	36
4.1. <i>Bruksområder kraftsensor</i>	36
4.1.1. Probing	36
4.1.2. Verifisering av hullets plassering	36
4.1.3. Boring og forsinking	36
4.2. <i>Viktige innstillinger på kraftsensoren</i>	37
4.2.1. «Tool Weight and Center of Gravity»	37
4.2.2. «Force Control Gain Auto Tuning»	37
4.3. <i>Probing med «Shaft Insert»</i>	38
4.3.1. Test av probing med 3D-printede deler	38
4.3.2. «Shaft Insert» med «iRVision»	39
4.3.3. «Shaft Insert» med kontaktprobing	39
4.3.4. «Constant Push» innstillinger til lokalisering av delen	40
4.3.5. Forklaring på «Constant Push» funksjonens «Basic» innstillinger	40
4.3.6. Observasjoner gjort ved bruk av «Constant Push» til kontaktprobing	41
4.3.7. «Shaft Insert» innstillinger	43
4.3.8. «Shaft Insert» innstillinger til probing	44
4.3.9. Forklaringer på «Shaft Insert» innstillinger «Basic»	45
4.3.10. Observasjoner under parameter tuning ved bruk av «Shaft Insert»	47
4.4. <i>Verifisering av hullenes plassering</i>	48
4.5. <i>Boring/forsenkning</i>	49
4.5.1. «Constant Push» til boring/forsenkning	49
4.5.2. «Shaft Insert» til boring/forsenkning	49
5. Utfordringer med TCP	50
6. Konklusjon	54
7. Kilder	55

1. Innledning

Dette dokumentet omhandler en detaljert informasjon om hvordan vi utfører de spesifikke delene av den fullstendige prosessen. Dokumentet tar for seg steg 2. Probing, og steg 3. Boring og forsenking, og hvordan vi har brukt de forskjellige teknologiene til å utføre dette på en god måte.

Betydningen av de forskjellige parameterne, samt deres verdier vil forklares. Første del tar for seg programmering av roboten. Stegene mot en fullstendig prosess. Alt fra hvordan vi finner delen til hvordan vi borer og forsenker den. Bruk av «iRVision» gjør at en kan finne delens posisjon og rotasjon med et knips. Samtidig gjør det prosessen mer sikker mot kollisjoner. Ut fra teknologidokumentet har vi konkludert med at kraftsensoren skal hjelpe oss under probeprosessen. Dens bruksområder og innstillinger er emner som blir diskutert. I korte trekk er hovedfunksjonene som blir brukt under probeprosessen «shaft insert» og «constant push».

Vi har hatt et tett samarbeid når det kommer til hvordan systemprosessen burde og kunne foregå. Vi var raske med å 3D-printe en testdel og probepinne. Dette gjorde vi slik at vi ville ha muligheten til å se på metodene om de faktisk fungerte slik vi hadde sett for oss. Samtidig ville vi ha muligheten til å justere hele veien frem til det faktiske spindelfeste og probepinnen var maskinert. Da byttet vi, men si den prosessen allerede var godt på vei var det ingen tid som var tapt med tanke på fremgangen i prosessen.

2. Programmering av robot

Dette kapittelet inneholder detaljert informasjon om hvordan probeprosessen blir utført, hvordan robotens bane er programmert og hvordan justeringer av robotens bane blir gjort basert på informasjon i probeprosessen.

Probeprosessen består av to steg; det første steget er å finne delens posisjon og rotasjon, og det andre steget er å sette probepinnen inn i hullet.

Den første delen av dokumentet vil omhandle hvordan kontaktprobing utføres, utviklingen av kontaktprobeprosessen og programmeringen av bane for kontaktprobing.

Den andre delen av dokumentet handler om hvordan steg to av probeprosessen utføres, hvordan det er utviklet og programmert.

Den tredje delen av dokumentet handler om hvordan bore- og forsenkingsprosessen utføres og hvordan det er programmert.

2.1. Kontaktprobing

Kontaktprobingen utfører det første steget av probeprosessen. Den finner delens posisjon og rotasjon. Kontaktprobing bruker programmering av bane og kraftsensorfunksjonen «Constant push». Hvordan «constant push» blir brukt til å kjenne kontakt kan leses i kapittel 4.

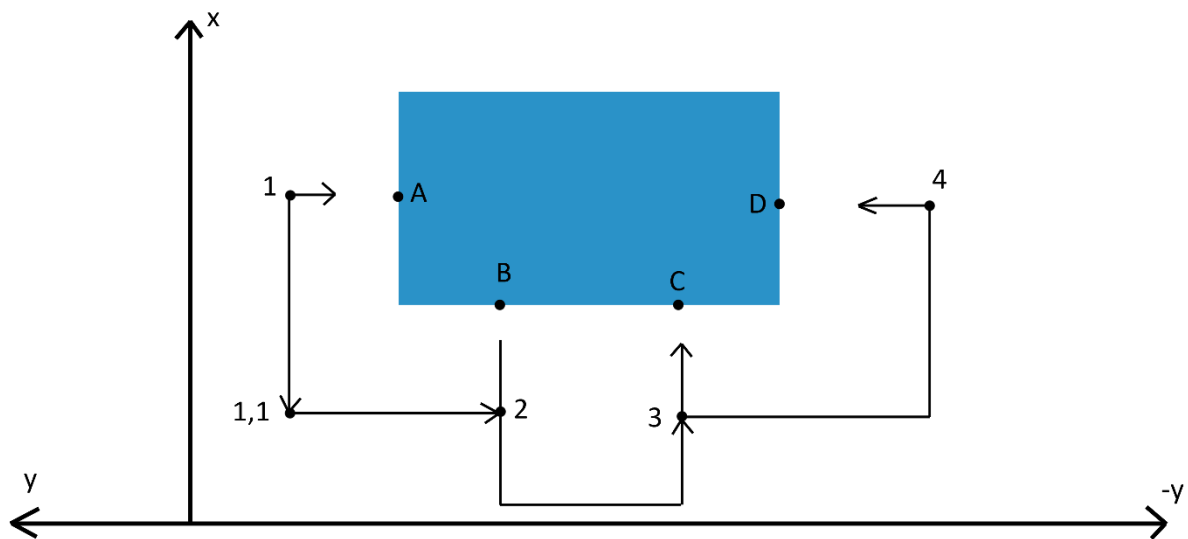
Steg to av probeprosessen, hvor kraftsensorfunksjonen «shaft insert» blir brukt til å sette probepinnen ned i hullet, setter krav til steg en av prosessen. For at probepinnen skal kunne settes ned i hullet med «shaft insert» må probepinnen treffe for-forsenkingen på det forborede hullet. Det vil si at «shaft insert» maksimalt kan bomme med 5,5184 mm i radius fra optimal posisjon i midten av hullet. Dermed må kontaktprobing finne delens posisjon og rotasjon med mindre enn 5,5184 mm feil. Den største feilen vil være i hullet som er lengst unna der origo settes. Er det feil i rotasjonen funnet mot den faktiske rotasjonen til delen vil rotasjonsfeilen forplante seg bortover å bli størst i hullet lengst unna. Så det er ved dette hullet at den sammenlagte maksimale feilen må være mindre enn 5,5184 mm.

2.1.1. Hvordan finne delens posisjon og rotasjon

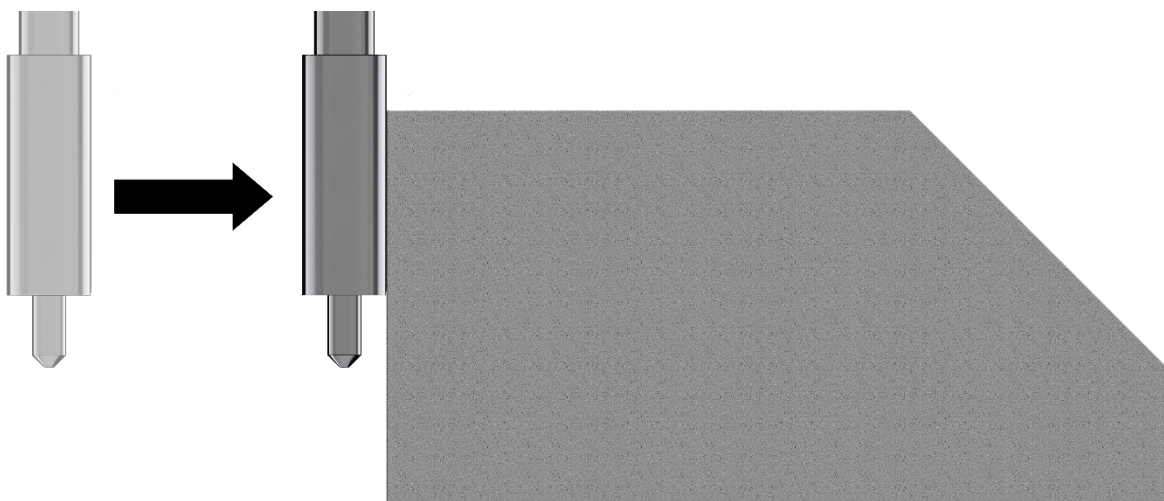
Vi trenger kun tre punkter for å finne den nøyaktige posisjon og rotasjonen til delen. To punkter langs den lengste sideflaten, ved dette finner vi rotasjonen, og ett punkt på en annen sideflate, dette gir oss posisjonen. Vi klarer ved disse tre punktene å sette en Uframe med origo i hjørnet av delen og med riktig rotasjon.

Det benyttes et startpunkt for kontaktprobing, dette er punkt A som forklart senere. Punkt A sin funksjon er å bestemme den videre banen og gir oss området delen må være innenfor for at kontaktprobingen skal fungere. Dersom kontaktprobingen skal fungere må vi treffe denne sideflaten. Så lenge vi treffer den, til tross for mye rotasjon og forskyvning, vil kontaktprobeprosessen fungere. Vi sikter inn på sideflaten som er 120 mm bred. Ved å sikte på midten av en perfekt posisjonering av delen har vi ± 60 mm å gå på til begge sider. Det vil si at delen kan bli flyttet ± 60 mm i X-retning (i forhold til roboten) og kontaktprobeprosessen vil fremdeles fungere. Det som også er viktig angående festing er at tvingen blir plassert så vinkelrett som mulig i forhold til delen. Står tvingen helt skeivt i forhold til delen kan den komme i veien for kontaktprobepanen.

Figur 2.1.1.1 viser hvordan roboten beveger seg, og hvilke punkter som blir registrert. Det er siden av probeverktøyet som beveger seg mot sideflatene til testdelen og lagrer punktene når den kjenner kontakt. Som vist i figur 2.1.1.2.



Figur 2.1.1.1: Kontaktprobeprosessen

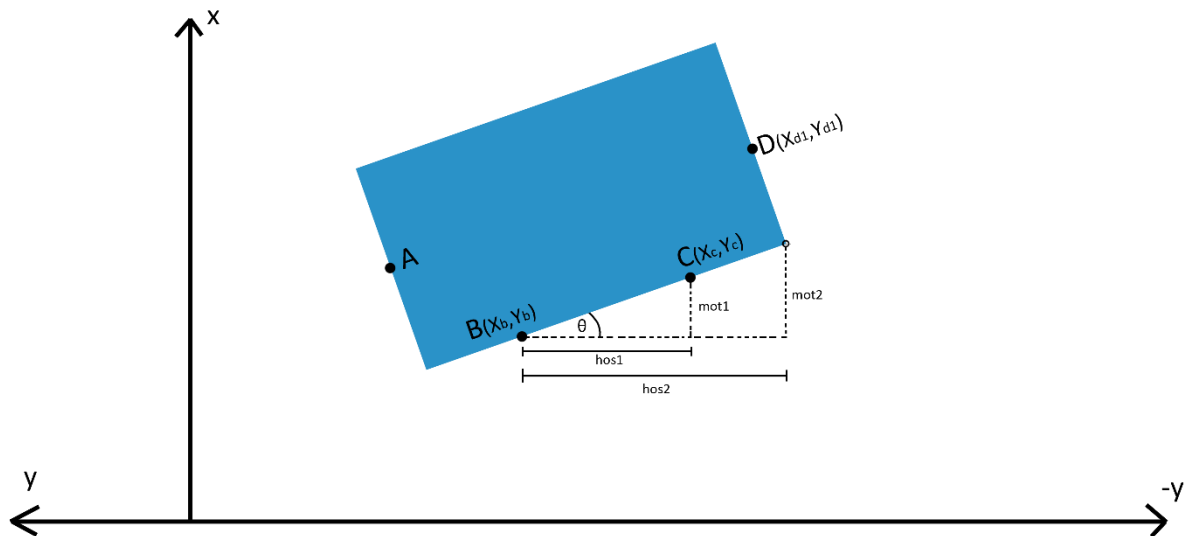


Figur 2.1.1.2: Probepinnens bevegelse mot

User frame, også kalt Uframe, er et aksesystem (x,y,z,w,p,r) som roboten kan bevege seg i og lagre punkter forhold til. Uframes er alltid plassert i rommet i forhold til robotens Uframe (Uframe0, også kalt «worldframe»).

Proessen, som vist i figur 2.1.1.1, kan bli beskrevet i 6 hovedpunkter:

1. Probeverktøy til punkt A
 - 1.1. Roboten beveger probeverktøyet til punkt 1
 - 1.2. Bruker «constant push» i -y retning
 - 1.3. Lagrer punktet A ved kontakt i Uframe0
 - 1.4. Punktet A blir satt som Uframe4 med samme rotasjon som roboten, Uframe4 bestemmer banen for de to neste punktene
 - 1.5. Til slutt beveger roboten probeverktøyet seg tilbake til punkt 1
2. Probeverktøy til punkt B
 - 2.1. Roboten beveger probeverktøyet til punkt 1,1 før den beveger seg videre til punkt 2
 - 2.2. Bruker «constant push» i x retning
 - 2.3. Lagrer punktet B ved kontakt i Uframe0
 - 2.4. Beveger seg tilbake til punkt 2
3. Probeverktøy til punkt C
 - 3.1. Roboten beveger probeverktøyet rundt tvingen og videre til punkt 3
 - 3.2. Bruker «constant push» i x retning
 - 3.3. Lagrer punktet C ved kontakt i Uframe0
 - 3.4. Beveger seg tilbake til punkt 3
4. Regne ut vinkel for videre bane (figur 2.1.1.3 viser en illustrasjon av verdiene)



Figur 2.1.1.3: Kontaktprobingsbane i RG

- 4.1. Vi bruker punkt B og C til å regne ut vinkelen til delen i forhold til roboten, her ser vi kun på x og y verdiene til punktene.

Utgangspunkt:

$$mot1 = Xc - Xb$$

$$hos1 = -(Yc - Yb)$$

$$vinkelen \theta = \tan^{-1} \frac{mot1}{hos1}$$

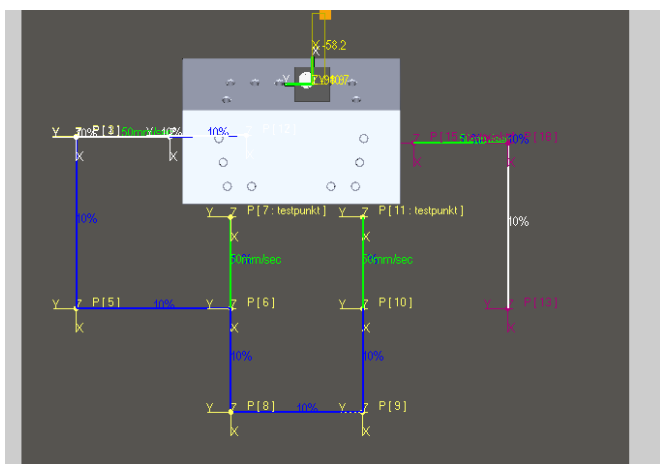
- 4.2. Vi setter nå Uframe5 lik punkt B med rotasjonen θ i R (rotasjonsaksen rundt Z-aksen). Dette bestemmer videre bane.

5. Probeverktøy til punkt D
 - 5.1. Basert på Uframe5 beveger roboten seg til punkt 4
 - 5.2. Roboten bruker «constant push» i y-retning (i forhold til Uframe 5)
 - 5.3. Lagrer punktet D ved kontakt i Uframe5
 - 5.4. Beveger seg tilbake til punkt 4 og tilbake til en startposisjon over delen
6. Finner origopunktet på hjørnet av delen (figur 1.1.1.3 viser en illustrasjon av verdiene)
 - 6.1. Vi bruker punkt B, punkt D og rotasjonen vi fant tidligere til å regne ut posisjonen til dette punktet. Punkt D har vi lagret i Uframe5, som er i forhold til punkt B, dermed er $Yd1$ = hypotenusen. Vi må da finne $hos2$ og $mot2$ for å vite hvor mye origopunktet skal flyttes i X og Y retning.
Utgning:
$$Hyp2 = Yd1$$
$$hos2 = Hyp2 \cos \theta$$
$$mot2 = Hyp2 \sin \theta$$
$$Origo = (X, Y) = (Xb + hos2, Yb + mot2)$$
 - 6.2. Det nye origo blir da satt i hjørnet av delen. Etter dette legger vi til den rotasjonen θ vi fant tidligere. Vi har nå funnet posisjonen og rotasjonen til delen og satt en Uframe med riktig rotasjon.

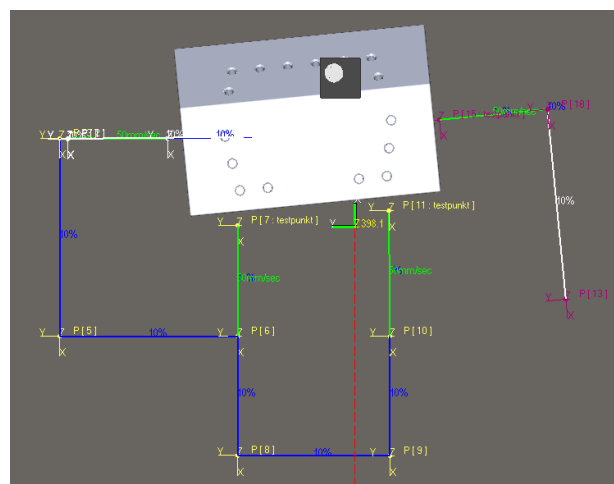
2.1.2. Utvikling av kontaktprobestoressen

Denne kontaktprobestoressen ble valgt fordi den er svært god og enkel å implementere. For å utvikle denne storessen programmerte og testet vi dette i Roboguide. Programmeringsstoressen i TP hadde ikke trigonometriske funksjoner så vi fikk tak i tilleggstoressen fra Fanuc. Dette ga oss muligheten til å bruke trigonometriske funksjoner i TP-programmering. Tilleggstoressen kostet ingenting for oss siden vi er studenter. Dersom storessen skal brukes i produksjon hos KDA må det betales for. Storessen heter «Math function option» (J593).

Som nevnt over så lagde vi storessen først i Roboguide. Utfordringen med Roboguide er at vi ikke får simulert fysikk. Istedenfor å bruke kraftsensorfunksjonen «constant push» til å bevege probeverktøyet mot testdelen og kjenne kontakt, så har vi laget testpunkter som simulerer de punktene vi ville fått ved kontakt. Disse testpunktene brukes til å regne ut delens posisjon og rotasjon på samme måte som kontaktpunktene blir brukt. Figur 2.1.2.1 er et bilde av testdelen og banen i Roboguide. Den avsluttende banen til punkt D, til høyre på figuren, er basert på rotasjonen som blir funnet av punkt B og C. Har delen rotasjon, vil denne banen ha en likedan rotasjon, som vist i figur 2.1.2.2.



Figur 2.1.2.1: Kontaktprobestoressbane i RG



Figur 2.1.2.2: Kontaktprobestoressbane i RG med rotasjon

Den fullstendige koden er laget og teste i Roboguide. Dette fungerte og koden ble lastet opp til robotkontrolleren og testet igjen. Dette fungerte også.

Feilmarginen til denne storessen er svært liten. Feilmarginen kommer av svært små bøyninger i probeverktøyet når den får kontakt med testdelen. Bøyningen varierer noe og det er dette som gir feilmarginen. Den maksimale feilmarginen vi kan få er på 0,025 mm. Dette er innenfor marginene på 5,184 mm som probepinnen må være innenfor for at steg to av probestoressen skal bli suksessfull. Mer om feilmarginen som kommer av kontakt står i kapittel 4.3.6. *Observasjoner gjort ved bruk av «Constant Push» til kontaktprobing.*



KONGSBERG

2.1.3. Kode for kontaktprobing

Kontaktprobeprogrammet heter «Touchprobing» og består av tre kraftsensorfunksjoner; en for hver retning vi bruker kraftsensoren. Programmet kaller også på to utregningsprogrammer som regner ut den videre probebanen samt delens posisjon og rotasjon. Disse to utregningsprogrammene heter «MathUF1» og «MathUF2». Ved tilfellet at en av kraftsensorfunksjonene feiler, som skjer om delen ikke er plassert innenfor området den skal være og vi dermed ikke finner delen, så vil programmet kalle på programmet «Endprog», som kjører en avslutningssekvens og sender en melding om at delen ikke ble funnet.

Kontaktprobing – «Touchprobing»

```
1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=0 ;
3: J P[12] 10% FINE ;
4: ;
5: J P[1] 10% FINE ;
6: J P[2] 10% FINE ;
7: WAIT .20(sec) ;
8: FORCE CTRL[5: -Y]
: ErrorLBL[1] ;
9: ;
10: PR[39]=LPOS ;
11: PR[39,4]=0 ;
12: PR[39,5]=0 ;
13: PR[39,6]=0 ;
14: UFRAME[4]=PR[39] ;
15: UFRAME_NUM=4 ;
16: J P[3] 10% FINE ;
17: J P[5] 10% FINE ;
18: J P[6] 10% FINE ;
19: WAIT .20(sec) ;
20: FORCE CTRL[6: X]
: ErrorLBL[1] ;
21: ;
22: UFRAME_NUM=0 ;
23: PR[40]=LPOS ;
24: UFRAME_NUM=4 ;
25: J P[6] 10% FINE ;
26: J P[8] 10% FINE ;
27: J P[9] 10% FINE ;
28: J P[10] 10% FINE ;
29: WAIT .20(sec) ;
30: FORCE CTRL[6: X]
: ErrorLBL[1] ;
31: ;
32: ;
33: UFRAME_NUM=0 ;
34: PR[41]=LPOS ;
35: UFRAME_NUM=4 ;
36: J P[10] 10% FINE ;
37: ;
38: CALL MATHUF1 ;
39: ;
40: UFRAME_NUM=5 ;
41: J P[13] 10% FINE ;
42: J P[18] 10% FINE ;
43: WAIT .20(sec) ;
44: FORCE CTRL[7: Y]
: ErrorLBL[1] ;
45: ;
46: ;
47: PR[42]=LPOS ;
48: J P[18] 10% FINE ;
49: J P[16] 10% FINE ;
50: UFRAME_NUM=0 ;
51: J P[12] 10% FINE ;
52: CALL MATHUF2 ;
53: END ;
54: LBL[1] ;
55: CALL ENDPROG ;
[END]
```

TP-kode 2.1.3.1: «Touchprobing» programmet

Til å starte med er Utool1 satt som det aktive verktøyet. Utool1 er probepinnen. Etter dette blir Uframe0, altså «worldramen», satt som aktive Uframe. De første punktene er punkter høyt over der delen skal være festet. Punktet P[2] i koden er det som blir beskrevet som punkt1 i figur 2.1.1.1. Deretter brukes kraftsensorfunksjonen for å finne delens posisjon. Kraftsensorfunksjonen virker her i y-retning i robotens «world frame». Finner kraftsensorfunksjonen delen fortsetter koden nedover som vanlig. Feiler kraftsensoroperasjonen ved at vi ikke får kontakt, altså vi finner ikke delen, så vil det programmet hoppe over all kode og gå rett til linje 54 som er «LBL[1]». Deretter blir «Endprog» kalt på, som avslutter kontaktprobeprosessen, og sender en feilmelding.

Ved kontakt blir kraftsensoroperasjonen suksessfull. Når kontakt med delen er oppnådd lagres denne posisjonen, og den videre banen blir bestemt ut av denne posisjonen. Siden delens rotasjon ennå ikke er kjent, er rotasjonen rundt aksene satt til null.

$PR[39,1] = x$, $PR[39,2] = y$, $PR[39,3] = z$, $PR[39,4] = w$,
 $PR[39,5] = p$, $PR[39,1] = r$.

Punktet PR[39], blir satt som Uframe4 og Uframe4 blir deretter satt som den aktive Uframe. Videre beveger roboten seg til punkt 2 (etter figur 2.1.1.1) og bruker kraftsensorfunksjon og lagrer punkt B ved kontakt. Videre beveger den seg til punkt 3 og gjør det samme. Når disse to punktene på langsiden er funnet blir rotasjonen til delen regnet ut. Legg merke til at punktene lagres i forhold til Uframe0, f.eks linje 33-35. Dette er fordi vi trenger punktene i forhold til roboten. Etter punktene blir lagret må vi sette Uframe4 som aktiv igjen.

Etter punkt B og C er registrert blir programmet «MathUF1» kalt på. «MathUF1» gjør utregningen av rotasjonen til delen, dette står forklart lengre nede.

«MathUF1» bruker utregningen til å sette Uframe5, som blir satt til den aktive Uramen. Den videre banen er i forhold til Uframe5. Roboten beveger seg til punkt 4 og bruker kraftsensoren i y-retning. Ved kontakt blir punktet lagret i forhold til Uframe5. Til slutt kaller vi på programmet «MathUF2» som gjør utregningen og setter Uframe6 i hjørnet av delen med riktig rotasjon.

Utrekningsprogrammer – «MathUF1» og «MathUF2»

For å gjøre utregninger brukes registret R[]. R[] lagrer desimaltall. PR[X,Y] brukes også. Dette er for å ta ut x, y, z, w, p eller r verdien av et punkt.

Som nevnt over så regner «MathUF1» ut rotasjonen til delen. I «MathUF1» brukes ATAN funksjonen som kommer fra «Math function» softwaret vi installerte. Vi trenger en «if» setning i dette programmet siden vi deler på «hos1». Hvis «hos1» er null, så vil vi få en feil og programmet stopper. Til slutt settes rotasjonen i punkt PR[45] lik vinkelen (R[13]) og så settes rotasjonen i Uframe5 lik denne vinkelen.

```
1: R[10:mot1]=PR[41,1:C]-PR[40,1:B] ;
2: R[11:hos1]=PR[41,2:C]-PR[40,2:B] ;
3: R[11:hos1]=(-1)*R[11:hos1] ;
4: PR[45:UFrame5]=PR[40:B] ;
5: PR[45,4:UFrame5]=0 ;
6: PR[45,5:UFrame5]=0 ;
7: PR[45,6:UFrame5]=0 ;
8: ;
9: IF R[11:hos1]=0,JMP LBL[1] ;
10: ;
11: ;
12: R[12:mot1/hos1]=R[10:mot1]/R[11:hos1] ;
13: R[13:V]=(ATAN[R[12]]);
14: JMP LBL[2] ;
15: ;
16: LBL[1] ;
17: R[13:V]=0 ;
18: ;
19: LBL[2] ;
20: PR[45,6:UFrame5]=R[13:V] ;
21: UFRAME[5]=PR[45:UFrame5] ;
[END]
```

TP-kode 2.1.3.2: *MathUF1*

```
1: R[23:Hyp2]=PR[42,2:D] ;
2: R[18:SinV]=(SIN[R[13]]);
3: R[19:CosV]=(COS[R[13]]);
4: R[20:Mot2]=R[23:Hyp2]*R[18:SinV] ;
5: R[21:Hos2]=R[23:Hyp2]*R[19:CosV] ;
6: ;
7: R[25:Xb+Mot2]=PR[40,1:B]-R[20:Mot2] ;
8: R[26:Yb+Hos2]=PR[40,2:B]+R[21:Hos2] ;
9: ;
10: PR[50,1]=R[25:Xb+Mot2] ;
11: PR[50,2]=R[26:Yb+Hos2] ;
12: PR[50,3]= (-319.829) ;
13: PR[50,4]=0 ;
14: PR[50,5]=0 ;
15: PR[50,6]=R[13:V] ;
16: UFRAME[6]=PR[50] ;
17: PR[50,1]=PR[50,1]+45 ;
18: PR[50,2]=PR[50,2]+156.7 ;
19: UFRAME[2]=PR[50] ;
20: PR[50,5]=PR[50,5]+45 ;
21: UFRAME[3]=PR[50] ; [END]
```

TP-kode 2.1.3.3: *MathUF2*

I «MathUF2» finner vi den nøyaktige posisjonen til delen. Først er det utregninger ved bruk av punktet vi fant i forhold til den aktive Uframen. Deretter settes verdiene inn i PR[50] punktet. Her settes z-verdien til -319,829, som er høyden (Z-retning) til testdelen. Testdelen har en fast høyde, så vi trenger ikke finne dette i probeprosessen.

Avslutte programmer ved feil – «Endprog»

Ved feil er det nødvendig med en prosedyre som setter roboten tilbake i «home»-posisjonen og gir melding om feilen. «Endprog» gjør dette. PR[49] er satt som et punkt høyt over delen, slik at kan bevege oss til dette punktet uten å treffe noe fra alle punkter. Deretter beveger roboten seg til «home» posisjonen. Til slutt sender den ut en alarm. Hvilken melding alarmen sender ut og hva den gjør blir bestemt i alarmregistret. UALM[1] skal kun utløses om delen ikke blir funnet, så den sender en melding om at delen ikke er funnet.

```
1: UFRAME_NUM=0 ;  
2:J PR[49] 10% FINE ;  
3:J PR[97:HomeUF0] 10% FINE ;  
4: UALM[1] ;  
[END]
```

TP-kode 2.1.3.4: «Endprog» programmet

2.2. Sette probepinnen ned i hull

Steg to av probeprosessen er å sette probepinnen ned i hull. Dette steget blir utført uansett om kontaktprobing eller 2D «iRvision» blir brukt til å utføre steg en av probeprosessen. Ved å gjøre dette får vi den nødvendige informasjonen om hullet.

For å utføre dette brukes en programmert bane som justerer seg basert på delens posisjon og rotasjon og kraftsensorfunksjonen «shaft insert». Hvordan «shaft insert» blir brukt til å sette probepinnen ned i hullet står i kapittel 4.

Den nødvendige informasjonen vi finner er:

- Nøyaktig posisjon til hullet
- Nøyaktig høyde for flaten rundt hullet
- Nøyaktig vinkelrotasjon i forhold til overflaten til hullet

Nøyaktigheten til posisjonen av hullet kommer fra produksjonen av probeverktøyet. Den maksimale feilen i posisjon kommer fra:

$$\text{Maksimal feil i posisjon} = \frac{MHD - PD}{2} + MB = \mathbf{0,0617 \text{ mm}}$$

MHD = Maksimal hull diameter = 5,62 mm

PD = Probetupp diameter = 5,55 mm

MB = Maksimal bøyning i probeverktøyet ved innsetting = 0,0267 mm
(verdier fra Utviklingsdokument-Multiverktøy og testdel)

Nøyaktigheten til høyden for flaten rundt hullet og vinkelrotasjon i forhold til overflaten skal være helt presis. Probepinnen sin flate er laget med dreiebenk. Dermed vil den helt flat på overflaten av hullet. Da vil rotasjonen og høyden funnet ha de nøyaktige verdiene til hullet. (eventuelle mikroskopiske feil er ikke relevant for denne oppgaven).

2.2.1. Hvordan justere robotens bane

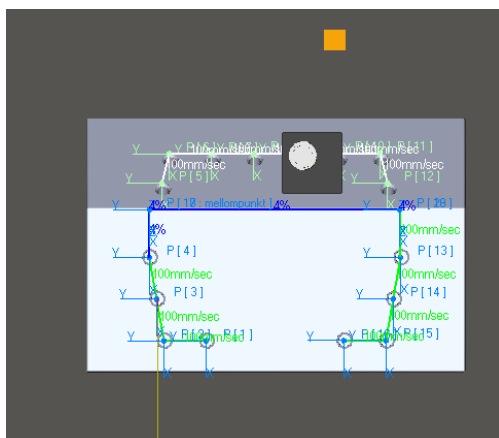
Banen for å sette probepinnen ned i hullet er kun basert en Uframe som blir satt i det første steget av probeprosessen. Basert på denne Uframen har roboten en fast bane den vil følge. Endres posisjonen og/eller rotasjonen til Uframen så vil robotens bane endres like mye. Altså flyttes Uframen 10 mm i X-retning, så flyttes alle punktene i banen også 10 mm i X-retning. Det vi si at så lenge probeprosessen i steg en er nøyaktig nok så vil robotens bane alltid være riktig i forhold til delens posisjon og rotasjon.

Banen roboten følger består av punkter. Ved hvert punkt over hull blir «shaft insert» brukt for å sette probepinnen ned i hullet. Blir «shaft insert» vellykket vil posisjon bli lagret. Her lagrer vi posisjonen ved overflaten, altså der flaten til probepinnen blir liggende når den har gått helt inn i hullet. Dette er for å få et nullpunkt på overflaten og gjør det enkelt å programmere nøyaktig hvor dypt fra dette nullpunktet roboten skal bore og forsenke. Posisjonen som blir lagret er i forhold til roboten, altså Uframe0.

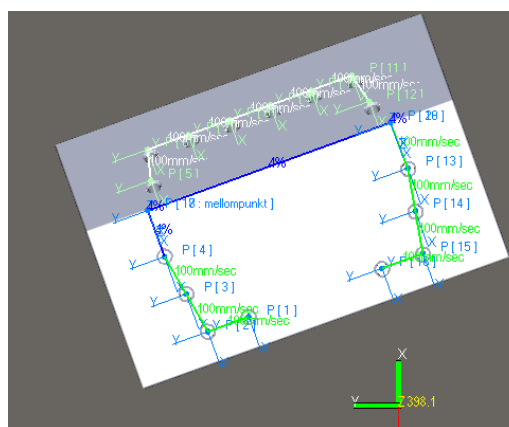
Delen har en fast rotasjon rundt x- og y-aksen i forhold til roboten, altså w og p aksene. Dette er på grunn av at gulvet i rommet roboten jobber i ikke er helt flatt. Når «shaft insert» blir brukt så klarer den å justere for denne rotasjonen, men det introduserer en feil som må rettes på. Siden rotasjonen er lik for hver operasjon kan rotasjonen være programmert inn på forhånd. Derfor er punktene i robotens bane satt med den rotasjonen rundt x- og y-aksen slik at når «shaft insert» blir brukt, så virker den med samme rotasjon som hullene og dermed går den rett ned i hullene. Feilen «shaft insert» må rette på blir dermed kun feilmarginen fra steg en av probeprosessen og robotens feil, som til sammen blir maksimalt 0,075 mm. Dette er godt innenfor toleranser for denne prosessen.

2.2.2. Utvikling av probebane

Å lage en bane som justerer seg basert på en Uframe er noe av det første vi fikk til. Dette gjorde vi først i Roboguide. Figur 2.2.2.1 og 2.2.2.2 viser hvordan punktene flytter seg med delen når delen roterer.



Figur 2.2.2.1: Probepane



Figur 2.2.2.2: Probepane med rotasjon

Koden for banen lastes opp på roboten, men punktene i banen må justeres. Justeringen er å legge til den lille rotasjonen som kommer av at gulvet er litt skeivt. For å sette punktene helt nøyaktig blir programmet «settepunkt» brukt. «Settepunkt» programmet bruker «shaft insert» til å sette probepinnen ned i hullet, deretter går den rett opp av hullet, med hullets rotasjon, til 5 mm over overflaten. Denne posisjonen blir lagret som et punkt i banen. Dette ble gjort på alle hullene til testdelen for å få så eksakte punkter som mulig.

Vi har to løsninger for steg en av probeprosessen, 2D «iRVision» og kontaktprobing. Disse to løsningene setter Uframe origo forskjellige steder. Dette medfører at punktene må lagres i forhold til begge disse Uframene. Dette har vi gjort enkelt ved å lage et program som overfører punktene fra den ene Uframene til den andre. Dette programmet heter «touchtilvis». Punktene er først satt som forklart over i forhold til Uframene satt av kontaktprobing, som er på hjørnet av delen. Deretter overføres og lagres punktene i Uframene satt av 2D «iRVision» ved å kjøre «touchtilvis» programmet.

Punktene blir lagret både globalt og lokalt. De blir lagret globalt for å gjøre det enkelt å bruke punktene i mange forskjellige programmer, siden det er svært praktisk å kunne kalle programmer som skal kjøres ofte. Inni disse programmene er det greit å kunne enkelt kalle på punktene vi er interessert i å bruke fra det globale registret. Punktene blir også lagret lokalt i programmer som heter «punktprogtouch» og «punktprogviz», dette er en slags «backup» av punktene. Om de globale punktene skal brukes til noe annet eller ved et uhell blir overkjørt, så kan disse programmene kjøres for å gjøre de lokale punktene i programmene til globale punkter igjen.

2.2.3. Kode for å sette probepinnen ned i hull

Som nevnt brukes to forskjellige Uframes til steg en av probeprosessen. Testdelen har 16 hull, derfor er 16 punkter lagret i forhold til den ene Uframe og 16 punkter lagret i forhold til den andre. I det globale registret er punktene PR[1-16] lagret i forhold til Uframe satt av 2D «iRVision», som er satt til Uframe2. Punktene PR[21-36] er lagret i forhold til Uframe satt ved kontaktprobing, som er satt som Uframe6. Derfor har vi to programmer for probebanen, «TouchprobelInsertprog» og «VisionprobelInsertprog». «VisionprobelInsertprog»-programmet tar i bruk punktene PR[1-16] og lagrer posisjonen funnet i punktene PR[51-66]. «TouchprobelInsertprog» programmet tar i bruk punktene PR[21-36] og lagrer posisjonen funnet i punktene PR[71-86], ellers er programmene helt like. Begge disse programmene kaller på programmet «Sinsert1». TP-kode 2.2.3.1 og 2.2.3.2 viser koden for «TouchprobelInsertprog» og «VisionprobelInsertprog».

Probepinnen – «TouchprobelInsertprog» og «VisionprobelInsertprog»

```
1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=6 ;
3: J PR[98:OverUF6] 10% FINE ;
4: R[1]=0 ;
5: FOR R[1]=21 TO 24 ;
6: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
7: CALL SINSERT1 ;
8: UFRAME_NUM=6 ;
9: ENDFOR ;
10: ;
11: J P[1:mellompunkt] 10% FINE ;
12: J P[2:mellompunkt] 10% FINE ;
13: ;
14: FOR R[1]=25 TO 32 ;
15: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
16: CALL SINSERT1 ;
17: UFRAME_NUM=6 ;
18: ENDFOR ;
19: ;
20: J P[3:mellompunkt] 10% FINE ;
21: J P[4:mellompunkt] 10% FINE ;
22: ;
23: FOR R[1]=33 TO 36 ;
24: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
25: CALL SINSERT1 ;
26: UFRAME_NUM=6 ;
27: ENDFOR ;
28: ;
29: J PR[98:OverUF6] 10% FINE ;
30: UFRAME_NUM=0 ;
31: J PR[97:HomeUF0] 10% FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.1: «TouchprobelInsertprog»

```
1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=2 ;
3: J PR[99:OverUF2] 10% FINE ;
4: R[1]=0 ;
5: FOR R[1]=1 TO 4 ;
6: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
7: CALL SINSERT1 ;
8: UFRAME_NUM=2 ;
9: ENDFOR ;
10: ;
11: J P[1:mellompunkt] 10% FINE ;
12: J P[2:mellompunkt] 10% FINE ;
13: ;
14: FOR R[1]=5 TO 12 ;
15: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
16: CALL SINSERT1 ;
17: UFRAME_NUM=2 ;
18: ENDFOR ;
19: ;
20: J P[3:mellompunkt] 10% FINE ;
21: J P[4:mellompunkt] 10% FINE ;
22: ;
23: FOR R[1]=13 TO 16 ;
24: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
25: CALL SINSERT1 ;
26: UFRAME_NUM=2 ;
27: ENDFOR ;
28: ;
29: J PR[99:OverUF2] 10% FINE ;
30: UFRAME_NUM=0 ;
31: J PR[97:HomeUF0] 10% FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.2: «VisionprobelInsertprog»



KONGSBERG

Til å starte med settes det aktive verkøyet (Utool) og den aktive Uramen, Uframe6 eller Uframe2. Deretter beveger roboten seg til et punkt over Uramen.

Den første «for»-løkken teller oppover fra 1 til 4 (eller 21 til 24). Deretter blir variabelen R[1] brukt til bevege seg til punktet PR[R[1]]. Når R[1] = 1 beveger den seg til PR[1], osv. Ved hvert punkt kaller vi programmet «Sinsert1», TP-kode 2.2.3.3. I «Sinsert1» programmet blir kraftsensorfunksjonen «shaft-insert» brukt til å sette probepinnen ned i hullet, og posisjon blir lagret, mer om dette senere.

Etter den første «for»-løkken må vi ta i bruk noen mellompunkter. Dette er på grunn av kanten mellom flaten og skråflaten roboten jobber på. Ved lineær bevegelse vil probeverktøyet kollidere med delen, derfor er det nødvendig med mellompunkter for å bevege seg trykt til og fra skråflaten.

Den andre «for»-løkken inneholder alle punktene på skråaksen, punkt 5-12 (eller 25-32). Samme system er brukt her. Deretter er det to mellompunkt til for å komme seg opp på flaten, hvor probepinnen blir satt ned i de resterende hullene, hull 13-16 (eller 33-36). Til å avslutte programmet beveger roboten seg til en fast «hjem» punkt.

Sette inn probepinnen – «Sinsert1T» og «Sinsert1V»

Som nevnt tidligere blir «Sinsert1» programmet kalt for å sette probepinnen ned i hullet etter at roboten har gått til punktene som skal sjekkes. Et viktig poeng med kraftsensorfunksjonen «shaft insert» som brukes her, er at retningen til «shaft insert» er bestemt av den aktive Uframen. På grunn av skråflaten må Uframen her ha vinkelen til skråflaten. Her kan det tenkes at vi trenger to Uframes på forhånd og to «shaft insert»-programmer. Dette trenger vi ikke på grunn av linje 1-4 i «Sinsert1»-programmet.

Punktene roboten beveger seg til er i forhold til Uframen satt ved probing, disse punktene er kompensert med riktig rotasjon i forhold til delen. I linje 1-4 blir den nåværende posisjonen, med den nåværende rotasjonen satt som Uframe1, og Uframe1 blir den aktive Uframen. Dette gjør at når vi kjører kraftsensorfunksjonen «shaft insert» så vil den bevege seg rett ned i z-retning med den riktige rotasjonen basert på hvilket punkt den er i.

Etter Uframen er satt i starten av programmet, så kjøres kraftsensorfunksjonen. Er funksjonen suksessfull vil punktet bli lagret i forhold til Uframe0, «worldframen». For å lagre punktet brukes Utool2. Dette Utolet er plassert på flaten til probeverktøyet, og er sentrert i midten. Dette er for å lagre punktet ved overflaten. Punktene blir lagret som PR[R[2]], som er 50 mer enn den nåværende PR[R[1]] verdien. Altså PR[] punktene 51-66 for «visionprobing» og punktene 71-86 for «touchprobing».

Er kraftsensorfunksjonen ikke suksessfull hopper programmet til LBL[1] og starter en avslutningssekvens.

Til slutt i programmet, linje 15, beveger roboten probepinnen opp til 5 mm over overflaten, før vi går tilbake til programmet som kalte på «Sinsert1».

```
1: UFRAME_NUM=0 ;
2: PR[50]=LPOS ;
3: UFRAME[1]=PR[50] ;
4: UFRAME_NUM=1 ;
5: WAIT .10(sec) ;
6: FORCE CTRL[1:Uframe1]
 : ErrorLBL[1] ;
7: WAIT .10(sec) ;
8: UTOOL_NUM=2 ;
9: UFRAME_NUM=0 ;
10: R[2]=R[1]+50 ;
11: PR[R[2]]=LPOS ;
12: UTOOL_NUM=1 ;
13: UFRAME[1]=PR[R[2]] ;
14: UFRAME_NUM=1 ;
15:L PR[90:+5z] 100mm/sec FINE;
16: END ;
17: LBL[1] ;
18: UFRAME_NUM=2 ;
19:L PR[R[1]] 100mm/sec FINE;
20: CALL ENDPROG ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.3: «Sinsert1»-programmet

Vi bruker «Sinsert1T» og «Sinsert1V». Hvor den eneste forskjellen er linje 18. I «Sinsert1V» settes Uframen lik Uframe2, og i «Sinsert1T» settes Uframen lik Uframe6. Dette er for at avslutningssekvensen ved feil skal bli riktig.

Sette punkter – «Settepunkt»

«Settepunkt»-programmet blir brukt til å sette punktene «Touchprobelinsertprog» og «Visionprobelinsertprog» skal bevege til, i forhold til Uframen disse programmene setter. Før «settepunkt» programmet blir kjørt plasser vi roboten manuelt over hullet vi trenger et punkt over. «Settepunkt» er helt likt som «Sinsert1» programmet, den eneste forskjellen er at «Sinsert1» lagrer et variabel PR[] punkt, noe «settepunkt» ikke gjør. Etter at settepunkt er kjørt, lagrer vi dette punktet manuelt i punktprogrammene som det står om videre.

```
1: UFRAME_NUM=0 ;
2: PR[50]=LPOS ;
3: UFRAME[1]=PR[50] ;
4: UFRAME_NUM=1 ;
5: ;
6: WAIT .10(sec) ;
7: FORCE CTRL[1:Uframe1]
 : ErrorLBL[1] ;
8: WAIT .10(sec) ;
9: UTOOL_NUM=2 ;
10: UFRAME_NUM=0 ;
11: PR[50]=LPOS ;
12: UFRAME[1]=PR[50] ;
13: UFRAME_NUM=1 ;
14: UTOOL_NUM=1 ;
15:L PR[90:+5z] 100mm/sec FINE ;
16: UFRAME_NUM=2 ;
17: END ;
18: LBL[1] ;
19: ABORT ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.4: «Settepunkt» programmet

Punktprogrammer – «PunktprogTouch» og «PunktprogVision»

Som nevnt tidligere så brukers punktprogrammer. Punktene roboten skal bevege seg til i forhold til Uframen er lagret lokalt i disse programmene. Programmene «PunktprogTouch» og «PunktprogVision» går til alle disse punktene, er innom noen mellompunkter og til slutt blir punktene omgjort til globale PR[] punkter i «for»-løkken. Det er disse lokale punktene vi først lagret i forhold til Uframen som ble satt i ved kontaktprobing og visionproing. Disse punktene ble da lagret etter at «Settepunkt»-programmet ble kjørt.

```
1: UFRAME_NUM=6 ;
2: UTOOL_NUM=1 ;
3: ;
4:L P[21:start] 100mm/sec FINE ;
5:L P[1] 100mm/sec FINE ;
6:L P[2] 100mm/sec FINE ;
7:L P[3] 100mm/sec FINE ;
8:L P[4] 100mm/sec FINE ;
9: ;
10:J P[17:mellompunkt] 10% FINE ;
11:J P[18:mellompunkt] 10% FINE ;
12: ;
13:L P[5] 100mm/sec FINE ;
14:L P[6] 100mm/sec FINE ;
15:L P[7] 100mm/sec FINE ;
16:L P[8] 100mm/sec FINE ;
17:L P[9] 100mm/sec FINE ;
18:L P[10] 100mm/sec FINE ;
19:L P[11] 100mm/sec FINE ;
20:L P[12] 100mm/sec FINE ;
21: ;
22:J P[19:mellompunkt] 10% FINE ;
23:J P[20:mellompunkt] 10% FINE ;
24: ;
25:L P[13] 100mm/sec FINE ;
26:L P[14] 100mm/sec FINE ;
27:L P[15] 100mm/sec FINE ;
28:L P[16] 100mm/sec FINE ;
29: FOR R[1]=21 TO 36 ;
30: R[2]=R[1]-20 ;
31: PR[R[1]]=P[R[2]] ;
32: ENDFOR ;
33:J P[21:start] 10% FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.5: «PunktprogTouch»
programmet

```
1: UFRAME_NUM=2 ;
2: UTOOL_NUM=1 ;
3:L P[21:start] 100mm/sec FINE ;
4:L P[1] 100mm/sec FINE ;
5:L P[2] 100mm/sec FINE ;
6:L P[3] 100mm/sec FINE ;
7:L P[4] 100mm/sec FINE ;
8: ;
9:J P[17:mellompunkt] 10% FINE ;
10:J P[18:mellompunkt] 10% FINE ;
11: ;
12:L P[5] 100mm/sec FINE ;
13:L P[6] 100mm/sec FINE ;
14:L P[7] 100mm/sec FINE ;
15:L P[8] 100mm/sec FINE ;
16:L P[9] 100mm/sec FINE ;
17:L P[10] 100mm/sec FINE ;
18:L P[11] 100mm/sec FINE ;
19:L P[12] 100mm/sec FINE ;
20: ;
21:J P[19:mellompunkt] 10% FINE ;
22:J P[20:mellompunkt] 10% FINE ;
23: ;
24:L P[13] 100mm/sec FINE ;
25:L P[14] 100mm/sec FINE ;
26:L P[15] 100mm/sec FINE ;
27:L P[16] 100mm/sec FINE ;
28: FOR R[1]=1 TO 16 ;
29: PR[R[1]]=P[R[1]] ;
30: ENDFOR ;
31:J P[21:start] 10% FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.6: «PunktprogVision»
programmet

Overføring av punkter til annen Uframe – «TouchTilVis» og «lagrepunkt»

For å ikke måtte manuelt kjøre «Settepunkt» programmet over først 16 hull i forhold til Uframe6 og deretter 16 hull i forhold til Uframe2 så lagde vi et program som overfører punktene lagret i Uframe6 til punkter som blir lagret i Uframe2. «TouchTilVis» og «lagrepunkt» gjør dette. «TouchTilVis» programmet er helt likt som «TouchprobeInsertprog» med ett unntak. Den eneste forskjellen er at «TouchTilVis» kaller på programmet «lagrepunkt» istedenfor «Sinsert1». Dermed bruker programmet samme probebane som brukes til å sette probepinnen ned i hullene. Denne banen blir overført til Uframe2 ved «lagrepunkt» programmet. «lagrepunkt» setter den aktive Uframen lik Uframe2 for å så lagre PR[] posisjonen i forhold til dette. Før dette programmet kjører må Uframe2 være satt i forhold til delens nåværende posisjon og rotasjon.

```
1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=6 ;
3: J PR[98:OverUF6] 10% FINE ;
4: ;
5: FOR R[1]=21 TO 24 ;
6: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
7: CALL LAGREPUNKT ;
8: UFRAME_NUM=6 ;
9: ENDFOR ;
10: ;
11: J P[1:mellompunkt] 10% FINE ;
12: J P[2:mellompunkt] 10% FINE ;
13: ;
14: FOR R[1]=25 TO 32 ;
15: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
16: CALL LAGREPUNKT ;
17: UFRAME_NUM=6 ;
18: ENDFOR ;
19: ;
20: J P[3:mellompunkt] 10% FINE ;
21: J P[4:mellompunkt] 10% FINE ;
22: ;
23: FOR R[1]=33 TO 36 ;
24: L PR[R[1]] 100mm/sec FINE ;
25: CALL LAGREPUNKT ;
26: UFRAME_NUM=6 ;
27: ENDFOR ;
28: ;
29: J PR[98:OverUF6] 10% FINE ;
30: UFRAME_NUM=0 ;
31: J PR[97:HomeUF0] 10% FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.7: «TouchTilVis» programmet

```
1: UFRAME_NUM=2 ;
2: R[2]=R[1]-20 ;
3: PR[R[2]]=LPOS ;
[END]
```

TP-kode 2.2.3.8: «lagrepunkt» programmet

2.3. Boring- og forsenkingsprosessen

Boring og forsenking er det siste steget av den fullstendige prosessen. I denne prosessen blir punktene funnet og lagret i steg to av probeprosessen tatt i bruk. Disse punktene gir nøyaktig bore- og forsenkingsbane. Det vil si at bore- og forsenkingsbanen vil justere seg etter punktene funnet i probeprosessen.

Boring- og forsenkingsprosessen er svært enkel. Roboten beveger seg til punktene som er funnet. Deretter blir lufttrykk påført spindelen og roboten beveger spesialverktøyet ned i z-retning. Hastigheten for bevegelsen er bestemt fra beregninger og justeringer basert på observasjoner gjort etter tidligere boring og forsenking.

Det er viktig å legge merke til at bore- og forsenkingsbanen baserer seg kun på punktene funnet ved å sette probepinnen ned i hullene. Disse punktene er lagret i forhold til roboten, Uframe0. Steg en av probeprosessen, som er å finne delens posisjon og rotasjon har ingen påvirkning på bore- og forsenkingsbanen til roboten. Feilmarginen fra 2D «iRVision»-prosessen eller kontaktprobeprosessen blir ikke overført til bore- og forsenkingsbanen. Det blir dermed ingen forplantningsfeil i bore- og forsenkingsbanen.

Den maksimale teoretiske feilen vi kan få for hullets posisjon i bore- og forsenkingsbanen blir avgjort av nøyaktigheten til steg 2 av probeprosessen, robotens repeterbarhet og feil i TCP. Den maksimale feilen ved innsetting av probetuppen er 0,0617 mm. Legger vi til den maksimale feilen roboten kan ha, som er 0,05 mm, blir den sammenlagte feilen:

$$\text{Feil i posisjon hull posisjon} = MFP + RR + TF = \mathbf{0,1117\ mm} + TF$$

MFP = Maksimal feil i probing = 0,0617 mm

RR = Robotens repeterbarhet = 0,0500 mm

TF = TCP-feil = ukjent

Dette er den maksimale teoretiske feilen vi kan få i posisjon av hullet. TCP-feil forblir ukjent ettersom dette ikke presist kan måles. Det dette betyr er at den maksimale feilen i TCP må være mindre enn:

$$\text{Maksimal feil i TCP} = \text{Maksimal posisjoneringsfeil} - 0,1117\ mm = \mathbf{0,0915\ mm}$$

Maksimal posisjoneringsfeil = 0,2032 mm

Med feil i TCP mindre enn dette vil bore- og forsenkingsprosessen alltid være innenfor toleransene. Hvordan TCP blir satt innenfor dette området står i kapittel 5 TCP.

2.3.1. Kode for boring- og forsenkingsbane

Koden for boring- og forsenkingsbanen består av programmet «TouchBoreForsenke» eller «VisionBoreForsenke», basert på hvilken probemetode som er brukt. Disse programmene bestemmer hovedprogrammene for banen til og fra lagrede punkter. Bore- og forsenkeprogrammene kaller på «BFflate» og «BFskraa» (Bore Forsenke flate/skraa). Disse programmene står for bore- og forsenkingen.

Bore- og forsenkingsbane – «TouchBoreForsenke» og «VisionBoreForsenke»

Koden for boring- og forsenkingsbanen inneholder som tidligere programmer en «for»-løkke som bruker R[1] til å telle oppover. Ved å telle oppover og kalle på programmet «BFflate» og «BFskraa», beveger roboten seg til den lagrede posisjonen og utfører bore- og forsenkingsprosessen. Mellompunkter brukes for å bevege roboten trygt til og fra punktene på skråflaten. Eneste forskjell mellom «TouchBoreForsenke» og «VisionBoreForsenke» er Uframen som brukes.

```
1: UFRAME_NUM=6 ;
2: UTOOL_NUM=3 ;
3: J P[5] 10% FINE ;
4: RO[1:Spindel]=ON ;
5: R[1]=0 ;
6: FOR R[1]=71 TO 74 ;
7: CALL BFFLATE ;
8: ENDFOR ;
9: ;
10: UFRAME_NUM=6 ;
11: J P[1:mellompunkt] 10% FINE ;
12: J P[2:mellompunkt] 10% FINE ;
13: FOR R[1]=75 TO 82 ;
14: CALL BFSKRAA ;
15: ENDFOR ;
16: ;
17: UTOOL_NUM=3 ;
18: UFRAME_NUM=6 ;
19: J P[3:mellompunkt] 10% FINE ;
20: J P[4:mellompunkt] 10% FINE ;
21: FOR R[1]=83 TO 86 ;
22: CALL BFFLATE ;
23: ENDFOR ;
24: ;
25: UFRAME_NUM=6 ;
26: J P[5] 10% FINE ;
27: RO[1:Spindel]=OFF ;
28: UFRAME_NUM=0 ;
29: UTOOL_NUM=1 ;
30: J PR[97:HomeUF0] 10% FINE ; [END]
```

TP-kode 2.3.1.1: «TouchBoreForsenke» programmet

Boring og forsenking fra lagret punkt – «BFflate» og «BFskraa»

Program «BFflate» og «BFskraa» beveger roboten til den lagrede posisjonen og utfører boringsprosessen. Boringsprosessen er kun å bevege seg nedover i z-retningen med en spesifikk dybde og hastighet. RO = ON, kommandoen slår på lufttrykket til spindelen, og RO = OFF slår lufttrykket av. Punktene i dette programmet er punkter kun i z-retning, hvor alle andre verdier er lik null. «OVERRIDE»-kommandoen setter hvilken prosent roboten operere med. Det minste det er mulig å skrive inn som fart er 1 mm/sec. For å redusere hastigheten ytterligere må vi redusere den totale prosenten av denne hastigheten. Ved «OVERRIDE» 20% med hastighet på 1 mm/sec, vil roboten bevege seg i en hastighet på 0,2 mm/sec. Den siste 0,5 mm av forsenkingen er hastigheten satt ned til 5% altså 0,05 mm/sec. Dette var for å få en bedre overflate finish. Det vi ser her er at roboten ikke klarer å bevege seg i nøyaktig denne hastigheten under forsenking. Ved å ta tiden på de siste 0,5 mm, ser vi at hastigheten er enda lavere enn dette.

```
1: UFRAME[1]=PR[R[1]] ;
2: UFRAME_NUM=1 ;
3: UTOOL_NUM=3 ;
4: J P[1] 5% FINE ;
5: OVERRIDE=40% ;
6: L PR[89:+5z bor] 10mm/sec FINE ;
7: RO[1:Spindel]=ON ;
8: OVERRIDE=50% ;
9: L PR[91:null] 2mm/sec FINE ;
10: OVERRIDE=20% ;
11: L PR[93:-10,75] 1mm/sec FINE ;
12: OVERRIDE=5% ;
13: L PR[92:dybde] 1mm/sec FINE ;
14: WAIT .70(sec) ;
15: OVERRIDE=40% ;
16: L PR[89:+5z bor] 5mm/sec FINE ;
17: RO[1:Spindel]=OFF ;
18: L P[1] 50mm/sec FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.3.1.2: «BFflate» programmet

```
1: UFRAME[1]=PR[R[1]] ;
2: UFRAME_NUM=1 ;
3: UTOOL_NUM=4 ;
4: J P[1] 5% FINE ;
5: OVERRIDE=40% ;
6: L PR[89:+5z bor] 10mm/sec FINE ;
7: RO[1:Spindel]=ON ;
8: OVERRIDE=50% ;
9: L PR[91:null] 2mm/sec FINE ;
10: OVERRIDE=20% ;
11: L PR[93:-10,75] 1mm/sec FINE ;
12: OVERRIDE=5% ;
13: L PR[94:dybdeskraa] 1mm/sec FINE ;
14: WAIT .70(sec) ;
15: OVERRIDE=40% ;
16: L PR[89:+5z bor] 5mm/sec FINE ;
17: RO[1:Spindel]=OFF ;
18: L P[1] 50mm/sec FINE ;
[END]
```

TP-kode 2.3.1.3: «BFskraa» programmet

3. Bruk av «iRVision»

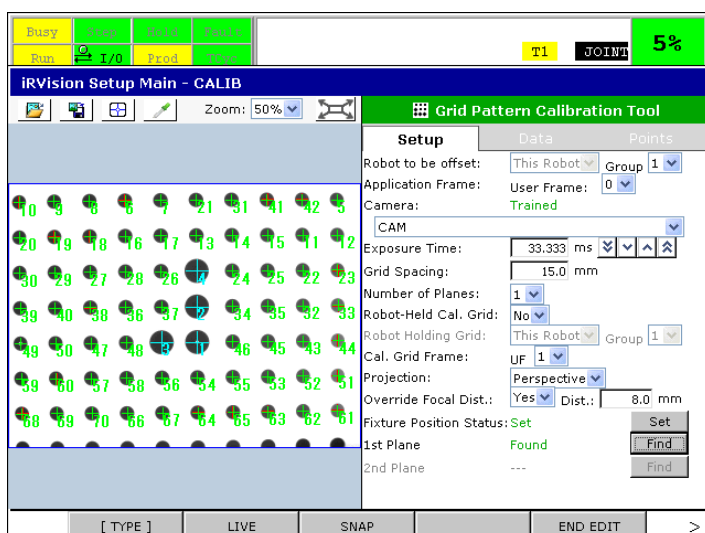
Dette kapitlet vil ta for seg prosessen fra kameraet er installert, til et system som er klart til bruk. Det vil innebære: Kalibrering av kamera, automatisk oppsett av «uframe» og oppsett av prosessen «GPM Locator Tool» og hva det er. Et utdrag av koden vil også dokumenteres.

3.1. Kalibrering av kamera

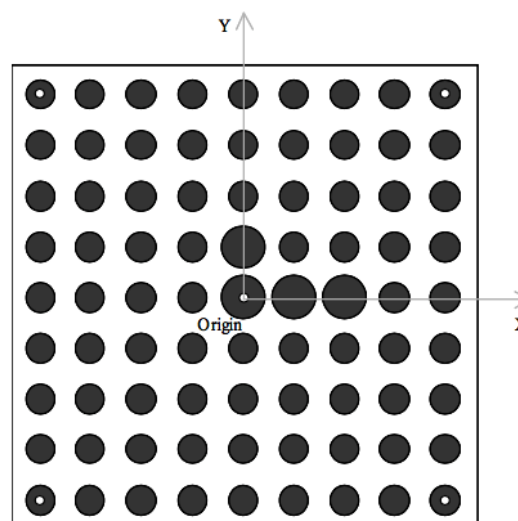
For at kameraet skal kunne gi nøyaktig informasjon om hvor delen den leter etter befinner seg må den kalibreres. Her benytter vi noe som heter «Grid pattern calibration tool». Den tar i bruk en plate med prikker, heretter kalt kalibreringsplaten. Se figur 3.1.2.

En viktig faktor er avstanden mellom hullenes senter. Dette vil variere alt ettersom hvilken linse som blir brukt. I tillegg til hvor høyt over delen kameraet er plassert. Roboten vil selv beregne dette ut ifra kalibreringsplaten. Det medfølger tre kalibreringsplater hvor anstanden mellom senter til senter varierer med 7,5, 11,5 og 15 mm. Dette må plottes under kalibreringsprosessen for å få riktige verdier etter endt kalibrering.

De største prikkene må være innenfor kameraets synsfelt. Det er en del parametere som skal settes for en vellykket kalibrering. Dette del kapitlet vil ta for seg hele prosessen; en beskrivelse av hva de forskjellige parameterne er og hvilke vi bruker.



Figur 3.1.1: Grensesnitt av «Grid Pattern Calibration Tool»[3]



Figur 3.1.2: «Calibration grid plate»[3]

«Robot to be offset»

Spesifiserer hvilken robot som skal benyttes ved å bestemme kontrolleren og gruppe. Vi benytter kun én robot så den står til «This Robot» og gruppe 1.

«Application Frame»

Dette spesifiserer robotens standard «uframe» som vil bli brukt under kalibrering. Punkter som blir sett av kameraet vil være i forhold til «application frame»-origo. Her bruker vi robotens egne «uframe», som har verdi 0.

«Camera»

Velg hvilket kamera som skal brukes. «Trained» verifiserer valget.

«Exposure time»

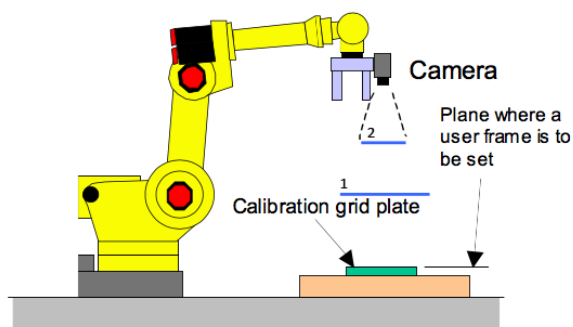
Stiller inn kameraets lukkertid. Den skal stilles slik av hullene på kalibreringsplaten er sorte og tydelige. Vår verdi er satt til 33,333 ms da dette ga gjennomsnittlig best kontrast i bildet.

«Grid spacing»

Her må avstanden mellom prikkene på kalibreringsplaten skrives inn. Platen vi benytter har senteravstand på 7,5 mm, som er den minste platen. Denne blir brukt da avstanden mellom kameralinsen og kalibreringsplaten måtte være nok så lav for å få et tilstrekkelig fokusert bilde av delen som senere skal bearbeides.

«Number of Planes»

Her kan en velge mellom 1- og 2-planskalibrering. Dette innebærer å ta et bilde av kalibreringsplaten i to plan. Siden vi benytter et kamera som sitter på robotarmen bruker vi to plan for å øke presisjonen. For at kalibreringen skal være så nøyaktig som mulig bør det andre planet være minst 150 mm over/under det første planet. Se figur 3.1.3.



Figur 3.1.3: Illustrasjon av kalibreringsoppsett[3]

«Robot-held cal. Grid»

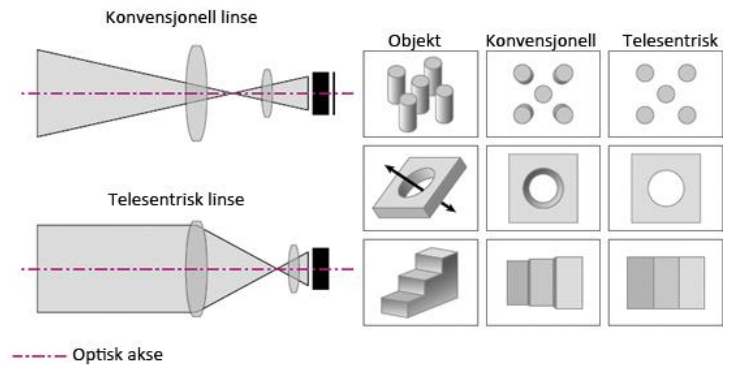
Er kalibreringsplaten festet til roboten? Den ligger på delen som skal bearbeides, derfor settes verdien til «No».

«Cal grid frame»

Dette er kalibreringsplaten sin «uframe». Den inneholder informasjon om platens posisjon og rotasjon. Det kan gjøres automatisk av roboten, eller manuelt ved hjelp av 4 punktsmetoden. Den automatiske metoden er mer nøyaktig enn den manuelle fordi den ikke er avhengig av en TCP. Det eneste som trengs er et robotmontert kamera og kalibreringsplaten. Under i kapittel 3.1.1.1 står det om denne prosessen, og hva slags parametere som må fylles ut.

«Projection»

Her brukes «perspective», med mindre det benyttes en telesentrisk linse. Figur 3.1.4 illustrerer forskjellen på en konvensjonell og telesentrisk linse. Linsen som sitter på kameraet i dag er en konvensjonell linse.



Figur 3.1.4: Konvensjonell vs. telesentrisk linse[6]

«Override focal distance»

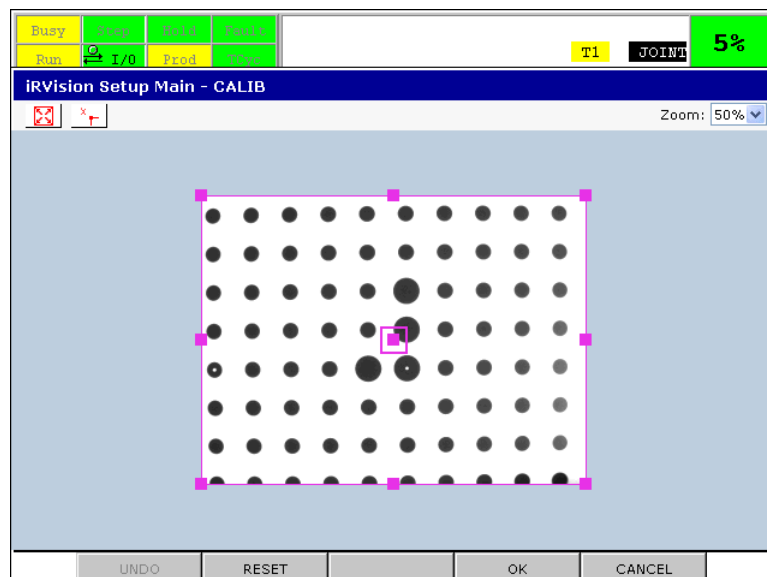
Denne vil som regel være satt til «No». Linsens fokallengde vill automatisk bli kalkulert etter kalibrering. Hvis det benyttes 1-planskalibrering er det en fordel å velge «Yes» og deretter skrive inn fokallengden manuelt.

«Fixture position status»

Når kalibreringsplaten ikke er plassert på robotens arm skal «Set»-knappen trykkes. Basert på data fra den spesifiserte «ramen» vil «iRvision» kalkulere hvor kalibreringsplaten er plassert i forhold til «Application frame».

«Finding the grid pattern»

Siste steg i denne prosessen vil være å markere kalibreringsplaten med en ramme som vist under i figur 3.1.5. Dette gjøres for begge plan. Og som nevnt over skal plan to ligge minst 150 mm over eller under plan 1.

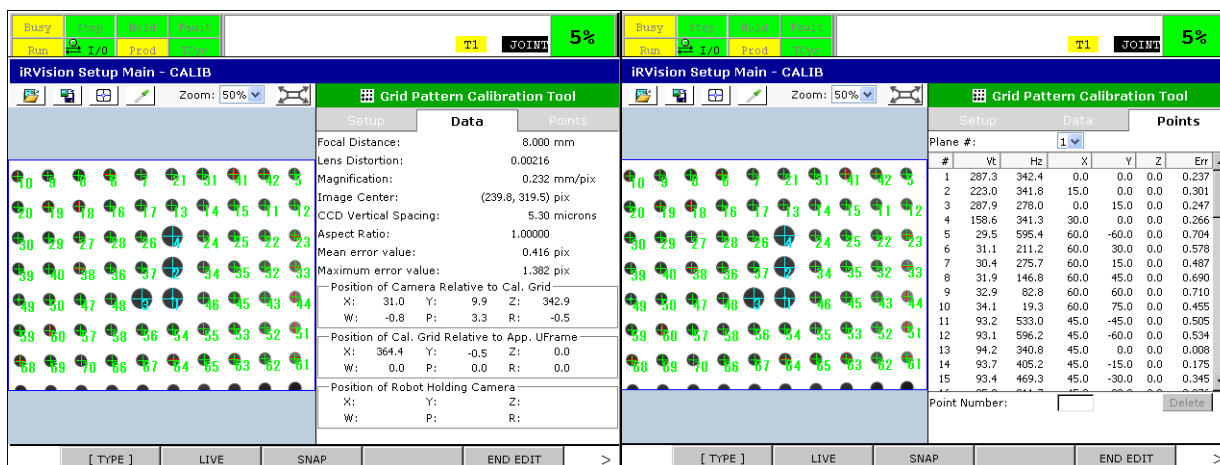


Figur 3.1.5: Making av kalibreringsplaten[3]

Sjekk av kalibreringspunkter og data

Når kalibreringen er fullført kan en se grønne kryss over de sorte prikkene. Det er ett grønt kryss på hver prikk som er funnet. I noen tilfeller kan vi se et rødt kryss like ved det grønne. Dette viser den kalkulerte posisjonen til punktet. Det beste scenarioet vil være å ikke se

noen røde kryss, fordi da vil sett og kalkulert kryss ha samme posisjon.

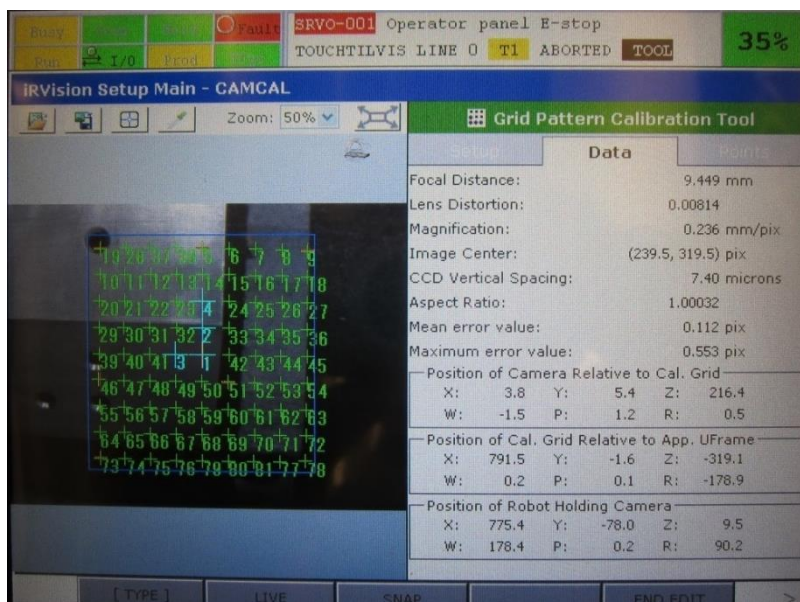


Figur 3.1.6: Kalibreringsdata[3]

Figur 3.1.7: Kalibreringspunkter[3]

Vi velger «Data» for å se hvilket verdier kalibreringen har gitt oss. Her ser vi på tre viktige parametere. «Magnification» forteller pikselenes størrelse per millimeter, «Mean error value», som er gjennomsnittsfeilen kameraet gir oss og «Maximum error value» som er den maksimale feilen mellom det røde og grønne krysset. Denne bør ikke overstige en verdi på 1,000 piksler. Om dette er tilfellet kan punktet slettes under «Points». Dataene vil da bli kalkulert på nytt, og feilen blir mindre.

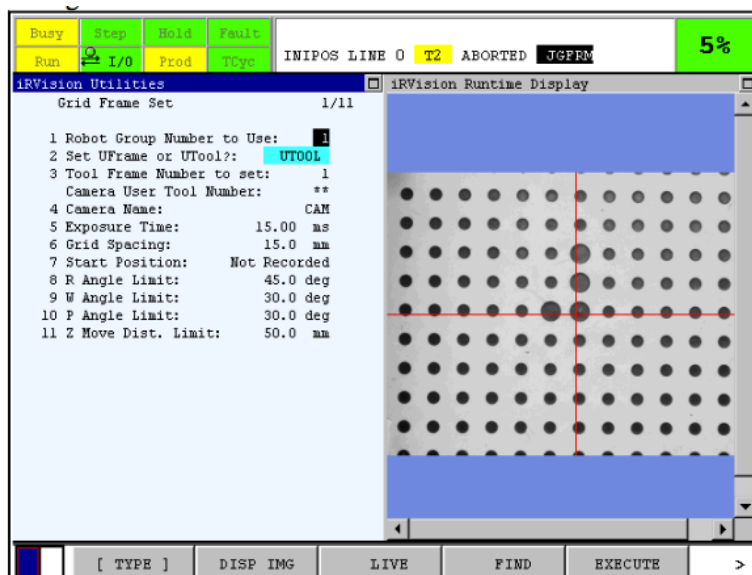
Etter fullført kalibrering endte vi opp med dataene vist i figur 3.1.8. Ved hjelp av «Magnification»-verdien kan vi regne ut at kameraet gir oss en maksimal feil på 0,130 mm og en gjennomsnittlig feil på 0,026 mm. Det er ikke perfekte tall, men det er fullt akseptable verdier i dette tilfellet. Årsaken til at nøyaktigheten til kameraet ikke må være hårfin ligger i «shaft insert»-prosessen som gjennomføres etter at et bilde er tatt. [3]



Figur 3.1.8: Våre kalibreringsdata.

3.1.1. Automatisk oppsett av «uframe»

Figur 3.1.1.1 viser hvordan oppsettet ser ut fra «teach pendanten». Bildet til høyre viser et bilde tatt av kameraet



Figur 3.1.1.1: «Grid Frame Set»[3]

«Robot group number to use»

Her spesifiseres robotens gruppenummer. Vi bruker 1 som er standard. Endring av denne parameteren er kun aktuell om det er flere roboter involvert.

«Set UFrame or UTool?»

Om kalibreringsplaten ligger på et bord eller fikstur skal Uframe brukes. Hvis kalibreringsplater er festet på robotens arm skal Utool velges.

«User frame number to set»

Her bestemmes hvilken Uframe som vil bli overskrevet med nye verdier. Her må en passe på så det ikke velges en Uframe som skal brukes til noe annet.

«Camera name»

Valg av hvilket kamera som benyttes under prosessen.

«Exposure time»

Stiller inn kameraets eksponeringstid/lukkertid. Den skal stilles slik av hullene på kalibreringsplaten er sorte og tydelige.

«Grid spacing»

Her skrives avstanden mellom prikkene på kalibreringsplaten inn.

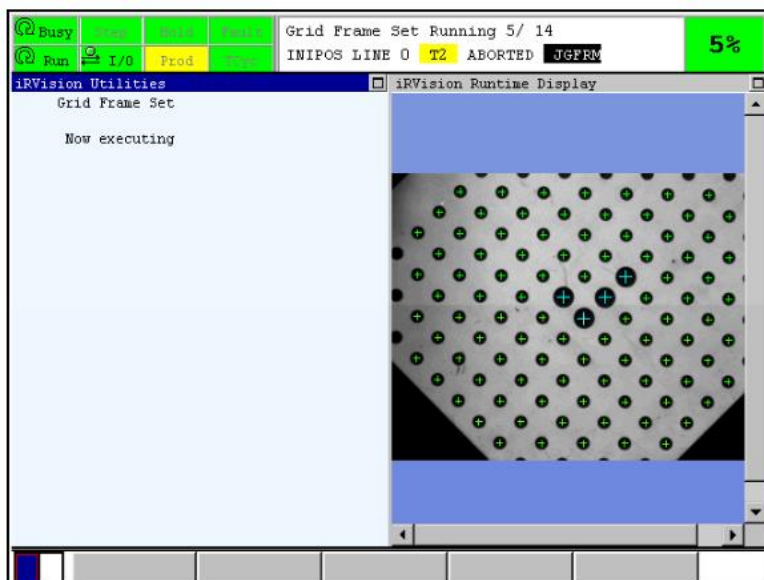
«Start position»

Dette er posisjonen hvor målingen skal starte fra. Roboten skal beveges slik at kameranlinse er vinkelrett på kalibreringsplaten.

«Limits»

Disse parameterne begrenser robotens bevegelse. Det kan være nødvendig å stille disse til mindre verdier for å unngå kollisjoner.

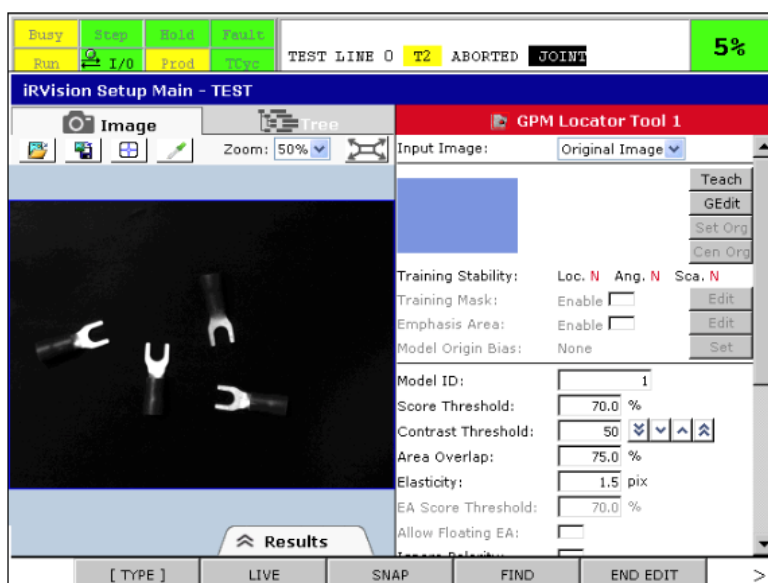
Når de rette parameterne er valgt kan prosessen starte ved å trykke «EXECUTE». Kameraet tar bilder fra forskjellige vinkler, og hele prosessen varer omtrent fem minutter. Et utklipp av prosessen kan sees i figur. 3.1.1.2. [3]



Figur 3.1.1.2: «Calibration frame set»-prosess[3]

3.2. GPM Locator Tool

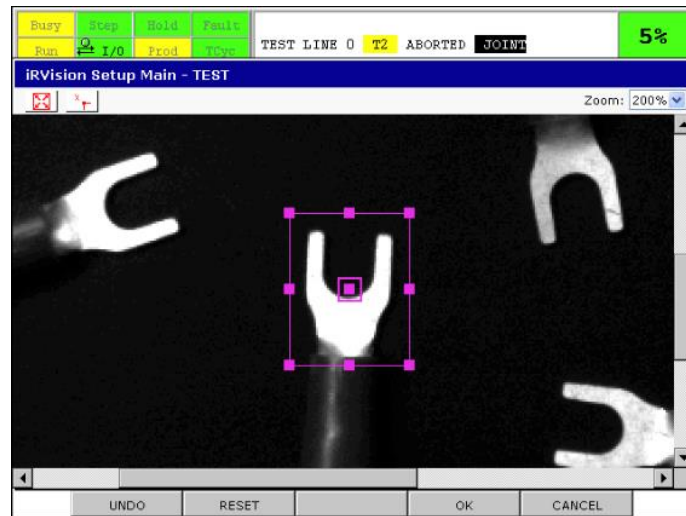
Dette bildebehandlingsverktøyet står sentralt i «iRVision». Den tar ett bilde og ser etter likhetstrekk med et modellbilde. Selve læringsprosessen av en del starter med å ta et bilde med kameraet etterfulgt av en skjerm som vist i figur 3.2.1. Under vises en forklaring av parameterne som har påvirkning på resultatet.



Figur 3.2.1: Grensesnitt «GPM Locator Tool»[3]

«Teach»

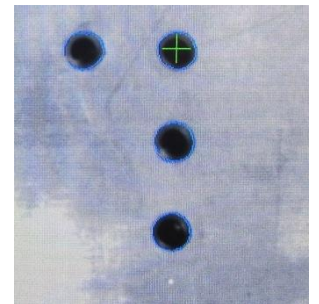
Her begynner læringsprosessen av en spesifikk del, hvor den i første omgang skal markeres som vist i figur 3.2.2.



Figur 3.2.2: Markering av del som læres[3]

«Set Org./Cen Org»

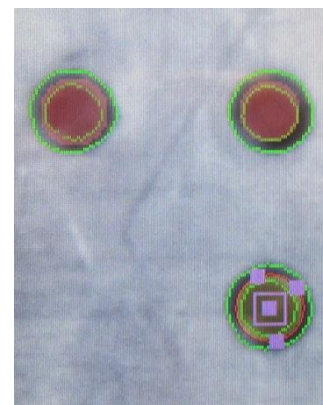
Her kan vi velge å sette origo på delen. Origo kan bestemmes manuelt eller ved å automatisk sette den i delens senter. Vi har valgt å plassere origo (grønt kryss) i et av de forborede hullene, som vist i figur 3.2.3.



Figur 3.2.3: Origo(grønn)

«Training mask»

Om arbeidsstykket har områder som varierer fra del til del kan disse områdene ignoreres. Områdene vil bli sett som røde markeringer. Tvingen som holder delen fast vil være med på bildet. I tillegg til at delen har noe riper og gjenskinnsom vil registreres av kameraet, har vi markert store deler rundt hullene. Se figur 3.2.4. På grunn av gjenskinnet vil det også hende at kameraet ser konturer på innsiden av hull. Derfor har vi valgt å se bort ifra det som er på innsiden, men isteden fokusere på omkretsen. Dette kan sees i figur 3.2.5 hvor innsiden av de to øverste hullene allerede er markert, mens det nederste blir markert.



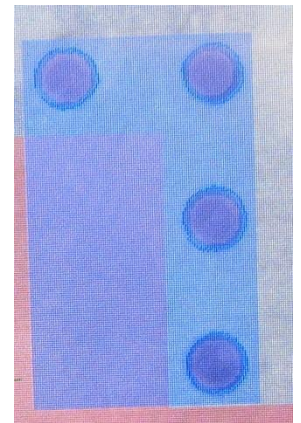
Figur 3.2.5: «Training mask» av hull.



Figur 3.2.4: «Training mask» av hull.

«Emphasis area»

Dette brukes når en delens posisjon ikke kan bestemmes nøyaktig med mindre det er rettet ekstra oppmerksomhet mot et område. Her velger vi å fokusere på de fire hullene sammen. På denne måten vil vi kunne bestemme delens rotasjon mer nøyaktig. Området er markert blått som vist i figur 3.2.6.



Figur 3.2.6: «Emphasis area» rundt hull.

«Model ID»

Benyttes dersom to eller fler «GPM Locator Tool» er i bruk. Hvis det er forskjellige deler, vil hver del ha sin unike modellidentifikasjon.

«Score Threshold»

Når en del blir funnet blir den gitt en «score». 100 betyr at det helt sikkert er den rette delen. Lavere betyr at ikke alle trekkene er funnet. Som standard vil en «score»-terskel være satt til 70. Blir den lavere enn 70 vil delen i praksis ikke være funnet.

«Contrast Threshold»

Som standard er denne satt til 50, og det er den verdien vi benytter. Om en lavere verdi brukes vil en også finne deler i mørke bilder, men søket vil ta lenger tid. Minimumsverdien er en. Bildetrekene med en kontrast lavere enn satt verdi vil bli ignorert. For eksempel kanter som kaster skygge på en del. Vi har ikke endret på denne verdien fordi vi har valgt å se bort ifra store deler av arbeidsstykket.

«Area Overlap»

Denne kan benyttes om en har en samling av like deler på et bord. Verdien satt her bestemmer hvor mye en del har lov å overlape en annen del. Hvis overlappingsverdien er større enn det som er spesifisert, vil funnet av delen med lavest «score» bli fjernet, slik at en kun står igjen med den som fikk høyest. Om overlappingsverdien settes til 100% vil ingen av de registrerte

delene bli fjernet, til tross for at de overlapper. Vi opererer kun med en del, så den står til standard 75%.

«Elasticity»

Spesifiserer en pikselverdi for hvor mye det lærte mønsteret kan forvrenges, men fremdeles bli funnet. En høy verdi gjør det mulig å finne deler som er forvrent, men reduserer nøyaktigheten til delens lokasjon. Vi bruker standard, som er 1,5 piksler.

«EA Score Threshold»

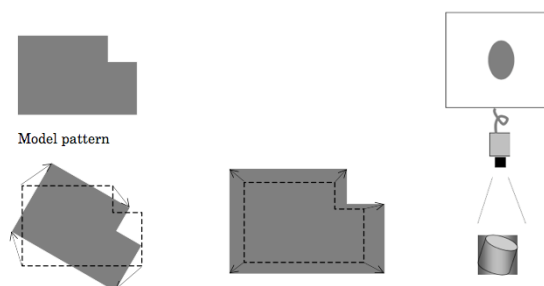
Dette er «score»-terskelen som kun settes på «emphasis area». Som standard er score satt til 70.

«Allow Floating EA»

Lar «Emphasis area» ha en toleranse på to til tre piksler relativt til hele delens posisjon. Hos oss er denne funksjonen avslått.

«DOF- Orientation/Scale/Aspect»

Begrenser område ut ifra hvor mye en del kan være rotert, størrelsen og synsvinkelen. Alt dette er basert på hvordan den lærte delen var plassert foran kameraet.



Figur 3.2.7: Orientering, skalering, og synsvinkel[3]

«Time-out»

Om en leteprosess tar mer tid enn det som er spesifisert, vil letingen blir avsluttet uten at noen eller alle delene er funnet.

«Result plotting mode»

Når et søk er gjennomført vil det vises et bilde. Her kan en velge hvilket funn som skal vises. Vi har valg å vise alle funn for lettere å se om vi har noen feil. Dette vil inneholde origo, trekk som det legges vekt på og ignoreres, samt et rektangulært modellomriss.

Resultater

Når en del er funnet vil det komme opp noen opplysninger om det aktuelle funnet. Tiden det tar å finne delen vil være i millisekunder. Videre er det noe som heter «Row, Column». Dette er origos koordinatverdier, som har enheten piksler. Parameteren «magnification», som kom av kalibreringsprosessen, benyttes da her til å omgjøre enheten til millimeter. Til slutt kan det være greit å se på «score», for å se hvor sikkert kameraet er på at det er den rette delen. Vi ønsker oss så høyt opp mot 100 som mulig, men alt ned til 70 er som sagt akseptabelt. [3]

3.3. Beskrivelse av kode

Får å utføre en «Vision»-prosess er det ikke mange linjer med kode som er nødvendig. Mesteparten av jobben er utført under kalibrering og læring av del. Koden kaller kun på kameraet. For å lettere forstå hva som egentlig skjer, følger det med en liten forklaring av koden.

```
1: UFRAME_NUM=0 ;
2: UTOOL_NUM=1 ;
3: J PR[100:visionposUF0] 10% FINE ;
4: ;
5: VISION RUN_FIND 'CAMPROCESS' ;
6: VISION GET_OFFSET 'CAMPROCESS' VR[1] JMP LBL[2] ;
7: ;
8: PR[50]=VR[1].FOUND_POS[1] ;
9: UFRAME[2]=PR[50] ;
10: ;
11: END ;
12: ;
13: LBL[2] ;
14: UALM[1] ;
[END]
```

TP-kode 3.3.1: *VISJONPROBING*.

1. Gjør UFRAME 0 til aktiv UFRAME
 2. Gjør UTOOL 0 til aktiv UTOOL
 3. Går til forhåndsdefinert punkt hvor den skal ta bilde fra.
 - 4.
 5. Kjører leteprosessen som heter CAMPROCESS.
 6. Bruker CAMPROCESS og henter forskyvningen til delen i forhold til hvordan den var plassert under læringsprosessen. Dersom det viser seg at delen ikke ble funnet, vil koden hoppe frem til linje 13: LBL[2].
 - 7:
 - 8: Lagrer den nye posisjonen til delen i et posisjonsregister(x,y,z,w,p,r).
 - 9: Gir UFRAME 2 verdiene fra den lagrede posisjonen over(x,y,z,w,p,r).
 - 10:
 - 11: Prosessen er vellykket og ferdig.
 - 12:
 - 13: Om delen ikke blir funnet hopper koden fra line 6 og hit.
 - 14: Systemet stanser og feilmelding kommer opp på skjermen.
- [END]

3.4. utfordringer underveis

«iRVision» et avansert kamerasystem som krever presise oppsett for å fungere optimalt. utfordringer vi har hatt er blant annet samspillet mellom kalibreringsprosessen og læringsprosessen til delen. Et utfall var at roboten fant punktet med kameraet, men klarte ikke å sende roboten til den samme posisjonen. En annen utfordring har vært å bestemme delens rotasjon. Selv om origopunktet har blitt funnet, har det hendt at rotasjonsverdiene er feil. Som kjent kjøres en «shaft insert»-prosess etter delen er funnet. Dersom rotasjonsverdien er feil vil denne feilen øke for hvert hull. Denne feilen blir da størst i det hullet lengst unna



KONGSBERG

origo. Det mest unøyaktige utfallet fikk vi da probepinnen ikke traff forsenkningen til hullet lengst unna. Når slike utfordringer oppstår har det som regel noe med kalibreringsprosessen å gjøre. Ikke optimale lysforhold som gjenskinn og skyggekast fra roboten kan også påvirke nøyaktigheten. Feil som at punkter på kalibreringsplaten ikke blir registrert kan oppstå uten forvarsel. Vi måtte re-kalibrere kameraet en del ganger før rotasjonen var optimal. Det viste seg at kalibreringsprosessen ble mer nøyaktig når vi startet med automatisk «Grid frame set» fremfor manuell.

Til tross for at det endelige systemet ikke er avhengig av et kamerasystem er det en effektiv måte å starte probeprosessen på. En fordel er at roboten ikke er avhengig av fysisk kontakt for å bestemme arbeidsdelens posisjon og rotasjon. Så lenge den er innenfor kameraets perspektiv vil eventuell feil aldri være større enn at «shaft insert»-funksjonen kan utføres. Skulle det for eksempel oppstå en kollisjon på grunn av feil, unngår vi da potensielle skader på delen, roboten og annet utstyr.

4. Kraftsensor

4.1. Bruksområder kraftsensor

For å oppnå resultater som er innenfor våre toleranser vil vi bruke kraftsensoren til begge operasjonene; probing og boring/forsenking. Kraftsensoren vil også bli brukt til å verifisere at probingen har probet hullene riktig før vi begynner med boring/forsenking. Det vil bli brukt innebygde funksjoner fra kraftsensoren til operasjonene. Dette vil være «constant push» og «shaft insert», som er beskrevet i kapittel 4.3 Probing med «Shaft Insert».



Figur 4.1.1: Kraftsensor

4.1.1. Probing

Til probing av delen vil vi bruke «shaft insert»-funksjonen, hvor man først vil bruke enten kontaktprobing eller «iRVision» for å lokalisere delen. Vi har testet probing med både de 3D-printede delene og med de faktiske prototypedelene med suksess. Vi har to forskjellige måter å probe delene på. Den første er at vi bruker «iRVision» til å lokalisere delens posisjon, før vi bruker kraftsensorens innebygde funksjoner til å lokalisere alle hullene og posisjonene til disse. Den andre probemetoden går ut på at hele operasjonen bruker kraftsensoren, hvor vi først lokaliserer delen ved hjelp av kontakt/berøring (kontaktprobing) for så å lokalisere hullene med kraftsensorens funksjoner. Forskjellen med disse to prosessene er kun lokaliseringen av selve delen og hvordan vi setter et nullpunkt. På den resterende delen av probingen vil kraftsensoren bli brukt på samme måte uansett hvilken av disse prosessene man velger å bruke.

4.1.2. Verifisering av hullets plassering

Under boring og forsenkingsprosessen, vil vi bruke kraftsensoren for å verifisere at vi treffer hullet riktig om nødvendig. Probing av delen skal være nok for å vite hvor hullene nøyaktig er plassert, men for å verifisere at hullene fortsatt er i nøyaktig samme posisjon som under probingen, vil det bli utført en verifiseringstest med kraftsensoren før boringen starter. For å verifisere at man treffer hullet riktig under boring og forsenkning vil vi la roboten bringe tuppen av boret ned til nullpunktet på flaten. Dersom kraftsensoren føler en kraft når den er ved flatens nullpunkt vil den vite at den bommet på hullet. Vi vil også se om det er mulig å bringe boret ned i for-forsenkningen for da å se hvor nøyaktig sentrert boret vil være i hullet. Da vil det komme opp en feilmelding på «Teach Pendant»-skjermen om at den har bommet på hullet.

4.1.3. Boring og forsening

Ved boring og forsenkingsprosessen finnes det flere alternativer vi kan bruke, men vi må gå nøyere inn i disse funksjonene for å se hva som blir nøyaktig nok i forhold til kravene. To forskjellige metoder for boring og forsening ved hjelp av kraftsensoren er blitt vurdert. Den ene metoden er å bruke «constant push» hvor den da vil bore og forsene med samme kraft gjennom prosessen. Den andre funksjonen er «shaft insert». Dette er en funksjon som egentlig er ment for noe helt annet, men dersom vi kan manipulere denne funksjonen er det mulig å også bruke den til dette formålet. Den tredje og siste metoden vi har tenkt å bruke er ved regn programmering på robotarmen og dens bane.

4.2. Viktige innstillinger på kraftsensoren

For at kraftsensoren skal fungere optimalt er det flere elementer som må på plass. Det er viktig med nøyaktighet ved kalibrering av disse elementene slik at feilmarginen blir minimal. Viktige kalibreringer som må gjøres på kraftsensoren er vekten av verktøyet og dets massesenter. Det er også viktig å utføre en «auto tuning» på kraftsensoren. Begge disse to kalibreringene vil gjøre at kraftsensoren vet hvilke krefter som virker på den fra før, og hvilken reaksjonsevne den skal ha på ytre krefter.

4.2.1. «Tool Weight and Center of Gravity»

Dette programmet finner vekten til verktøyet og verktøyets massesentrum. Det er viktig å finne disse tingene slik at man vet hvilke krefter som virker på verktøyet under operasjon, siden krefter vil være et viktig element her. For å finne dette må man finne tre posisjoner til robotarmen som den kan forflytte seg gjennom. Det er viktig at disse posisjonene er tre forskjellige av totalt fem alternativer for at kalkuleringen skal bli nøyaktig, posisjonene er vist i tabell 4.2.1.1. Ved å flytte robotarmen mellom disse tre posisjonene vil den regne ut både vekten på verktøyet og massesentrumet. Dersom man ikke er nøyaktig med å sette robotarmen eksakt i posisjonene fra tabell 4.2.1.1 vil kraftsensoren kunne beregne felt vekt på verktøyet og dens massesentrum. Dersom dette skjer vil kraftsensoren kompensere for feil krefter, og vil gi kraftsensoren feil reaksjonsevne på ytre krefter. [4]

Tabell 4.2.1.1: Posisjoner til roboten for utførelse av «Tool Weight and Center of Gravity» [4]

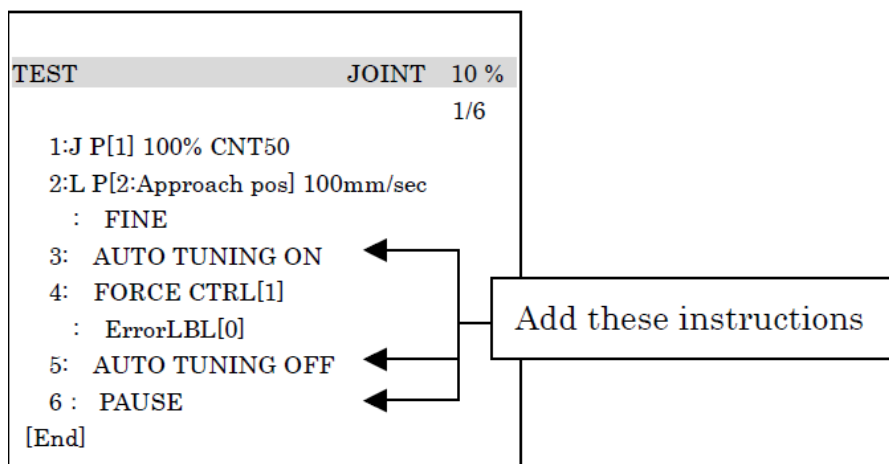
Position number	Joint(J1,J2,J3,J4,J5,J6) (Unit: deg)	Orientation of robot flange
1	0, 0, 0, 0, -90, 0	-Z axis in world frame coordinate (Downward)
2	0, 0, 0, 0, 0, 0	+X axis in world frame coordinate (Forward)
3	0, 0, 0, 0, 90, 0	+Z axis in world frame coordinate (Upward)
4	0, 0, 0, 90, -90, 0	-Y axis in world frame coordinate (Horizontaly)
5	0, 0, 0, -90, -90, 0	+Y axis in world frame coordinate (Horizontaly)

4.2.2. «Force Control Gain Auto Tuning»

«Force Control Gain» fastsetter robotens reaksjonsevne til krefter fra utsiden når «Force Control» blir brukt. Ved å bruke «auto tuning» får man et mer nøyaktig resultat om hvilke krefter som er tilført verktøyet enn man ville gjort dersom denne funksjonen ikke blir brukt. Når «auto tuningen» er gjort vet kraftsensoren hvordan krefter den skal gi reaksjon på, da den da vil gi en reaksjon til krefter som er større enn de som normalt virker på verktøyet. Robotens reaksjonsevne avhenger også av stillingen til roboten og fastheten til verktøyet. Reaksjonsevnen på krefter som blir tilført roboten er viktig for oss, derfor bruker vi denne funksjonen for å optimalisere bruken av kraftsensoren.

For å kjøre «Force Control Gain Auto Tuning» må man gå gjennom noen steg. Først må man lage en kort kode hvor man gir en posisjon til roboten. Etter dette går man inn i «shaft insert»-funksjonen (i vårt tilfelle) og setter funksjonen «F.Ctrl. Gain Auto Modify» til ON. Deretter legger man inn tre linjer til med kode som vist i figur 4.2.2.1 som er i tillegg til den koden man først la inn. Når dette er gjort kan man kjøre programmet. Dersom den klarer å kjøre gjennom hele programmet uten en alarmkode eller feilmelding vil «auto tuningen» være vellykket når «Prev. Result» har betegningen «No Change». Hvis «Prev. Result» ikke blir «No Change» må

man kjøre denne koden om igjen til man får «No Change». Når dette er blitt suksess vil «F.Ctrl. Gain Auto Modify» gå til OFF, og skal stå som OFF videre. [4]



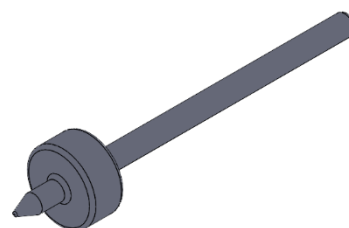
Figur 4.2.2.1: Kode til Force Control Gain Auto Tuning.[4]

4.3. Probing med «Shaft Insert»

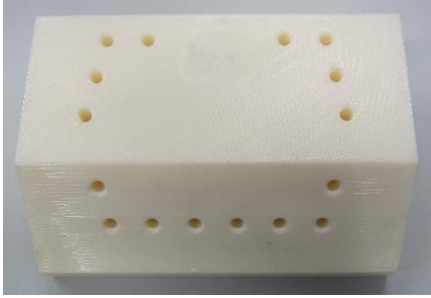
Som nevnt i kapittel 4.1.1. skal «shaft insert»-funksjonen bli brukt under probeprosessen. Vi har to mulige probeprosesser hvor den ene består av at vi bruker «iRVision» til å lokalisere delen mens den andre bruker kontakt for å lokalisere delen. Disse to probemetodene har til felles at begge skal bruke «shaft insert» på hullene.

4.3.1. Test av probing med 3D-printede deler

For å starte med utforsking av probeprosessen så tidlig som mulig laget vi noen 3D-printede deler for å kunne øve oss på. Disse delene var da veldig bøyelige i forhold til de ekte testdelene vi har laget. For kraftsensoren ble de 3D-printede delene brukt til å utforske «shaft insert» funksjonen for å se om den vil kunne brukes til vårt formål eller ikke. I figur 4.3.1.1 kan man se den 3D-printede probepinnen som ble brukt til denne testingen. Siden plast er et bløtt materiale viste vi at vi ikke ville få en helt riktig «shaft insert», da denne probepinnen enkelt kan få en bøyning ved påført kraft slik at den vil gli inn i hullet istedenfor å bli «shaft insertet» i hullet.



Figur 4.3.1.1: 3D-printet probepinne



Figur 4.3.1.2: 3D-printet testdel

Vi prøvde ikke ut kontaktprobing med de 3D-printede delene da vi viste at probepinnen ville bøye seg slik at resultatet ville bli for unøyaktig. Det ville her vært vanskelig å enten verifisere at kontaktprobingen slik vi tenkte den ville fungere eller ikke, da den mest sannsynlig ikke ville truffet innenfor forsenkningen av hullet på den 3D-printede delen. Grunnen for dette er at på den 3D-printede delen, figur 4.3.1.2, er det ikke laget en stor nok forsenkning til å treffe innenfor dette området den vil ha å treffe innenfor på den virkelige testdelen. Forsenkningen

på den ekte testdelen er større da vi på den har brukt like verdier som det er på forsenkningen til flystrukturen som skal bores og forsenkes på senere.

4.3.2. «Shaft Insert» med «iRVision»

«shaft insert» funksjonen gjør det mulig å føre probepinnen inn i det forborede hullet. Dette gjøres etter man har brukt «iRVision» til å lokalisere testdelen ved å knipse et bilde av den. «Shaft insert» gjør det også mulig at man kan bomme på selve hullet, men da må den treffe innenfor for-forsenkningen. Dersom denne er truffet vil probepinnen «skli» ned til hullet. Etter probepinnen er suksessfullt plassert i hullet, vil «shaft insert» brukes for så å rette opp probepinnen slik at den er 90° på hullet. Denne prosessen vil bli utført på alle hullene slik at vi også får den rette høyden på alle hullene, da dette kan variere noe på hvert hull siden delene blir malt med en grunning som kan variere i tykkelse. Da vet vi at når vi senere skal bore/forsenke vil dette være med rett vinkel og høyde på alle hullene.

4.3.3. «Shaft Insert» med kontaktprobing

Under kontaktprobing vil vi bruke «constant push» funksjonen fra kraftsensoren for å vite når vi får kontakt med delen. «constant push» vil da fungere på den måten at når kraftsensoren føler en spesifisert kraft som vi definerer vil den godkjenne/lagre dette punktet å gå videre. Denne prosessen vil utføres på fire forskjellige punkter på testdelen, en gang på hver kortside og to ganger på den ene langsiden. Når disse punktene er lagret vil programmet som inneholder enkle mattefunksjoner selv kunne regne ut hvor nullpunktet er (origo). Se kapittel 2.1 Kontaktprobing for mer informasjon om hvordan mattefunksjonene er utledet og programmert. For å få «constant push»-funksjonen til å ikke utføre en «constant push», men heller bare oppnå kontakt er at vi har satt «pushing time» til å være null. Når vi gjør dette vil kraftsensoren slutte med «constant push»-funksjonen med en gang den oppnår kontakt med testdelen som er større enn 5 N, som er verdien vi har satt for at kraftsensoren skal registrere kontakt for å begynne å trykke. Begrunnelser for de innstillingene vi har gjort på «constant push» til kontaktprobing og finnes under kapittel 4.3.6. observasjoner, mens i kapittel 1.3.4. vises innstillingene vi har brukt.

4.3.4. «Constant Push» innstillinger til lokalisering av delen

Force Ctrl/Basic		1/12
Schedule [2]		G:1 F:1 S:1
1 Function	:	Constant Push
2 Comment	:	[Constant Push]
3 Pushing Direction		User: -Y
4 Contact F Threshold	:	5.00 N
5 Approach Velocity	:	10.00 mm/s
6 User Frame No.		UF: 0
7 Tool Frame No.		TF: 1
8 Pushing Force	:	1.00 N
9 Approach Dist. Limit	:	2000.00 mm
10 Pushing Time	:	0.00 sec

Figur 4.3.4.1: Innstillinger «Constant Push»

4.3.5. Forklaring på «Constant Push» funksjonens «Basic» innstillinger

Til «constant push» i dette tilfellet trenger vi kun å bruke «Basic» innstillingene, derfor vil vi kun kort forklare hva disse betyr da dette er enkle innstillinger å forstå. Vi har laget tre «constant push» funksjoner som er identiske, eneste forskjellen her vil være retningen den skal oppnå kontakt i.

1 Function

Her velger man hvilken funksjon som skal brukes. I vårt tilfelle vil det her være «constant push».

2 Comment

Her kan man lage en kommentar for å identifisere denne spesifikke «Schedule Data». Her har vi også «constant push».

3 Pushing Direction

Definerer hvilken retning en skal trykke med probepinnen i forhold til «User Frame» av «User Frame No.». For retningen den skal trykke har vi satt en for -Y, X og Y.

4 Contact F Threshold

Dette er terskelen for å dømme kontakt med objektet som skal berøres. Etter kontakt vil «pushing» begynne. Denne må ha en relativt lav verdi, samtidig som den kan være litt høyere da den automatisk vil føle en kraft opp til 12 - 20 N da den treffer delen i «blinde». Vi satt den derfor litt lavere enn 12 N for å ha en margin og gå på. Den ble da 5 N.

5 Approach Velocity

Dette er farten som blir brukt til man oppnår kontakt med objektet. Viktig at denne farten er tilpasset formålet «constant push» skal brukes til, da den vil føle kraften i «blinde». Denne er satt til 10 mm/s.

6 User Frame No.

User Frame nummeret som blir brukt ved «Force Control». «User Frame» UF: 0.

7 Tool Frame No.

Tool Frame nummeret som blir brukt ved «Force Control». «Tool Frame» TF: 1.

8 Pushing Force

Dette er hvor stor kraft man skal trykke med i «pushing direction». Til vår bruk av denne funksjonen kan vi sette denne kraften lav, da vi kun bruker den for å registrere kontakt. Denne har vi satt til 1 N, da den bare skal oppnå en kontakt.

9 Approach Dist. Limit

Her spesifiserer man en distanse robotarmen kan bevege seg når man bruker «Force Control». Dersom man ikke treffer testdelen innen denne distansen vil en alarm/feilmelding komme opp. Denne er satt til 2000 mm. Grunnen for dette er for at den skal ha stor rekkevidde til denne funksjonen senere kan brukes til den virkelige delen.

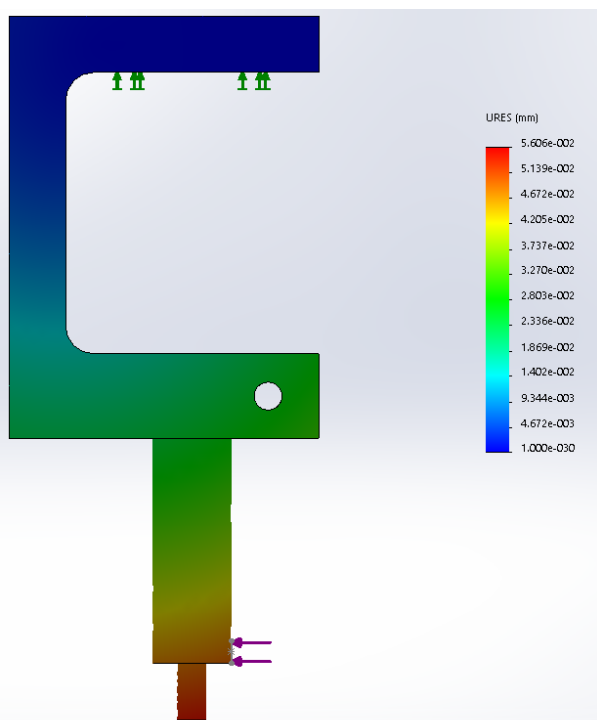
10 Pushing Time

Dette er tiden «constant push» skal utføres. Når denne tiden har løpt ut etter kontakt med delen vil «constant push» være ferdig. Siden vi ikke skal bruke «constant push» til å trykke med over tid, men bare for å oppnå kontakt, kan vi sette denne verdien til null. [4]

4.3.6. Observasjoner gjort ved bruk av «Constant Push» til kontaktprobing

For å bruke denne metoden til å lokalisere delens posisjon er det viktig at kraften som blir brukt ikke er for høy. Samtidig føler kraftsensoren en liten kraft fra ytre krefter, på grunn av dette må verdien være noe høyere enn disse kreftene slik at vi alltid vil være sikre på at kraften den føler faktisk er fra kontakt med testdelen. Vi kan også stille på farten robotarmen skal ha på vei inn mot testdelen. Denne farten, «approach velocity», vil gjøre utslag for kraften probepinnen vil få ved kontakt med testdelen. På grunn av dette, kan ikke farten være for høy, men den bør heller ikke være for lav da kraften ikke vil oppnå den kraften som er satt som «Contact F Threshold» noe den er nødt til for at kraftsensoren skal forstå at den har berørt testdelen.

Når vi undersøkte hvor stor kraft kraftsensoren registrerte når den fikk en berøring langs testdelens sidekanter følte den en kraft mellom 12 N og 20 N. Siden den vil føle en kraft

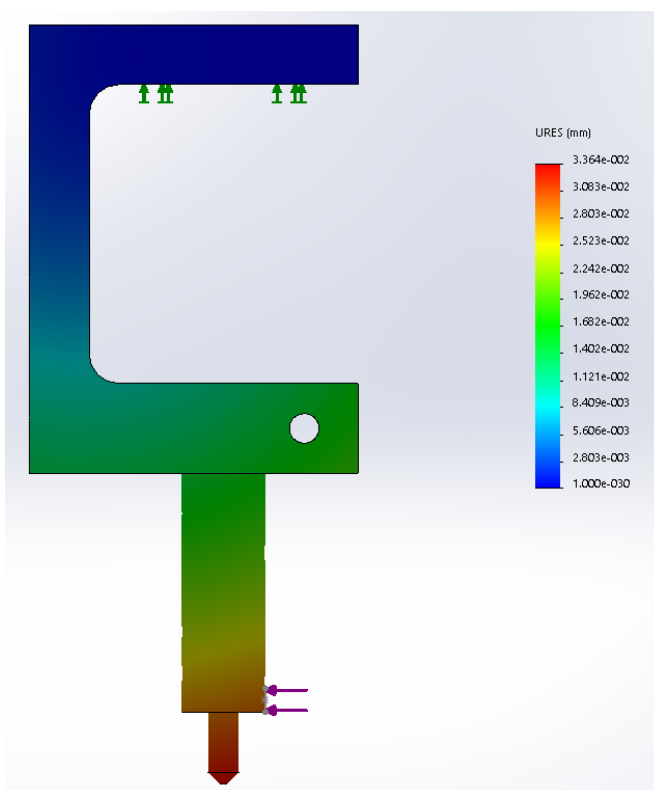


Figur 4.3.6.1: Bøyning på probepinne ved 20 N

mellom disse verdiene er det ingen grunn for å sette «Contact F Threshold» til en så lav kraft som mulig. Vi fant ut at en kraft på 5 N ville være greit i dette tilfellet. På denne måten har vi en god margin på begge sider av skalaen, da 1 N ville vært for lite for å være sikker på at det er den faktiske testdelen den berøre. 5 N er nok kraft til at ytre krefter aldri vil være nok til at kraftsensoren skal føle en «falsk» berøring, samtidig som det er lite nok til at den alltid vil føle en berøring med en gang den berører testdelen. Vi satte farten til å være på 10 mm/s av samme årsaker. Dersom vi hadde satt farten til å være mye lavere hadde ytre krefter på multiverktøyet spilt en større rolle. Ved å sette denne farten vet vi at den alltid vil føle stor nok kraft til å registrere en berøring suksessfullt, samtidig som at den ikke vil bruke unødvendig lang tid for å utføre kontaktprobestepsen.

Vi har også satt at «Approach Dist. Limit» er på 2000 mm slik at den alltid vil kunne berøre den «ekte» delens sidekanter og ikke bare vår testdels sidekanter.

Ved hjelp av en FEM-analyse har vi undersøkt hvor mye tuppen av probepinnen vil bevege seg maksimalt ved en berøring på 12 N og 20 N. Ved hjelp av dette kan vi finne ut hvor mye den maksimale feilen av kontaktprobingen vil utgjøre. Utregningene for dette ligger i vedlegg 4. Ved 12 N vil vi kunne ha en maksimal bøyning på 0,0364 mm på tupp en av probepinnen (figur 4.3.6.2), mens ved 20 N vil den ha en maksimal bøyning på 0,0560 mm som vist i figur 4.3.6.1. Disse verdiene vil gi en maksimal feil på 0,025 mm ved kontaktprobing som vist i vedlegg 4. Når vi legger denne feilen sammen med robotens maksimale feil på 0,05 mm kommer vi opp i en maksimal feil på 0,075 mm ved å bruke kontaktprobing. Dette er langt innenfor den maksimale feilen vi kan ha som er på 5,5184 mm.



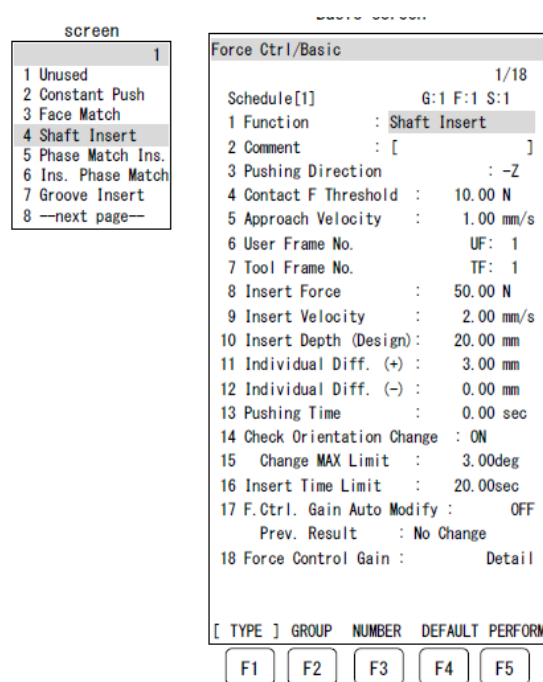
Figur 4.3.6.2: Bøyning på probepinne ved 12 N

Det er viktig å påpeke at dersom probepinnen får en like stor bøyning på alle de fire punktene vil ikke dette gi noe utslag på hvor nullpunktet (origopunktet) blir satt. Feilen vil komme dersom probepinnen får forskjellige verdier på bøyningen ved de fire kontaktpunktene. Dersom det oppstår en feil vil denne bli større jo lengre avstand fra punktet du skal sette origopunktet. Som nevnt tidligere ligger vi innenfor kravene for at «shaft insert» skal bli suksessfull, ved en maksimal feil på kontaktprobingen.

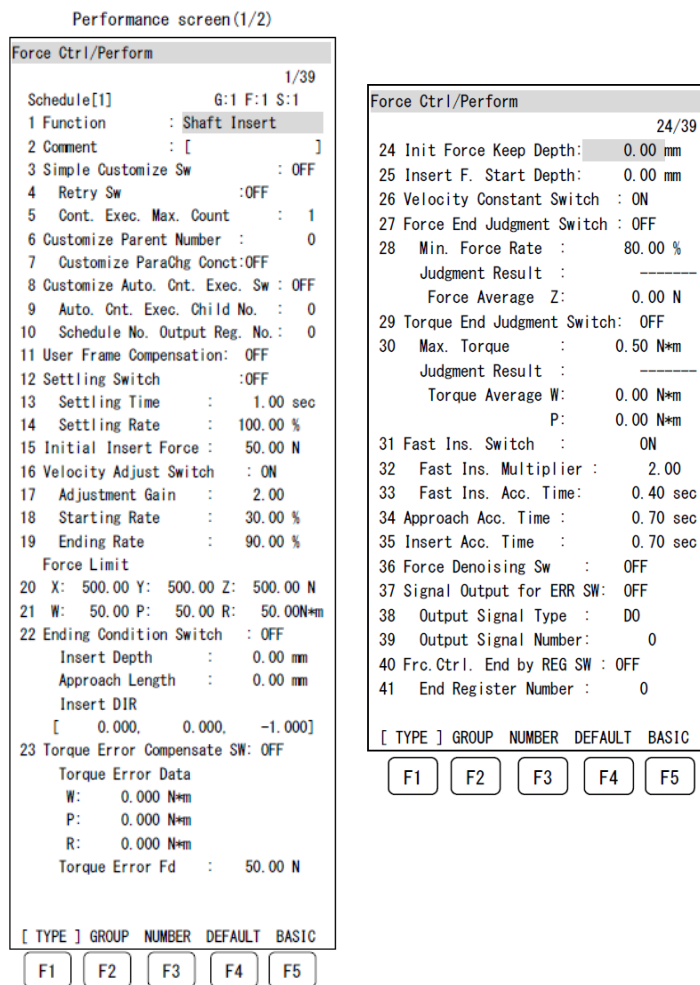
4.3.7. «Shaft Insert» innstillinger

Det er en rekke forskjellige innstillinger og parametere på «shaft insert» funksjonen som må stilles inn for å oppnå en suksessfull bruk av funksjonen. Disse innstillingene vil variere ut ifra hva man skal bruke funksjonene til, derfor er det viktig å få stilt inn de rette innstillingene/funksjonene på «shaft insert» til probingen.

Når man går inn på «shaft insert» funksjonen kommer det opp et vindu som vist i figur 4.3.7.1. Dette vinduet inneholder «Basic» funksjoner. Bilde representerer ikke våre verdier. Disse kan sees i figur 4.3.8.1. Det finnes også et vindu som inneholder «Perform» funksjoner til «shaft insert» hvor man kan ta i bruk andre funksjoner som er innebygd i «shaft insert»-funksjonen. Se figur 4.3.7.2.



Figur 4.3.7.1: «Shaft Insert» innstillinger generell

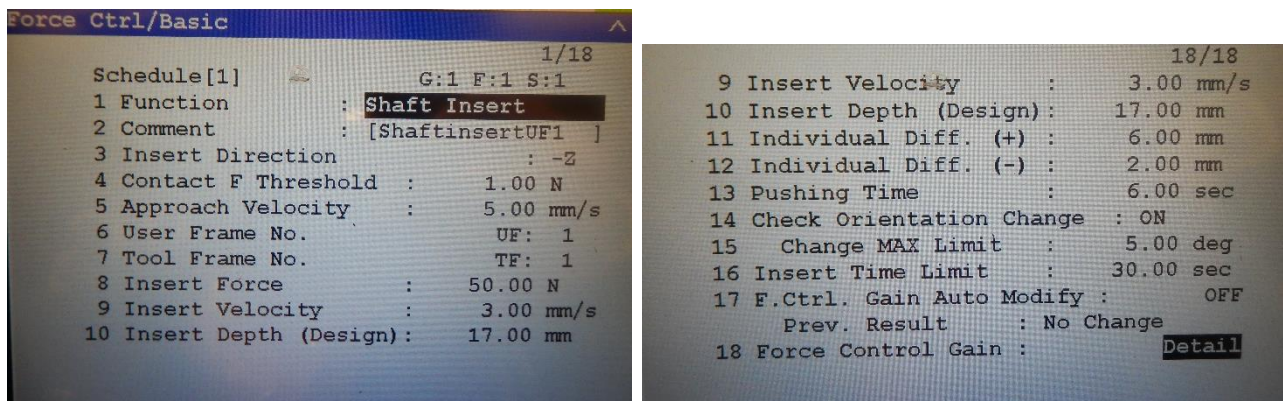


Figur 4.3.7.2: «Shaft Insert» perform innstillinger

På «Perform» Innstillingene finnes det en del valgfrie innstillinger som man kan ta i bruk dersom det er behov for dette.

4.3.8. «Shaft Insert» innstillinger til probing

De «shaft insert» innstillingene som er brukt for vår probeprosess og dens verdier vil bli vist i figur 4.3.8.1 under. Til vår probeprosess trenger vi kun «Basic» innstillinger og vil derfor bare bruke disse.



Figur 4.3.8.1: Våre «Shaft Insert» innstillinger

4.3.9. Forklaringer på «Shaft Insert» innstillinger «Basic»

Fra figurene over er det ikke ved første øyekast lett og se hva alle innstillingene betyr. Under kommer det en kort forklaring på alle funksjonene.

1 Function

Her velger man hvilken funksjon som skal brukes. I vårt tilfelle vil det her være «shaft insert».

2 Comment

Her kan man lage en kommentar for å identifisere denne spesifikke «Schedule Data». I vårt tilfelle «ShaftinertUF1».

3 Insert Direction

Definerer hvilken innsetningsretning TCP har i forhold til «User Frame» av «User Frame No.». Her har vi «-Z» som innsetningsretning.

4 Contact F Threshold

Dette er terskelen for å dømme kontakt med objektet som skal berøres. Etter kontakt vil innsetningen av TCP begynne. Det er viktig at denne verdien er lav slik at vi kraftsensoren forstår at den skal begynne en «shaft insert». På «Contact F Threshold» har vi 1 N, da dette er en verdi som skal sette i gang «shaft insert» på hullene. Denne verdien må derfor være lav.

5 Approach Velocity

Dette er farten som blir brukt til man oppnår kontakt med objektet. Denne farten vil være med på å sikre at roboten går roligere ned mot testdelen når den nærmer seg. Dette er viktig da den skal få kontakt med testdelen i «blinde». Vi har satt denne verdien til å være 5mm/s, noe som viser seg å være en bra verdi.

6 User Frame No.

User Frame nummeret som blir brukt ved «Force Control». Vi bruker «User Frame» UF: 1.

7 Tool Frame No.

Tool Frame nummeret som blir brukt ved «Force Control». Vi bruker «tool frame» TF: 1.

8 Insert Force

Kraften man ønsker å oppnå i innsetningsretningen (Engelsk: Insert direction). Denne kraften har en sammenheng med «insert velocity» for resultatet av «shaft insert». «Insert Force» har vi satt til 50 N, da dette gir et mer nøyaktig resultat av denne funksjonen, enn om man bruker en mindre kraft.

9 Insert Velocity

Farten man ønsker å ha under innsetning i innsetningsretningen. Som nevnt over, denne har en sammenheng med «Insert Force». Denne har vi satt til 3 mm/s.

10 Insert Depth (Design)

Dybden man ønsker fra innsetningens (Engelsk: Insertion) startpunkt til innsetningens slutt punkt. Denne dybden er direkte ned i z-retning, det vil si at dersom roboten står noe skeivt i forhold til testdelen vil dybden variere noe. Da er det viktig å sette de to neste parameterne slik at man kompenserer for den eventuelle feilen mellom roboten og delen. Vi har for denne satt 17 mm.

11 Individual Diff. (+)

Dette er den tillatte positive toleransen til «insert depth (Design)» som følger av differanse på delens høyde. Det vil si, den ekstra distansen probepinnen kan føres ned for å fortsatt være innenfor kravene for en suksessfull «shaft insert». Her har vi 6 mm, det vil si at probepinnen kan gå 6 mm lengre ned i delen om nødvendig.

12 Individual Diff. (-)

Dette er den tillatte negative toleransen til «insert depth (Design)» som følger av differanse på delens høyde. Hvis dybden på innsetningen overstiger en verdi av («Insert Depth (Design)» - «Individual Diff. (-)» + «Individual Diff. (+)»), så blir en alarm aktivert. Det vil si distansen probepinnen kan være over den satte verdien på «insert depth» den kan være for å få en suksessfull «shaft insert». Her har vi satt 2 mm, det vil si den kan stoppe 2 mm høyere enn 17 mm dersom probepinnen da har oppnådd optimal dybde.

13 Pushing Time

«pushing time» starter etter systemet antar at innsetningen har blitt suksessfullt utført. De individuelle differansene i punkt 11 og 12 blir kompensert gjennom dette trykket (Engelsk: Push). Det er viktig at «pushing time» blir satt til en stor nok verdi slik at den rekker å trykke seg ned til overflaten av delen slik at vi får en riktig «shaft insert». Dersom «pushing time» er satt for lavt, kan vi risikere at «shaft insert» blir suksessfull selv om probepinnen ikke er ført langt nok ned. «pushing time» er satt til 6 sekunder, da vil den ha nok tid til å føre probepinnen ned til overflaten selv om funksjonen blir godkjent før den normalt ville truffet overflaten.

14 Check Orientation Change

Dette er en ON/OFF bryter man kan bruke for å sjekke hvordan retningen har blitt forandret ved innsetningen i forhold til når punktene ble satt i programmeringen. Denne er satt til ON.

15 Change MAX Limit

Hvis punkt 14 «Check Orientation Change» er ON, bruker man denne innstillingen til å sette den maksimale forandringen i retning den kan være i forhold til «Teaching». Maksimal vinkelforandring den kan ha, har vi satt til fem grader fra slik vi har lært roboten å gå inn mot delen.

16 Insert time MAX Limit

Dette er den maksimale tiden en innsetning kan ta fra start til slutt. Dersom innsetningen ikke er fullført med suksess innen tiden satt her etter man har oppnådd kontakt med objektet og innsetningen begynner, vil man få en alarmbeskjed på skjermen. Denne har vi satt til 30 sekunder.

17 F.Ctrl. Gain Auto Modify

Denne er som beskrevet i kapittel 4.2.2. hvor man setter på en automatisk «Force Control Gain Tuning». Vi har kjørt denne funksjonen, etter å ha fått denne godkjent vil den automatisk være OFF.

18 Force Control Gain

Denne funksjonen bytter skjermens display til skjermen for «Force Control Gain Setting», her kan man bytte impedansparametere. Her har vi fått «No Change». Når man får «No Change» vil det si at den har utført en vellykket «F.Ctrl. Gain Auto Modify». [4]

4.3.10. Observasjoner under parameter tuning ved bruk av «Shaft Insert»

For å utføre «shaft insert» suksessfullt er det noe parametere som er spesielt viktig å tenke på. Dette er parametere som «Insert Depth», «Individual Diff. (+) », «Individual Diff. (-)», «Insert Force» og «Contact F Threshold». Siden det kan være noe forskjell i høyden på hullene på grunn av malingen på den ekte delen vil det være viktig å sette verdier på «Individual Diff. (+)» og «Individual Diff. (-)», slik at probepinnen alltid vil bli ført helt ned i hullet. En observasjon som er gjort ved å bruke «shaft insert» er at roboten står skeivt (minimalt, men av betydning på grunn av små toleranser) i forhold til fiksturet hvor testdelen er plassert. Det vil si at hullenes høyde vil variere fordi z-retningen til roboten, som er retningen til «insert depth», ikke er eksakt Z-retning på selve testdelen. For å løse denne utfordringen er det viktig å finne vinkelfeilen mellom roboten og testdelen slik at vi kan regne ut hvor dypt vi skal gå ned i Z- retning, eventuelt legge inn en margin på «Individual Diff (+) og (-)». Dette vil variere fra den ene siden av testdelen til den andre siden. Derfor er det viktig å kompensere for dette ved å sette dybden den skal gå litt lengre, med en «Individual Diff. (+) og (-)». Da vil vi alltid komme så langt ned vi skal med probepinnen uansett hvilket hull «shaft insert» skal brukes på. Når vi setter verdier på «Individual Diff. (+) og (-)» betyr dette at «shaft insert» vil bli godkjent når den er innenfor dette området. Det er ikke det vi er ute etter, derfor er det viktig å sette på en «pushing time», det vil si, tiden den skal fortsette å presse/trykke etter «shaft insert» har blitt godkjent som en suksessfull operasjon. På denne måten vet vi at den alltid kommer ned til overflaten av hullet hver gang.

En annen observasjon av stor betydning som ble oppdaget under «shaft insert» var, dersom den ikke ble utført med stor nok kraft, ble det ikke en suksessfull «shaft insert». Det kan være flere grunner til dette, hvor to av grunnene er at hullene på testdelen er tett på bunnen og det kan oppstå friksjon langs sidene av hullene. Probepinnen er designet slik at det er minimalt med rom mellom hullets sidekanter og probepinnen, slik at posisjonen som blir lagret på hullet skal bli så nøyaktig som mulig. Det vil si, siden hullene på testdelen er tett på bunn vil det oppstå et lufttrykk i hullet når man går ned med probepinnen, som gjør at man må bruke mer kraft for å komme den avstanden man vil ned i hullet. Dette gjør også at det er større risiko for å få en friksjon mellom hullenes sideflater og probepinnen. På grunn av dette er det viktig å ha god margin når man setter hvilken kraft som skal brukes ned i hullene, hvor vi heller vil ha for mye kraft enn for liten kraft. Samtidig er det viktig å passe på at kraften vi går ned med ikke kan føre til en bøyning på multiverktøyet større enn at vi holder oss innenfor kravene til det ferdigborede/forsenkede hullet.

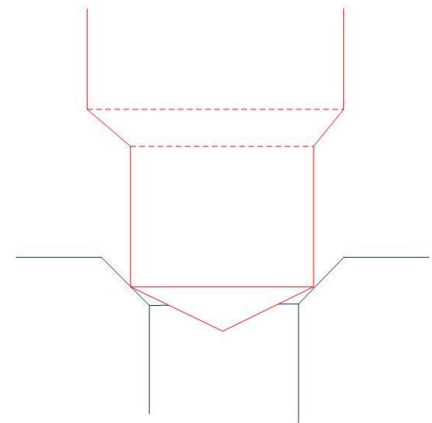
Kombinasjonen av «insert velocity» og «insert force» har også noe å si for og få en så nøyaktig «shaft insert» som mulig. Når vi hadde kraftsensoren på innstillinger med verdier på 25 N for «insert force» og 3 mm/s for «insert velocity» oppsto det en risting på verktøyet når den skulle bruke «shaft insert» på noen av hullene som ligger på skråplanet på testdelen. Når denne ristingen oppsto prøvde vi å senke «insert velocity» til 1 mm/s. Ved en fart på 1 mm/s ble mye av ristingen borte, men det oppsto igjen på ett av hullene. Hvorfor denne ristingen oppsto er vanskelig å vite, men etter å ha undersøkt en del fant vi ut at det var på grunn av vibrasjoner i roboten kombinert med forholdet mellom farten og kraften probepinnen blir ført inn i hullet med. En teori er at probepinnen kom litt skeivt inn mot hullet og tuppen sklei ned langs sidekanten av hullet (sklei i klem) mens kraften ble påført. Når den fortsatt ristet på dette ene hullet satte vi opp kraften til 50 N for å se om ristingen fortsatt var tilstedeværende da. Ved å

sette opp kraften gikk ristingen bort, men den kom igjen en sjelden gang. Etter å ha utforsket forskjellige verdier for dette fant vi ut at grunnen for ristingen var at «Master Frequency» var satt for høyt. Dette er en parameter som blir satt når man bruker «Force Control Gain Auto Tuning» hvor den blant annet velger frekvensen ut ifra vekten på verktøyet. Dette er en parameter man må justere dersom det skjer vibrasjoner på roboten, og når vi senket frekvensen på denne ble også ristingen helt borte. Vi har derfor valgt å gå for en kraft på 50 N og en «insert velocity» på 3 mm/s for å være sikker på at ristingen ikke vil oppstå under operasjon, selv med en lavere frekvens.

Ved disse observasjonene ser man viktigheten av å utforske forskjellige verdier på innstillingene for å se hva kraftsensorens reaksjoner på disse er. På bakgrunn av dette kan man finne verdier som er innenfor marginer på både, hva kraftsensoren vil klare og hva verktøyet som skal brukes tåler for at vi skal holde oss innenfor kravene.

4.4. Verifisering av hullenes plassering

For å verifisere at hullet som er probet også blir boret og forsenket riktig vil vi først utføre en verifiseringstest før selve boringen og forsenkningen starter. På denne måten vil vi alltid vite at vi treffer hullet innenfor kravene. Teorien her er som vist i figur 4.4.1 at boret skal føres ned i hullet og vil treffe kanten av en forsenkning. Ved hjelp av kraftsensoren er teorien at når vi treffer forsenkningen med kanten av boret, får vi en posisjon, og vi vet hvor tuppen av boret befinner seg i forhold til hullet. Da vil vi vite om borets plassering er innenfor kravene til det ferdigborede hullet. For å kunne utføre dette har det blitt gjort noen utregninger som vist i vedlegg 7. Dette er gjort ut ifra et optimalt utgangspunkt. Vi har funnet ut at det vil være vanskelig å vite eksakt om vi vil være innenfor kravene eller ikke ved en slik verifiseringstest. Dette på grunn av at det forborede/forsenkede hullet ikke vil være likt hver gang på grunn av hullets og forsenkningens toleranser. Med den ekte delen vil det også være maling, denne kan variere noe i tykkelse fra del til del også, hvor vi da ikke vil vite mengden med maling vi skal kompensere for. Mengden av materiale som skal fjernes fra hullene og forsenkningene vil variere på grunn av toleransene til det forborede/forsenkede hullet, med dette kommer da en usikkerhetsfaktor til denne tenkte teorien. Totalen av disse faktorene vil gjøre det vanskelig å gjennomføre verifiseringsprosessen. Risikoen ved å utføre en slik verifiseringstest blir da at man kan få et falskt godkjent eller falskt ikke godkjent resultat på grunn av variasjonene i hullenes høyde og diameter. Siden resultatene av den fullstendige probeprosessen skal være godt nok i utgangspunktet, har vi derfor valgt å fokusere på denne isteden.



Figur 4.4.1: Verifiseringstest

4.5. Boring/forsenkning

Til boring og forsenkning har vi sett på flere forskjellige alternativer både med og uten bruk av kraftsensor. Boret/forsenkeren vi skal bruke er vist i figur 4.5.1. Det vi opprinnelig hadde tenkt å bruke var kraftsensoren med hjelp av «Constant Push» funksjonen. Vi har sett på muligheten for å bruke «shaft insert» også her, hvor vi da vil prøve å ta bort opprettingen av selve verktøyet. Den siste måten vi utforsket, som kan være den enkleste måten å utføre dette på, er muligheten for å programmere hvor langt ned robotarmen skal bevege seg for å få hullene innenfor kravene. Dette vil være det beste alternativet da det kan oppstå store utfordringer med nøyaktigheten ved bruk av både «constant push» og «shaft insert». Denne lengden har vi kommet frem til ved hjelp av beregninger vist i vedlegg 3. Under står det beskrevet om noen fordeler og ulemper ved bruk av «constant push» og «shaft insert» til boring og forsenkning. Hvordan vi borer/forsenker uten hjelp av kraftsensoren står i kapittel 2.3.



Figur 4.5.1: Bor og forsenker

4.5.1. «Constant Push» til boring/forsenkning

Fordelen med å bruke «constant push» til boring og forsenkning er at du alltid vil bore/forsenke med riktig kraft. Ulempen er det at kraften kan variere noe og da vil det ikke bli boret/forsenket med samme hastighet gjennom hele hullet. En annen ulempe med å bruke «constant push» er at vi ikke kan stille inn hvor dypt vi vil bore/forsenke ned i hullene. Siden det vil være en presisjonssak å bore/forsenke den dybden vi må for å holde oss innenfor kravene, kan det være vanskelig å være nøyaktig nok når vi ikke kan stille på avstanden den skal ned. Slik vi ser det er eneste mulighet for å bruke «constant push» og stille inn den kraften vi vil at den skal bore/forsenke med og sette «pushing time» slik at vi vil gå ned den avstanden som er ønsket på denne tiden. Siden vi som sakt driver med veldig små tall blir dette for unøyaktig og vi vil derfor ikke kunne bruke «constant push» slik vi hadde håpet på.

4.5.2. «Shaft Insert» til boring/forsenkning

Som nevnt i kapittel 4.5.7 om «constant push» til boring/forsenkning er dybden vi skal gå ned med boret/forsenkeren veldig viktig. Dette er en innstilling som finnes i «shaft insert» funksjonen. Ved å bruke denne innstillingen vil vi alltid vite at i z-retning vil hullet bli riktig. Den store utfordringen med å bruke «shaft insert» til boring og forsenkning er at denne funksjonen egentlig er ment for å kunne putte noe inn i ett hull og rette opp dette selv om man bommer noe, så lenge man treffer innenfor for-forsenkningen. Dersom vi skal bore/forsenke med denne funksjonen må vi vite helt sikkert at den ikke prøver å rette opp boret/forsenkeren slik at det blir noe feil. Dersom den gjør dette mens vi borer/forsenker vil hullene bli feil og delen er da ødelagt. For å vite sikkert om vi kan bruke «shaft insert» til dette formålet eller ikke blir vi nødt til å teste det ut i praksis med robotarmen. Ellers kan vi ikke sikkert vite om den vil rette seg opp eller ikke når vi prøver å sette «Check Orientation Change» til ON og «Change MAX Limit» til null grader. Utfordringen her er at man kan stille inn at den ikke skal kunne forandre vinkelen (rette seg opp), men spørsmålet er da om vi alltid vil komme til en feilmelding (Alarm Code) hvor den da vil stoppe, eller om den vil utføre boringen og forsenkningen uten å rette seg opp.

5. utfordringer med TCP

Som nevnt tidligere så er det å sette nøyaktig TCP en stor utfordring. Dybdetoleransene er på 0,2557 mm og posisjoneringstoleransen er på 0,2032 mm. Tatt i betraktning alle feil som kan forekomme stilles det er krav om TCP-nøyaktighet.

Vi har snakket om forskjellige måter å sette TCP. Dersom verktøyet ikke peker 0 grader fra armens endeplate er «six point method» den mest nøyaktige av disse metodene. Fordelen med de integrerte metodene levert av Fanuc er at de går relativt rask. Det er også veldig enkelt å utføre metodene om man følger instruksene som blir gitt. Metoden er mer enn god nok om roboten skal flytte kasser som alltid står likt. Om en derimot skal utføre boreprosesser på flydeler er det ikke helt optimalt. Utfallet vil være, uansett metode, en unøyaktig satt TCP. Men til tross for dette gir den et greit utgangspunkt å gå ut ifra før finjusteringen av TCP starter.

I en operasjon som kun trenger ett verktøy, er et lite avvik i TCP ikke et stort problem. Dersom systemet kun hadde bestått av probepinnen, ville det på et senere tidspunkt vært mulig å gå til nøyaktig den samme posisjonen som ble probet. De store utfordringene oppstår når vi tar i bruk to forskjellige verktøy, og dermed trenger to TCP. I vårt tilfelle baserer bore- og forsenkingsbanen seg på posisjonen funnet av probepinnen. Er probepinnen sin TCP litt feil, må spesialverktøyet ha nøyaktig samme feil for at bore- og forsenkingsbanen skal bli riktig. Utfordringen er at vi ikke får nøyaktig samme TCP-verdi for begge verktøyene. Dette er som nevnt fordi prosessen for å sette TCP er manuell, som medfører at feilen blir forsterket. Roboten tror at den beveger spesialverktøyet til riktig posisjon, men på grunn av feil i probepinnens og spesialverktøyets TCP kommer vi utenfor toleransene.

Som sagt så vil bore- og forsenkingsbanen følge punktene satt av probeverktøyet, slik at spesialverktøyets feil i TCP må være så lik som mulig som probeverktøyets feil i TCP. For å få til dette har vi utviklet vår egen metode, som baserer seg på probepinnens posisjon og rotasjon. Metoden består av totalt fem steg; «Six point method», rotasjonsjustering, posisjonsjustering, høydejustering ved hjelp av Roboguide og til slutt finjustering etter prøveboringer. Vi kaller denne metoden: «Five step method».

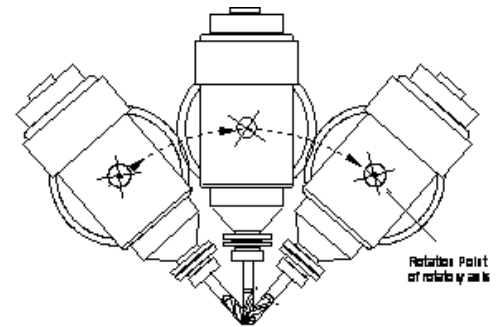
Proessen starter med å velge probepinnen og deretter utføre «six point method». Her plasseres tuppen av probepinnen mot et spisst referansepunkt. Til dette benytter vi en trekloss med en skrue som vist i figur 5.1. Det blir lagret tre punkter fra forskjellige angrepsvinkel. I hvert av posisjonene må robotens posisjon endres slik at probetuppen og skruespissen er i kontakt med hverandre.

Når det er gjort skal det lagres tre nye posisjoner. Her benyttes kalibreringsplaten. Den er konstruert som et koordinatsystem, som er akkurat det vi ønsker å gå ut ifra. Probetuppen plasseres i origo, et stykke i x-retning og et stykke i y-retning. Etter det vil den nye TCP bli kalkulert. Om det er «god nok» kan bekreftes ved å plassere den under det spisse referansepunktet, og deretter rotere x, y og z aksene. Da



Figur 5.1: Spisst referansepunkt for TCP.

vil probespissen alltid peke ned mot skruespissen. Dette er illustrert i figur 5.2. På dette tidspunktet et probepinnens TCP god alene. Neste steg er å gjøre det samme, men denne gangen med den andre probepinnen festet i spindelen. Videre i dette kapitlet vil probepinnen som ikke er festet til drillen være referert som probepinne1 og den festet inni spindelen probepinne2.



Figur 5.2: Rotasjon med korrekt TCP[5]

Når begge verktøyene har fått sin unike TCP starter del to av metoden. For at verktøyene skal ha samme rotasjon plasseres først probepinne1 i et hull. Det gjøres med «shaft insert» for å oppnå korrekt rotasjon. Den aktuelle posisjonen blir lagret og satt som et plan. Når vi bytter til probepinne2 og går ned til det samme hullet skal TCP-verdiene endres slik at den aktuelle posisjonen har en rotasjon lik 0 i w, p og r når posisjonsplanet brukes. Videre skal posisjonen korrigeres. Probepinne1 benyttes først til å gå ned mot et punkt. Som tidligere blir punktet lagret som et plan. Probepinne2 velges og roboten beveges med mot det samme punktet. Når det er gjort endres TCP-verdiene slik at den aktuelle posisjonen i x og y er lik 0 i posisjonsplanet.

Etter å ha satt en så nøyaktig som mulig TCP ved bruk av to probepinner, må vi finne TCPen til spesialverktøyet. Den eneste forskjellen fra probepinnens TCP til spesialverks TCP er lengden av verktøyet. For å justere TCP for denne lengden må vi først finne differansen i lengde når verktøyene er satt inn. Siden TCP blir satt i forhold til aksesystemet til Utool0, som er flaten på armen, kan vi ikke kun bevege TCP-punktet gjennom en akse. Dette er på grunn av rotasjonen til verktøyet i forhold til Utool0. Vi må flytte TCP-punktet gjennom en akse med rotasjonen den har. Det vil si at i flytter posisjonen i både x, y og z. For å gjøre dette bruker vi Roboguide. I Roboguide lagde vi et lite program som går mellom to punkter. Differansen mellom disse to punktene må tilsvare hvor mye vi skal flytte delen.

Ved å gjøre dette fant vi ut at differansen fra probepinne2 til probepinne1 var $-13,107$ mm i z-retning. Dette betyr at vi trenger to punkter med avstand $13,107$ mm langs z-aksen til verktøyet. Vi setter inn verdiene vi fant med probepinnen, som vist i figur 5.3 og gjør dem om ved å trykke på "edit Utool" før vi starter programmet som går fra et punkt til punktet som er $-13,107$ i z-retning. Resultatet etter omgjøring er i figur 5.4.

UTOOL	
X	9.691 mm
Y	-170.395 mm
Z	97.395 mm
W	-34.133 deg
P	-88.212 deg
R	-51.891 deg

Figur 5.3: TCP for probepinne

UTOOL	
X	8.785 mm
Y	-157.324 mm
Z	97.734 mm
W	-34.133 deg
P	-88.212 deg
R	-51.892 deg

Figur 5.4: TCP for spesialverktøy

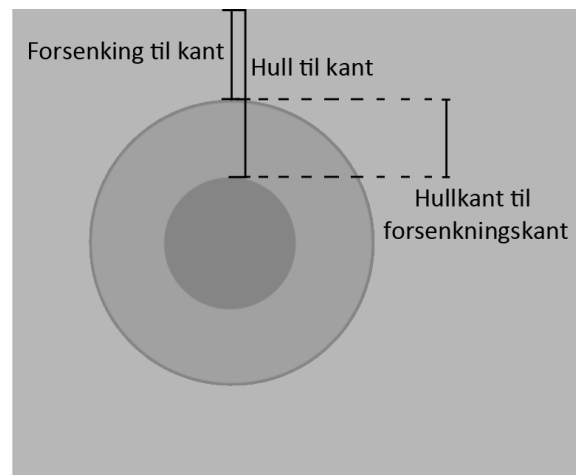
Som vi kan se fra figurene så er det i y-retning det er mest forflytning. Dette skyldes hvordan verktøyet er festet. Verktøyet er festet vinkelrett i forhold til Utool0, og det er derfor y-verdier

som må justeres ved forflytning i z-aksen i verktøyet. Vi ser også at x- og z-verdiene er forandret noe. Dette skyldes som nevnt tidligere rotasjonen til spesialverktøyet.

Ved denne metoden er TCP satt svært nøyaktig. På dette stadiet må vi kjøre tester for å optimalisere TCP. Vi vil være godt sentrert og godt innenfor krav for posisjonering. For å gjøre denne justeringen kjører vi tester hvor vi kun borer, og ikke forsenker. Borer vi feil, vil vi ende opp med mer forsenking på den ene siden av hullet. Figur 5.5 ser vi et hull som helt tydelig har mer forsenking på den ene siden av hullet mot den andre. For å finne hvor mye vi trenger å justere i x- og y-retning måler vi med et skyvelære fra innsiden av hullet til kanten av delen. Deretter måler vi avstanden fra forsenkingen til kanten av delen. Differansen her er størrelsen på forsenkingen i dette området. Ved å måle størrelsen på den andre siden på samme måte, kan vi finne ut hvor mye som må justeres. Figur 5.6 viser en illustrasjon av målingen.



Figur 5.5: Hull for justering



Figur 5.6: Hull for justering

Ved å gjøre nok tester og etterhvert med justeringer med 0,05 mm om gangen, fikk vi til slutt et meget godt resultat. På grunn av noe unøyaktighet i målemetoden med skyvelære, klarer vi ikke å justere posisjonsnøyaktigheten ytterligere med denne metoden. For å gjøre videre justeringer trenger vi mer avanserte målemetoder. Etter hva vår målemetode kan si ligger vi godt innenfor krav når det kommer til posisjonsnøyaktigheten. Og alle hullene vi borer er svært uniforme.

Etter denne justeringen av TCP i x- og y-retning, må vi se på hvordan dette har påvirket z-retning. TCP sin nøyaktighet i z-retning vil avgjøre dybden til forsenkingen. Når vi endrer x og y verdiene vil selve z-verdien forbli lik, men på grunn av rotasjonen til spesialverktøyet vil den faktiske høyden være noe forandret. For å justere dybden vi forsenker nå, kjører vi tester på dette også. Istedenfor å endre TCP, som kan endre posisjonsnøyaktigheten, velger vi kun å endre dybden vi forsenker med. Dybden roboten tror den forsenker med og den virkelige dybden vil da ikke stemme overens.

For å justere dybden kjørte vi første en test. I testen målte vi diameteren ved overflaten. Ved å finne differansen mellom denne diameteren og den optimale diameteren på hullet regner vi ut justeringen i dybde som må gjøres for å få den optimale diameteren ved overflaten, som vist i vedlegg 3.

Som det nevnes innledningsvis må alle mulige feil tas i betraktning når vi ser på TCP. I kapittel 2.3 Boring og forsenking, står det at den maksimale feilen TCP kan ha er 0,0915 mm. Det er en svært liten feil som er vanskelig å se eller måle med utstyret vi har hatt tilgjengelig. Det er derfor en stor utfordring å bekrefte eller avkrefte om TCP-verdiene er gode uten å utføre en boringstest.

Det mest effektive og nøyaktige metoden ville vært å bruke tredje parts sensorer som kan registrere verktøyets tupp og plasserer TCP deretter. Disse sensorene kan leveres med 0,02 mm nøyaktighet, som er meget presist. De er kompatible med mange robotmerker, blant annet FANUC. Dersom det blir aktuelt for KDA å benytte roboter til borende oppgaver er en slik løsning å foretrekke fremfor manuell innstilling av TCP. Det er en prosess som utføres før hver operasjon, og den vil kompensere for eventuelle slitasje på verktøy som vil forekomme over tid. En fullstendig registrering av et slikt system tar i snitt 15 sekunder i 6-akseplanet.



Figur 5.7: TCP-sensor LEONI. [1]

6. Konklusjon

Oppgaven vår går ut på å finne en løsning for å automatisere boring og forsenking i flystrukturer av aluminium ved bruk av én robot. Denne prosessen må også kunne korrigere robotens bane basert på variasjon i delens posisjon og geometri.

Løsningen vår består av å bruke programmering, kraftsensor og 2D «iRVision» til å gjøre dette. Systemprosessen er autonom og vi er innenfor de strenge toleransene som gjelder for oppgaven. Systemet vi har laget er for testdelene vi har produsert. Systemet er også laget med tanke på at det skal overføres fra testdelen til flystrukturene. Dette skal være en relativ enkel prosess.

Kraftsensorfunksjonene kan bli brukt direkte på flydelen. Den eneste eventuelle endringen som kan bli nødvendig er retningen «constant push» brukes i. Plasseres flystrukturen i en annen posisjon enn testdelen, må retningen til «constant push» funksjonene justeres. For «shaft insert» skal ingen endring være nødvendig, men siden de forborede hullene på flydelen ikke er massive i bunn, vil det ikke her oppstå et lufttrykk i hullene. På grunn av dette vil det ikke være nødvendig å bruke en like stor kraft ved innsetting av probepinnen.

Når det kommer til programmeringen av bane er det også kun små endringer som må utføres. I kontaktprobeprosessen må punktene 1, 2, 3 og 4 oppdateres etter flydelens plassering. Plasseres flystrukturen i en annen posisjon enn testdelen, må også formel for utregning av posisjon og rotasjon bekreftes.

Banen for steg 2 av probeprosessen, å sette probepinnen ned i hull, må også oppdateres. Utenom dette kan samme kode brukes for flystrukturer.

For boring og forsenkingsbane må «for»-løkken justeres for at banen skal bevege seg til alle hullene. Hastigheten for boringsprosessen må også revurderes, siden vi borer og forsenker i et annet materiale når vi kjører prosessen på våre testdeler. Ellers kan den samme koden brukes for boring og forsenking.

For å overføre bruken av 2D «iRVision» til bruk på flystrukturer, må vi kalibrere kameraet og lære den nye delen på samme måte som testdelen. Her vil det også være en fordel å montere kameraet til et fikstur. Dette for å unngå at kameraet skal bli påvirket av robotens vibrasjoner under bore- og forsenkingsprosessen. Det kan også være nødvendig å justere noen parametere. Dersom kameraet monteres på et fikstur burde det utføres optiske justering på linsen, som fokallengden og fokuset.

Avslutningsvis kan vi også si at manuelt TCP-oppsett kan være tilstrekkelig. Svakheten med den manuelle metoden er at TCP må testes mye for å kunne konkludere med at den er satt innenfor toleransene. Den manuelle metoden er benyttet i vårt system, og ut ifra dataene vi har fått tilbake fra KDA ser det ut til at vi ligger innenfor posisjonskravene for TCP. Skal flere lignende høypresisjons systemer implementeres ser vi at det kan være en stor fordel å invester i et sensorsystem som kan automatisk sette og justere TCP før hver operasjon.

7. Kilder

[1] LEONI, n.d. Web. 22 May 2017. <<https://i.ytimg.com/vi/H8bjqQ7NiiI/maxresdefault.jpg>>. Figur 5.7.

[2] "R-30iB HandlingTool Operator Manual." N.p., n.d. Web. 29 May. 2017.

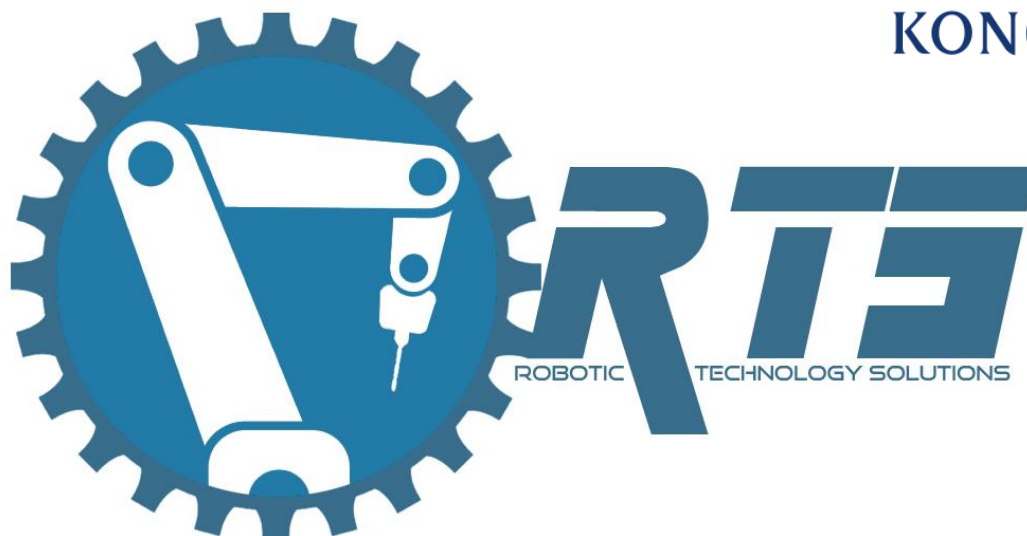
[3] "iRVision Operation Manual V8.10 V8.20 V8.30 [B-83304EN_04]." N.p., n.d. Web. 20 May. 2017.

[4] "R-30iB Force Control Operator Manual." N.p., n.d. Web. 20 May. 2017.

[5] "TCP." N.p., n.d. Web. 20 May 2017.

<https://infosys.beckhoff.com/content/1033/tccncprogramming/Images/image40_242.png> . Figur 5.2.

[6] "Telesentrisk vs Konvensjonell Linse." N.p., n.d. Web. 20 Apr. 2017. <<http://affordable-telecentric-lens.in/wp-content/uploads/2015/08/working-of-tc-lens.jpg>>. Figur 3.1.4.



Testrapport		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Aliihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	23.05.2017	Første offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Innledning	3
2. Test Resultater	4
2.1. <i>Testrapport av Kvalitetskontroll</i>	4
2.2. <i>Testrapport av Finite Element Method</i>	19
2.3. <i>Testrapport av Site Acceptance Test</i>	21
3. Konklusjon	42
3.1. <i>Videre Arbeid</i>	43
4. Kilder	45

1. Innledning

Testrapportdokumentet inneholder resultatet av tester som ble definert i testplanen. Hvert testresultat vil ha en testrapport ID. Testrapporten vil inneholde test ID, testtype, prioritet og krav ID. Videre så vil testen inneholde en beskrivelse, hensikt, utstyr brukt for testen, testmetode og en konklusjon som beskriver resultatet vi har kommet frem til. Deretter vil testen ha en status som sier om testen er utført eller ikke, hvem den er utført av, resultat av testen og dato testen ble utført. Rapporten er delt inn i grupper ut ifra testmetoden som er tatt i bruk. Informasjonen vi får ut fra testrapporten gir oss svar om kravene for systemet er innfridd. Til slutt vil det bli gitt en konklusjon på systemet basert på resultatene vi har oppnådd gjennom testing som gir en vurdering på om systemet vårt er godkjent eller ikke og hva som kan gjøres for å forbedre systemet slik at den innfrir alle krav.

2. Test Resultater

2.1. Testrapport av Kvalitetskontroll

Testrapport ID: TR-001			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-512	KK	B	K-206
<p>Beskrivelse: Undersøke forskjellige spindler og kontakte leverandører angående spindler som har en rotasjonshastighet mellom 2000-6617 RPM for boring.</p> <p>Hensikt: Hensikten er at vi ikke velger feil spindel, som vil føre til ekstra kostnader og lengre leveringstid på riktig spindel som kan føre til at prosjektet ikke blir fullført.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Undersøke og finne en spindel som innfrir kravene.</p> <p>Konklusjon: Vi har sett på flere spindler og kontaktet forskjellige leverandører og kommet fram til en spindel som innfrir kravet for forsenkningen (600-1000 RPM) og ikke boringen (2000-6617 RPM). Dette er på grunn at forsenkningens rotasjonshastighet er prioritert.</p>			
Status: Utført		Resultat: Ikke godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 27.03.2017	

Testrapport ID: TR-002			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-508	KK	A	K-203
<p>Beskrivelse: Sette sammen multiverktøyet sammen med kraftsensoren i SolidWorks for å se om multiverktøyet passer sammen med kraftsensoren.</p> <p>Hensikt: Målet er å eliminere feil på produserte deler som vil føre til at de ikke passer sammen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC ▪ SolidWorks <p>Testmetode: Sette sammen multiverktøy og kraftsensor i en sammenstilling i SolidWorks.</p> <p>Konklusjon: Spindelfeste, probefeste og probepinnen har blitt satt sammen i en sammenstilling med kraftsensoren der alle delene passer sammen.</p> <div style="text-align: center;">  </div>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 20.04.2017	

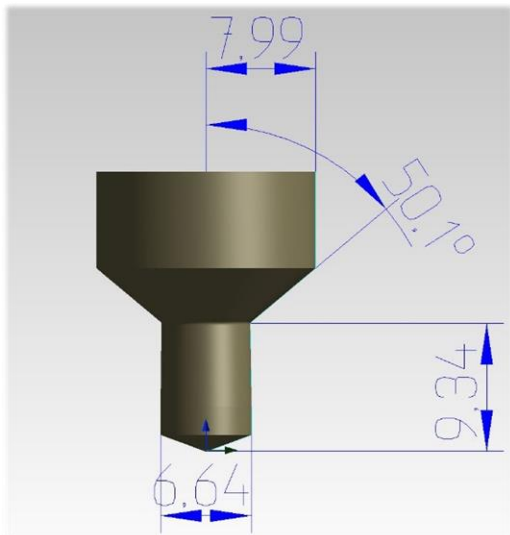
Testrapport ID: TR-003			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-514	KK	C	K-205
<p>Beskrivelse: Under undersøkelse av forskjellige deler for multiverktøyet må vi passe på å ikke overstige 10.000 kr. Som er budsjettet.</p> <p>Hensikt: Dette er for å ikke overstige veiledende budsjett fra KDA.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Under valg av spindel og annet utstyr må vi passe på prisen på utstyret.</p> <p>Konklusjon: Under valg av spindel har prisen blitt høyere enn først antatt. Dette er på grunn av de høye kravene innenfor toleranser som systemet må innfri. Dette har vi vært i samtaler med KDA om og vi har fått lov til å overstige det veiledende budsjettet vi har fått.</p>			
Status: Utført		Resultat: Ikke godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 27.03.2017	

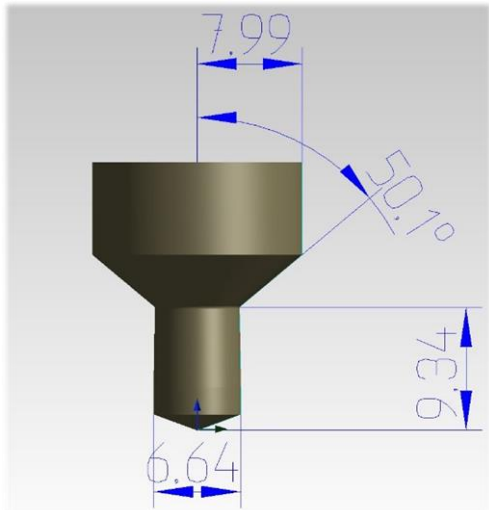
Testrapport ID: TR-004			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-515	KK	B	K-214
<p>Beskrivelse: Skjæreverktøy skal ha en materialeegenskap av HSS eller Karbid</p> <p>Hensikt: Det er viktig at skjæreverktøyet har materialeegenskaper som kreves for et høyt presisjonsverktøy og er tilpasset vår operasjon.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Snakke med leverandør av skjæreverktøyet hvilket materiale den er laget av og se på maskintegning av verktøyet.</p> <p>Konklusjon: Leverandør har bekreftet at skjæreverktøyet er laget av Karbid</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 15.02.2017	

Testrapport ID: TR-005			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-518	KK	B	K-215
<p>Beskrivelse: Teste om boret kan bore under tørre forhold uten ekstern kjøling.</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er å kunne forsikre at boret kan operere under vilkårene til KDA hvor vårt system vil operere og at boret ikke vil bli ødelagt under tørrboring.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Snakke med leverandør av skjæreverktøy og forsikre oss at den er laget i forhold til kravene.</p> <p>Konklusjon: Leverandør har bekreftet at skjæreverktøyet kan bore uten ekstern kjøling.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alihsan Sicim		Dato: 15.02.2017	

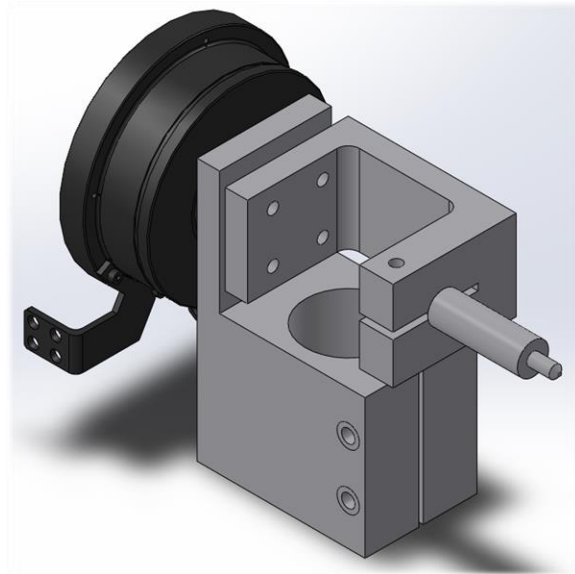
Testrapport ID: TR-006			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-518	KK	B	K-216
<p>Beskrivelse: Teste om forsenkningen kan bore under tørre forhold uten ekstern kjøling.</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er å kunne forsikre at forsenker ikke vil bli ødelagt under operasjonen og kan tilpasse vilkårene til KDA med tanke på hvor systemet vårt vil operere.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Snakke med leverandør av skjæreverktøy og forsikre oss at den er laget i forhold til kravene.</p> <p>Konklusjon: Leverandør har bekreftet at skjæreverktøyet kan forsenke uten ekstern kjøling.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 15.02.2017	

Testrapport ID: TR-007			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-520	KK	B	K-218
<p>Beskrivelse: Undersøke om det finnes bor med integrert forsenker, som kan bli brukt i vårt prosjekt.</p> <p>Hensikt: For å gjøre prosessen mest mulig autonom som mulig som innebærer å eliminere bytting av verktøy under prosessen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Undersøke om det finnes bor med integrert forsenker.</p> <p>Konklusjon: Vi har funnet ut av at det finnes slike bor på markedet, men ikke med de egenskapene vi ønsker. Etter å ha vært i samtaler med KDA, har vi kommet fram til en konklusjon om at vi skal modifisere et bor med integrert forsenker slik at den vil tilpasse seg våre krav. Dette vil føre til at systemet vårt blir mer autonomt. Ved å spesialbestille et bor med integrert forsenker etter kravene, kan vi forsikre oss om at boret med integrert forsenker innfrir kravene.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 27.03.2017	

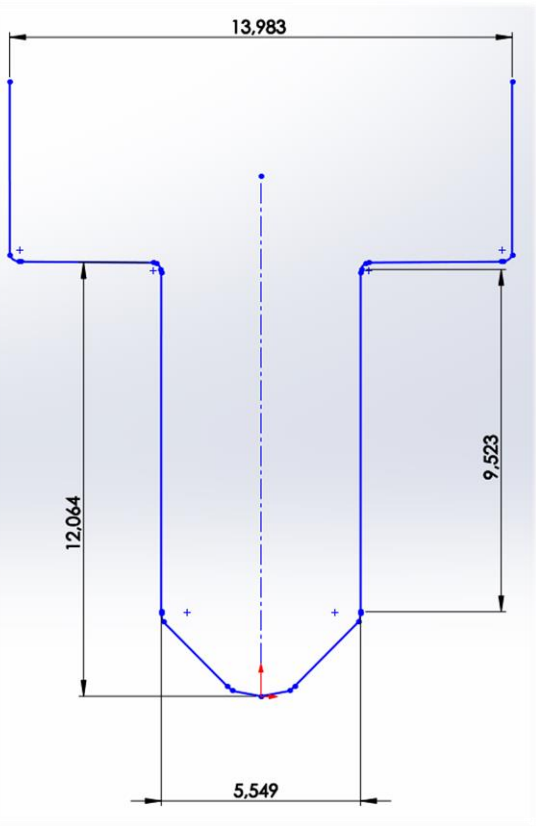
Testrapport ID: TR-008			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-521	KK	A	K-201
<p>Beskrivelse: Finne et bor med diameter $\varnothing 6,650 \pm 0,02$ mm</p> <p>Hensikt: For å kunne bore hullene etter ønsket resultat.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC <p>Testmetode: Undersøke om det finnes ett bor med denne diameteren.</p> <p>Konklusjon: Vi har bestilt et bor med integrert forsenker som innfrir kravene.</p> <div data-bbox="188 1093 699 1626" data-label="Image">  </div> <p>Bilde av målene for boret med integrert forsenker etter at det er ferdig produsert.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 27.03.2017	

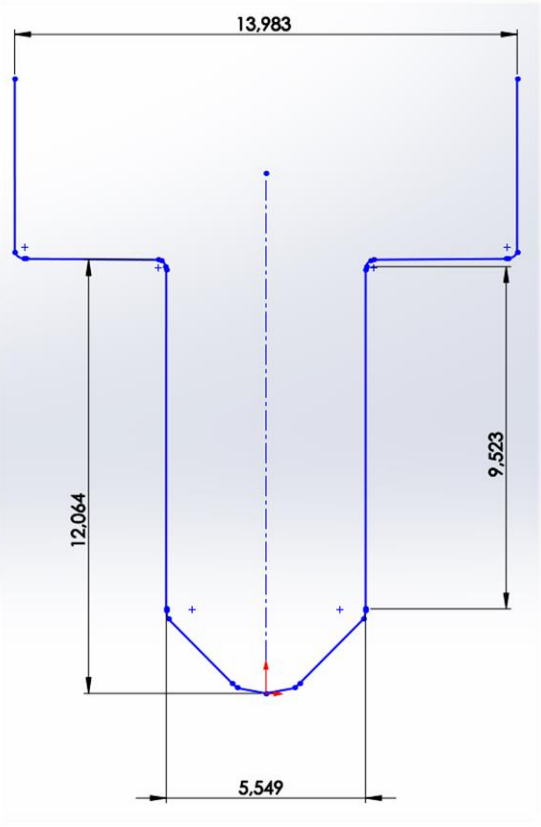
Testrapport ID: TR-009			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-522	KK	A	K-202
<p>Beskrivelse: Finne et forsenker med vinkel på $100^\circ \pm 0,2^\circ$</p> <p>Hensikt: For å kunne forsenke etter ønsket resultat.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC <p>Testmetode: Undersøke om det finnes forsenker som innfrir kravene.</p> <p>Konklusjon: Vi har bestilt et bor med integrert forsenker som innfrir kravene.</p> <div data-bbox="188 1133 678 1641" data-label="Image">  <p>The image shows a 3D CAD model of a drill bit. It features a wide, flat cutting edge with a chamfered top edge. Hand-drawn blue dimension lines indicate the following measurements: a diameter of 7.99 mm at the top of the cutting edge, a chamfer angle of 50.10 degrees, a total length of 9.34 mm from the top of the cutting edge to the tip, and a diameter of 6.64 mm at the tip.</p> </div> <p>Bilde av målene for boret med integrert forsenker etter at det er ferdig produsert.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 27.03.2017	

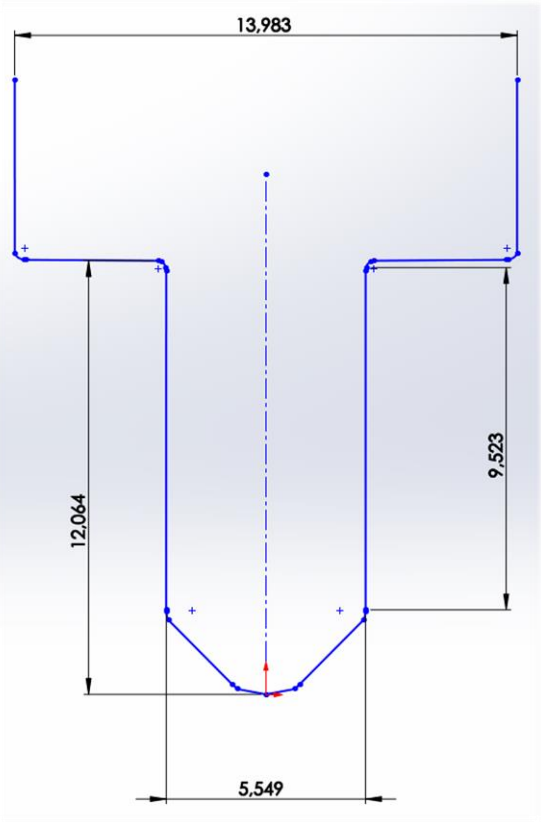
Testrapport ID: TR-010			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-523	KK	A	K-204, K-220, K-221
<p>Beskrivelse: Multiverktøyet skal ha mulighet for å kunne bore, forsenke og probe.</p> <p>Hensikt: Hensikten er å forsikre oss om at systemet har alle de egenskapene som er ønsket av den og forsikre oss at alle delene passer sammen før vi produserer dem.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC ▪ SolidWorks <p>Testmetode: Ved bruk av SolidWorks blir probepinnen, probefeste og spindelfeste satt sammen for å se at alle de forskjellige delene passer sammen.</p> <p>Konklusjon: Spindelfeste, probefeste og probepinnen har blitt satt sammen med kraftsensoren. Alle delene passer sammen slik at man ikke trenger å bytte utstyr mellom boring og probing. Vi har også sørget for at vi har designet spindelfestet etter spindelen vi har bestilt.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 20.04.2017	

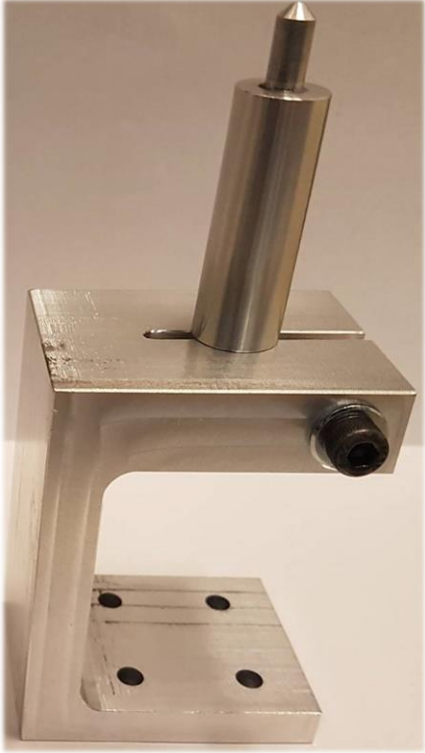


Testrapport ID: TR-011			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-548	KK	B	K-208
<p>Beskrivelse: Undersøke forskjellige spindler og kontakte leverandører angående spindler som har en rotasjonshastighet mellom 600-1000 RPM for forsenkning.</p> <p>Hensikt: Hensikten er at vi ikke velger feil spindel, som vil føre til ekstra kostnader og lengre leveringstid på riktig spindel som kan føre til at prosjektet ikke blir fullført.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC <p>Testmetode: Undersøke og finne en spindel som innfrir kravene.</p> <p>Konklusjon: Vi har sett på flere spindler og kontaktet forskjellige leverandører og kommet fram til en spindel som innfrir kravene for forsenkningen (600-1000 RPM), men ikke boringen (2000-6617 RPM). Dette på grunn av at forsenkningsprosessen blir prioritert høyere. Spindelen vi har valgt er en DEPRAG 104-730-4. Som har blitt bestilt.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 27.03.2017	

Testrapport ID: TR-012			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-549	KK	A	P-101
<p>Beskrivelse: Tuppen av probepinne som skal inn i det forborede hullet, kan maksimum være 0,07 mm mindre enn det forborede hullet som er 5,59 mm.</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er å finne senteret av hullet innenfor våre krav.</p> <p>Utstyr: SolidWorks Måleverktøy</p> <p>Testmetode: Vi designer probepinnen etter kravene. Når probepinnen er produsert måler vi den og ser om den er innenfor toleransene vi har satt.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 20px;"> <p>Vi har designet probepinnen etter kravene. Vi har også produsert probepinnen og den er innenfor kravene satt.</p> <p>Tegning av probepinnen, som vi har fått etter lasermåling. Verdier er i mm.</p> </div> </div>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 05.05.2017	

Testrapport ID: TR-013			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-550	KK	A	P-102
<p>Beskrivelse: Kontaktflaten mellom probepinnen og arbeidsoverflaten skal ha en diameter som er større en det ferdige forsenkede hullet altså større en 13,970 mm.</p> <p>Hensikt: Dette er viktig slik at vi vet dybden vi skal forsenke for å være innenfor kravene.</p> <p>Utstyr: SolidWorks Måleverktøy</p> <p>Testmetode: Vi designer probepinnen etter kravene. Når probepinnen er produsert måler vi den og ser om den er innenfor toleransene vi har satt.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 20px;"> <p>Vi har designet probepinnen etter kravene. Vi har også produsert probepinnen og den er innenfor kravene satt.</p> <p>Tegning av probepinnen, som vi har fått etter lasermåling. Verdier er i mm.</p> </div> </div>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 05.05.2017	

Testrapport ID: TR-014			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-551	KK	B	P-103
<p>Beskrivelse: Tuppen av probepinnen som skal ned i hullet skal ha en lengde på minst 8,128 mm</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er å finne senteret av helle hullet og ikke kun toppen.</p> <p>Utstyr: SolidWorks Måleverktøy</p> <p>Testmetode: Vi designer probepinnen etter kravene. Når probepinnen er produsert måler vi den og ser om den er innenfor toleransene vi har satt.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Vi har designet probepinnen etter kravene. Vi har også produsert probepinnen og den er innenfor kravene.</p> <p>Tegning av probepinnen, som vi har fått etter lasermåling. Verdier er i mm.</p> </div> </div>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 05.05.2017	

Testrapport ID: TR-015			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-552	KK	A	P-104
<p>Beskrivelse: Probepinnen skal være låst i sin posisjon, når den er festet til probefeste.</p> <p>Hensikt: Sørge for at probepinnen ikke beveger seg under operasjon slik at vi får feil senterpunkt for hullet. Dette vil føre til påført feil ved boring og forskningsprosessen.</p> <p>Utstyr: Probefeste Probepinne Umbrako nøkkel Skrue</p> <p>Testmetode: Når probepinnen og probefeste er produsert, monterer vi de sammen og ser om de sitter låst mot hverandre.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Etter å ha produsert probepinnen og probefeste har vi montert disse to sammen. Disse delene sitter låst sammen etter at vi har strammet probepinnen på plass.</p> </div> </div>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alihsan Sicim		Dato: 05.05.2017	

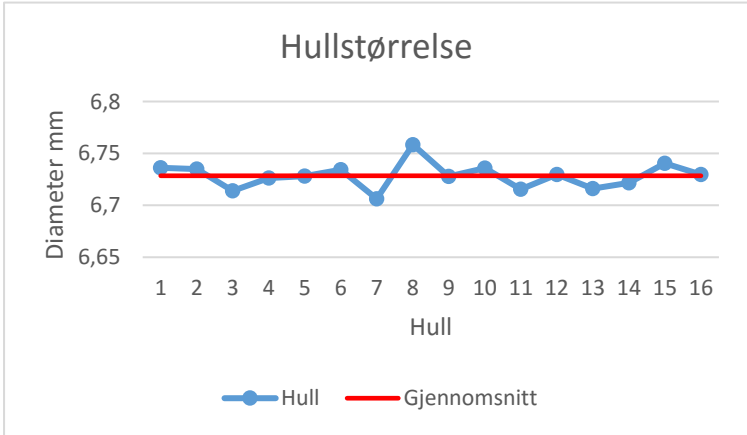
2.2. Testrapport av Finite Element Method

Testrapport ID: TR-016			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-509	FEM	A	K-222
<p>Beskrivelse: Spindelfeste til multiverktøy skal tåle belastning på 115 N</p> <p>Hensikt: Forsikre oss om at spindelfeste vil tåle belastningene den vil bli utsatt for, slik at denne delen av systemet ikke blir en feilkilde.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ PC▪ SolidWorks <p>Testmetode: Ved å utføre FEM analyser av spindelfeste kan vi forsikre oss om at den vil tåle påkjenningene.</p> <p>Konklusjon: Vi har utført FEM analyser på spindelfeste til multiverktøyet og har konkludert med at denne delen innfrir kravet. For dypere informasjon om analysene se på FEM rapporten i utviklingsdokument-multiverktøy.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Morten Aker		Dato: 26.04.2017	

Testrapport ID: TR-017			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-553	FEM	A	P-105
<p>Beskrivelse: Probepinnen og probefeste skal tåle en belastning på 50 N.</p> <p>Hensikt: Forsikre oss om at probepinnen og probefeste vil tåle belastningene de vil bli utsatt for, slik at denne delen av systemet ikke blir en feilkilde.</p> <p>Utstyr: PC SolidWorks</p> <p>Testmetode: Ved å utføre FEM analyser av probepinnen og probefeste kan vi forsikre oss om at den vil tåle påkjenningene.</p> <p>Konklusjon: Vi har utført FEM analyser på probepinnen og probefeste til multiverktøyet og har konkludert med at disse delene innfrir kravene. For mer informasjon om analysene se på FEM rapporten i utviklingsdokument-multiverktøy.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 26.04.2017	

2.3. Testrapport av Site Acceptance Test

Testrapport ID: TR-018			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-511	SAT	A	K-207, K-209
<p>Beskrivelse: Teste om spindelen er kraftig nok for å kunne bore og forsenke uten å stoppe opp under operasjonen.</p> <p>Hensikt: Dette gjøres for å se om spindelen klarer å operere ved påkjenningene under operasjonen. Slik at delen ikke blir ødelagt hvis spindelen stopper opp under operasjon. Teste om spindelen er like kraftig som den er oppgitt på datablad.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ PC▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Spindelen vil bli integrert med resten av systemet. En systemoperasjon vil bli utført, der spindelen vil bli observert.</p> <p>Konklusjon: Systemet klarte å bore og forsenke et hull uten å stoppe opp. Systemet viste ikke noe tegn til problemer.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: David og Eivind		Dato: 19.05.2017	

Testrapport ID: TR-019																																					
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:																																		
T-524	SAT	A	K-101																																		
<p>Beskrivelse: Borehulldiameter skal være mellom \varnothing 6,604 – 6,680 mm etter at operasjonene er utført av systemet.</p> <p>Hensikt: Dette er for at hullet hverken blir for stort eller for liten i forhold til naglen som skal bli skutt på plass. Slik at den sitter fast og ikke løsner.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ PC ▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Systemet lager hull på en testdel, der hulldiameteren blir målt.</p> <p>Konklusjon: Vi har målt borehulldiameter på en arbeidsdel med 16 hull. Alle disse hullene var større enn det de skulle være. Dette regner vi med at har oppstått på grunn av vibrasjoner under operasjonen. Hvis vi kan få et skjæreverktøy med borhode som er 0,09 mm mindre enn den vi har brukt, vil vi være innenfor kravene. Siden avviket på hullene var veldig likt hverandre.</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  <table border="1"> <caption>Hullstørrelse</caption> <thead> <tr> <th>Hull</th> <th>Diameter (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>2</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>3</td><td>6,71</td></tr> <tr><td>4</td><td>6,72</td></tr> <tr><td>5</td><td>6,72</td></tr> <tr><td>6</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>7</td><td>6,71</td></tr> <tr><td>8</td><td>6,76</td></tr> <tr><td>9</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>10</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>11</td><td>6,72</td></tr> <tr><td>12</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>13</td><td>6,72</td></tr> <tr><td>14</td><td>6,73</td></tr> <tr><td>15</td><td>6,74</td></tr> <tr><td>16</td><td>6,73</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="flex: 1; padding-left: 20px;"> <p>Som vi kan se fra grafen. Så er største hull 7,7585 mm og det minste hullet er på 7,7063 mm.</p> <p>$7,7585 - 0,09 = 6,668$ mm</p> <p>$6,7063 - 0,09 = 6,6163$ mm</p> <p>Begge disse verdiene er innenfor våre krav.</p> </div> </div>				Hull	Diameter (mm)	1	6,73	2	6,73	3	6,71	4	6,72	5	6,72	6	6,73	7	6,71	8	6,76	9	6,73	10	6,73	11	6,72	12	6,73	13	6,72	14	6,73	15	6,74	16	6,73
Hull	Diameter (mm)																																				
1	6,73																																				
2	6,73																																				
3	6,71																																				
4	6,72																																				
5	6,72																																				
6	6,73																																				
7	6,71																																				
8	6,76																																				
9	6,73																																				
10	6,73																																				
11	6,72																																				
12	6,73																																				
13	6,72																																				
14	6,73																																				
15	6,74																																				
16	6,73																																				
Status: Utført		Resultat: Ikke Godkjent																																			
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 22.05.2017																																			

Testrapport ID: TR-021			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-526	SAT	A	K-102
<p>Beskrivelse: Systemet skal bore hullet med en vinkel på $90^\circ \pm 2^\circ$ i forhold til arbeidsoverflaten.</p> <p>Hensikt: Det er viktig at hullet har riktig vinkel i forhold til arbeidsoverflaten slik at når naglen blir skutt på plass, vil den sitte riktig.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ PC ▪ Måleverktøy for vinkel ▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Systemet lager hull på en testdel, der vinkelen til hullet i forhold til arbeidsoverflaten blir målt. Ved bruk av en formel som benytter dybdeforskjellen ved dybdemåling av naglehodet i forhold til arbeidsoverflaten, finner vi ut av vinkelgraden.</p> <p>Konklusjon: Vi har regnet ut vinkelavvik ved å måle dybden på naglen når den er plassert inn i hullet. Her har vi benyttet en metode hvor vi måler 4 steder på naglehodet slik at vi får dybdeforskjellene. Dette kan overføres til vinkelavvik ved bruk av en formel. Om vi har ett dybdeavvik som er større en differensen mellom 0,08-0,48, altså 0,40 mm, har vi en vinkelavvik på over 2°. Siden alle hull har dybdeforskjell mindre enn maks avvik, er alle hull vinklet med avvik mindre enn 2°.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 21.05.2017	

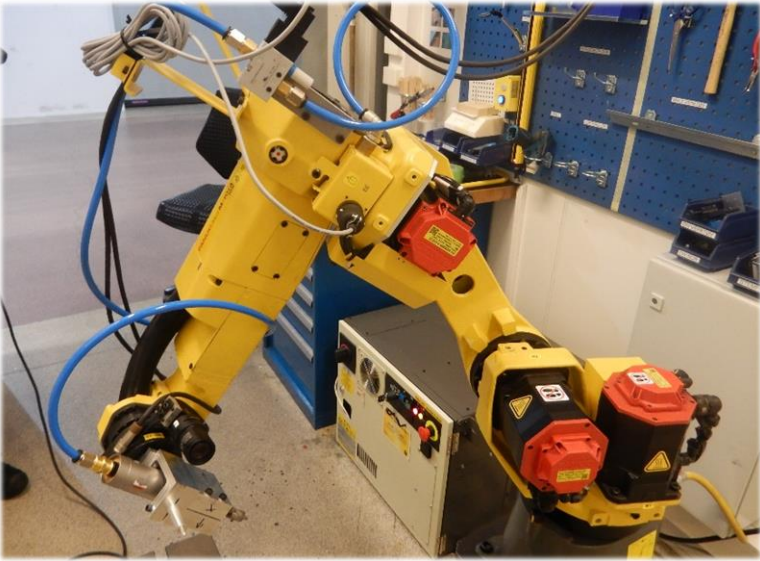
Testrapport ID: TR-022			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-529	SAT	A	K-105
<p>Beskrivelse: Systemet skal forsenke med en vinkel på $90^\circ \pm 2^\circ$ i forhold til arbeidsoverflaten.</p> <p>Hensikt: Det er viktig at forsenkningen har riktig vinkel i forhold til arbeidsoverflaten slik at når naglen blir skutt på plass, vil den sitte riktig.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ PC▪ Måleverktøy for vinkel▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Systemet lager forsenkning på en testdel, der vinkelen til forsenkningen i forhold til arbeidsoverflaten blir målt ved bruk av en formel fra avvik verdier vi får ved dybdemåling av naglehodet i forhold til arbeidsoverflaten.</p> <p>Konklusjon: Vi har målt vinkelavvik ved å måle dybden på naglen når plassert inn i forsenkningen. Her har vi benyttet en metode hvor vi måler 4 steder på nagle hodet slik at vi får dybde avvik. Dette kan overføres til vinkelavvik ved bruk av en enkel formel. Om vi har ett dybdeavvik som er større enn differensen mellom 0,08-0,48, altså 0,40 mm, har vi en vinkel avvik på over 2°. Siden alle forsenkninger har dybde forskjell mindre enn maks avvik, er alle forsenkninger vinklet med avvik mindre enn 2°.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 21.05.2017	


Testrapport ID: TR-023			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-530	SAT	A	K-104
<p>Beskrivelse: Forsenkingsdiameteren skal være på mellom \varnothing 13,360 – 13,970 mm etter at operasjonene er utført av systemet.</p> <p>Hensikt: Dette er for at forsenkningen hverken blir for stort eller for liten i forhold til naglen som skal bli skutt på plass blir flush med arbeidsoverflaten.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ PC▪ Måleverktøy▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Systemet lager forsenkning på arbeidsdel. Vi legger ett naglehode inn i hullet og måler dybden fra arbeidsflaten til naglehode. Avstanden mellom arbeidsflaten og naglehode kan være på mellom 0,08 – 0,48 mm. Dette er en verdi KDA har brukt i sine tester.</p> <p>Konklusjon: Etter målinger ligger naglehodet plassert etter kravene. Siden diameterstørrelsen kommer fra dybdekravet, vil dette si at diameter kravet er innfridd.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 21.05.2017	

Testrapport ID: TR-024			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-531	SAT	B	K-106
<p>Beskrivelse: Systemet skal utføre en full boringsprosess.</p> <p>Hensikt: For å teste om systemet klarer å utføre en hel operasjonssyklus på en del uten feil.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ PC▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Systemet blir settet i gang hvor den vil forsøke å gjennomføre en hel operasjonssyklus uten stopp i prosessen.</p> <p>Konklusjon: Vi har kjørt en fullstendig prosess hvor vi har boret alle hull på arbeidsdelen. Systemet merket ingen problemer underveis og gjennomføringen var vellykket.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alle		Dato: 21.05.2017	

Testrapport ID: TR-025			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-532	SAT	B	K-107
<p>Beskrivelse: Systemet skal utføre en full forsenkningsprosess.</p> <p>Hensikt: For å teste om systemet klarer å utføre en hel operasjonssyklus på en del uten feil.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ PC▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Systemet blir settet i gang hvor den vil forsøke å gjennomføre en hel operasjonssyklus uten stopp i prosessen.</p> <p>Konklusjon: Vi har kjørt en fullstendig prosess hvor vi har forsenket alle hull. Systemet merket ingen problemer underveis og gjennomføringen var vellykket.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alle		Dato:	

Testrapport ID: TR-026			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-533	SAT	A-C	K-307
<p>Beskrivelse: Teste at vi klarer å feste arbeidsdelen innenfor A: 23,5 x 15 cm, B: 20 x 13 cm og C: Samme posisjon hver gang.</p> <p>Hensikt: Målet med dette er å gjøre delen mest mulig probebart, slik at vi får minst mulig stopp i prosessen på grunn av feil.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Arbeidsdel▪ Feste▪ Måle <p>Testmetode: KDA har gått til anskaffelse av et bord med T-profilspor. Vi vil definere et område på dette bordet og måle posisjonen til delen ut ifra dette. Vi vil måle avviket på hvor likt delen blir settet for hver gang.</p> <p>Konklusjon: Vi klarer alltid å plassere delen innenfor det markerte område for krav A som er 23,5 x 15 cm.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alihsan Sicim		Dato: 19.05.2017	

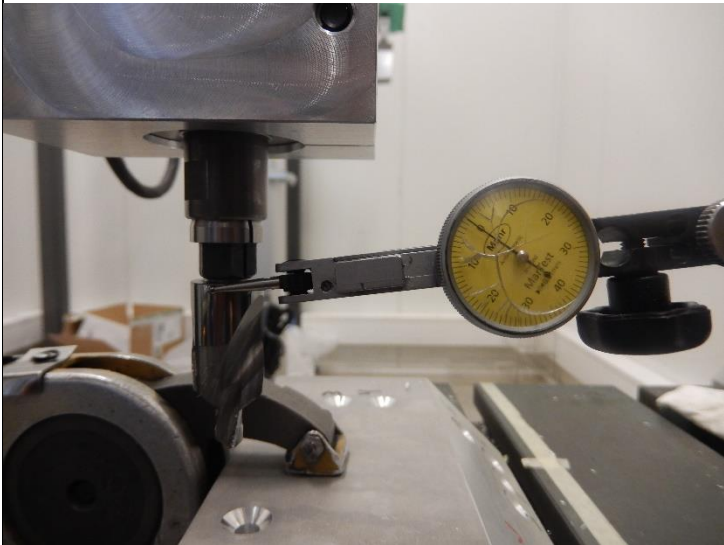
Testrapport ID: TR-027			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-534	SAT	A	K-204, K-220, K221
<p>Beskrivelse: Multiverktøyet skal ha mulighet for å kunne bore, forsenke og probe.</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er å visuelt kontrollere at alt passer sammen og at systemet klarer å utføre disse operasjonene.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ Verktøy ▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Sette sammen alle delene, visuelt kontrollere at alt passer sammen og er koblet sammen som de er ment. Kjøre en test der systemet prøver, borer og forsenker.</p> <p>Konklusjon: Alle delene passer sammen. Etter å ha kjørt en test av systemet kan vi bekrefte at systemet klarer å probe, bore og forsenke.</p>			
			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Eivind og David		Dato: 20.05.2017	

Testrapport ID: TR-028			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-536	SAT	A	K-217
<p>Beskrivelse: Multiverktøyet skal ikke overstige 9,43 kg.</p> <p>Hensikt: Hensikten er at multiverktøyet ikke skal overstige løftekapasiteten til robotarmen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiverktøy ▪ Vekt <p>Testmetode: Veie multiverktøyet fysisk.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Vi har veid alle delene til multiverktøyet og den totale vekten kom på 1891,7 g eller 1,89 kg.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alihsan Sicim		Dato: 16.05.2017	

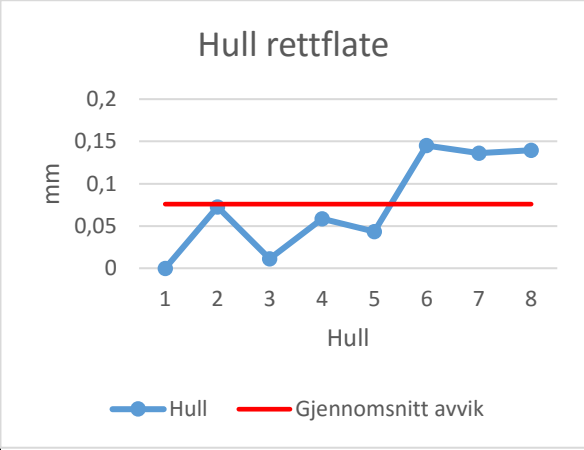
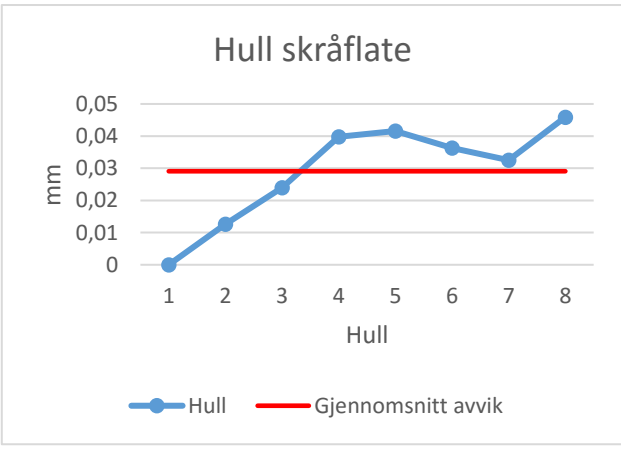
Testrapport ID: TR-029			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-537	SAT	A	K-310
<p>Beskrivelse: Flydelen består av 2 deler. Under operasjonen skal disse delene være låst opp mot hverandre.</p> <p>Hensikt: Hensikten er at disse delene ikke beveger seg opp mot hverandre, slik at det oppstår feil ved enten boringen eller forsenkningen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Flydelene▪ Låsmekanismen <p>Testmetode: Låse delene sammen. Prøve fysisk å bevege de. Observere under operasjon at de ikke beveger seg. Måle etter operasjonen at de har de samme posisjonene som før operasjon.</p> <p>Konklusjon: Testen har ikke blitt utført siden vi kom ikke langt nok i prosjektet til at vi kunne begynne å operere på de virkelige flydelene.</p>			
Status: Ikke utført		Resultat: Ikke utført	
Utført av:		Dato:	

Testrapport ID: TR-030			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-538	SAT	A	K-309
<p>Beskrivelse: Operasjonsområde på arbeidsdelen skal være innenfor rekkevidden til robotarmen.</p> <p>Hensikt: Målet med denne testen er å forsikre oss om at operasjonen kan bli utført uten å måtte flytte på arbeidsdelen.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB <p>Testmetode: Feste arbeidsdelen slik den er ment å bli festet under operasjon. Manuelt styre robotarmen og teste at den når alle operasjonelle områder på delen.</p> <p>Konklusjon: Robotarmen har blitt kontrollert manuelt, der prosessen har blitt visuelt observert. Robotarmen rekker alle områdene på delen.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alle		Dato: 18.05.2017	

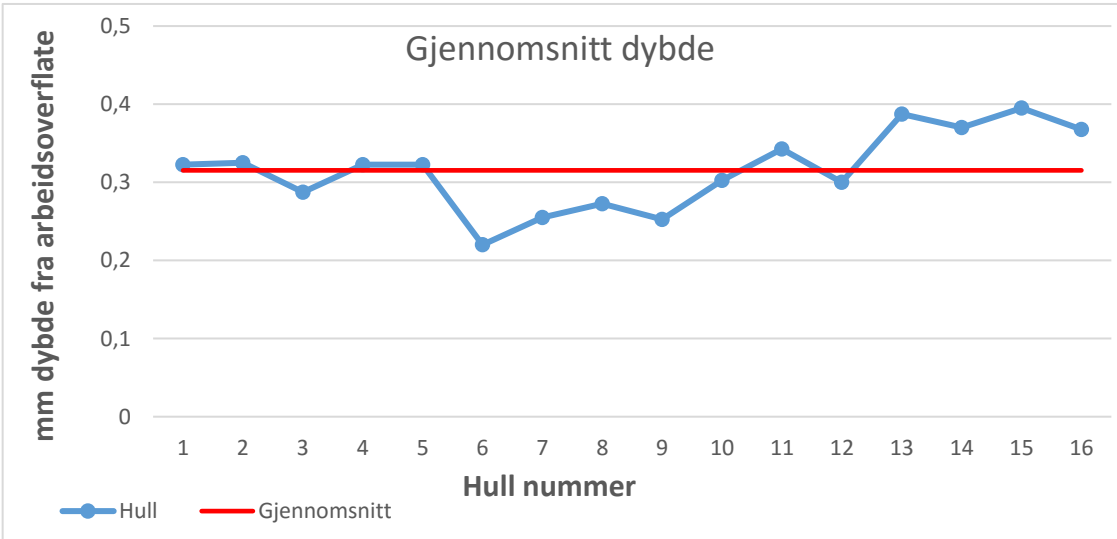
Testrapport ID: TR-031			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-539	SAT	A	K-301, K-302, K-303, K-304 K-305, K-306
<p>Beskrivelse: Arbeidsdelen skal være låst mot alle bevegelser i alle aksene (XYZ og WPR) under operasjon.</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er å eliminere en feilkilde- Hvis delene beveger seg under operasjon vil sluttresultatet bli feil.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB <p>Testmetode: Feste delen, måle posisjonen dens. Etter endt operasjon måler vi posisjonen på nytt og sammenligner med oppstartsposisjon.</p> <p>Konklusjon: Delen beveger seg ikke under operasjon. Målene før og etter operasjon er lik.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 21.05.2017	

Testrapport ID: TR-032			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-540	SAT	A	K-210, K-211
<p>Beskrivelse: Undersøke om det er kast på spesialverktøyet når den er montert på spindelen.</p> <p>Hensikt: Hensikten er å eliminere og luke ut mulige feilkilder fra systemet.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ Multiverktøy ▪ Målingsverktøy <p>Testmetode: Montere boret med forsenkeren på spindelen og måle med måleverktøy om det er noe kast, eventuelt hvor mye.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Vi har målt kastet på skjæreverktøyet når det er montert på spindelen. Kastet var på maks 0.03 mm. Dette resultatet er godkjent.</p> </div> </div>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 19.05.2017	

Testrapport ID: TR-033			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-542	SAT	A	K-203
<p>Beskrivelse: Multiverktøyet skal festes til robotarmen.</p> <p>Hensikt: Målet med denne testen er å se om det er mulig å feste multiverktøyet til robotarmen. Som er essensielt for at systemet vårt skal kunne utføre oppgaven den er bygget for.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ Multiverktøy <p>Testmetode: Fester multiverktøyet til robotarmen og kontrollerer visuelt at alt passer sammen.</p> <p>Konklusjon: Multiverktøyet har blitt montert på robotarmen uten problem.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Alle		Dato: 18.05.2017	

Testrapport ID: TR-034																																							
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:																																				
T-543	SAT	A	K-112																																				
<p>Beskrivelse: Utfører en systemtest, der vi tester om systemet klarer å bore innenfor optimalsenterpunkt med mindre enn 0,2032 mm avvik.</p> <p>Hensikt: Hensikten er å se om systemet klarer å oppfylle kravene.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel ▪ Måleverktøy <p>Testmetode: Systemet utfører en boreoperasjon deretter blir avviket målt i maskin. 0 punkt ble settet på første hull og posisjonsavvik på resterende hull ble målt i forhold til dette punktet.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="175 1093 762 1541">  <table border="1"> <caption>Hull rettflate</caption> <thead> <tr> <th>Hull</th> <th>Avvik (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.0758</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.0100</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.0550</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.0450</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.1451</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.1350</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.1400</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="778 1093 1401 1541">  <table border="1"> <caption>Hull skråflate</caption> <thead> <tr> <th>Hull</th> <th>Avvik (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.0120</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.0220</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.0380</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.0459</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.0350</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.0320</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.0450</td></tr> </tbody> </table> </div> </div> <p>Som vi kan se fra grafen for rettflate, er den maksimale avviket fra optimalsenterpunkt 0,1451 mm. Gjennomsnitt avviket fra optimalsenterpunkt er 0,075825 mm.</p> <p>Maksimalt avviket fra optimalsenterpunkt på skråflaten er på 0,0459 mm. Gjennomsnitt avviket fra optimalsenterpunkt er 0,029085 mm.</p> <p>Hullene på både rettflate og skråflaten på arbeidsdelen er innenfor kravene.</p>				Hull	Avvik (mm)	1	0.0000	2	0.0758	3	0.0100	4	0.0550	5	0.0450	6	0.1451	7	0.1350	8	0.1400	Hull	Avvik (mm)	1	0.0000	2	0.0120	3	0.0220	4	0.0380	5	0.0459	6	0.0350	7	0.0320	8	0.0450
Hull	Avvik (mm)																																						
1	0.0000																																						
2	0.0758																																						
3	0.0100																																						
4	0.0550																																						
5	0.0450																																						
6	0.1451																																						
7	0.1350																																						
8	0.1400																																						
Hull	Avvik (mm)																																						
1	0.0000																																						
2	0.0120																																						
3	0.0220																																						
4	0.0380																																						
5	0.0459																																						
6	0.0350																																						
7	0.0320																																						
8	0.0450																																						
Status: Utført		Resultat: Godkjent																																					
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 22.05.2017																																					

Testrapport ID: TR-035			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-544	SAT	A	K-117
<p>Beskrivelse: Undersøke om systemet skader delen den opererer på. Selv om hullet og forsenkningen blir riktig kan selve delen ta skader andre steder.</p> <p>Hensikt: Hensikten er å finne ut om systemet vårt skader delen slik at den må bli kassert.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Kjører en systemoperasjon der systemet prøver, borer og forsenker. Operasjonen blir observert, slik at man kan oppdage om systemet kommer bort i områder den ikke skal. Etter operasjonen blir delen tatt inn til observasjon slik at man kan undersøke delen nærmere for å se om den har tatt andre skader fra for eksempel spon.</p> <p>Konklusjon: Under testing har systemet oppført seg som ønsket og ingen arbeidsdel har kommet til skade.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 21.05.2017	

Testrapport ID: TR-036																																					
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:																																		
T-545	SAT	A	K-118																																		
<p>Beskrivelse: Naglehode skal være mellom 0,08 – 0,48 mm under overflaten etter at den har blitt skutt på plass.</p> <p>Hensikt: Hensikten med dette er at naglehode er flush med arbeidsoverflaten.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RoboGuide ▪ FANUC M10iA/10S ▪ FANUC FS-15iA ▪ FANUC R-30iB ▪ Multiverktøy ▪ Arbeidsdel ▪ Nagle <p>Testmetode: Systemet lager forsenkning på arbeidsdel. Vi legger ett naglehode inn i hullet og måler dybden fra arbeidsflaten til naglehode. Avstanden mellom arbeidsflaten og naglehode kan være på mellom 0,08 – 0,48 mm. Dette er en verdi KDA har brukt i sine tester.</p> <p>Konklusjon:</p> <div style="text-align: center;">  <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <caption>Gjennomsnitt dybde</caption> <thead> <tr> <th>Hull nummer</th> <th>Dybde (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,28</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,22</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,27</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>11</td><td>0,34</td></tr> <tr><td>12</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>13</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>14</td><td>0,37</td></tr> <tr><td>15</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>16</td><td>0,37</td></tr> </tbody> </table> </div> <p>Grafen viser gjennomsnitt dybdemål fra hvert hull på testdelen. Alle mål er innenfor kravet. Maks dybde er 0,395 mm. Min dybde er 0,220 mm. Maks differanse: 0,175 mm.</p>				Hull nummer	Dybde (mm)	1	0,32	2	0,32	3	0,28	4	0,32	5	0,32	6	0,22	7	0,25	8	0,27	9	0,25	10	0,30	11	0,34	12	0,30	13	0,39	14	0,37	15	0,39	16	0,37
Hull nummer	Dybde (mm)																																				
1	0,32																																				
2	0,32																																				
3	0,28																																				
4	0,32																																				
5	0,32																																				
6	0,22																																				
7	0,25																																				
8	0,27																																				
9	0,25																																				
10	0,30																																				
11	0,34																																				
12	0,30																																				
13	0,39																																				
14	0,37																																				
15	0,39																																				
16	0,37																																				
Status: Utført		Resultat: Godkjent																																			
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 21.05.2017																																			

Testrapport ID: TR-037			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-546	SAT	A	K-103
<p>Beskrivelse: Forsenkningen skal ha vinkel på $100^\circ \pm 0,5^\circ$.</p> <p>Hensikt: Dette for at naglen skal kunne bli skutt riktig på plass.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Etter at systemet har boret og forsenket, vil nødvendige målinger bli utført.</p> <p>Konklusjon: Vi har ikke hatt muligheten til å teste dette kravet med riktig måleverktøy og kan derfor ikke utføre denne testen. Siden dette resultatet er avhengig av forsenker vinkel så tror vi at resultat er innenfor kravet, men dette kan ikke bekreftes før måling.</p>			
Status: Ikke utført		Resultat: Ikke utført	
Utført av:		Dato:	

Testrapport ID: TR-038			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-547	SAT	A	K-116
<p>Beskrivelse: Systemet skal klare å bore en dybde på 8,128 mm.</p> <p>Hensikt: Målet med dette er at systemet skal klare å bore et hull som er gjennomgående på begge delene. For at naglen skal kunne bli skutt på plass.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ RoboGuide▪ FANUC M10iA/10S▪ FANUC FS-15iA▪ FANUC R-30iB▪ Multiverktøy▪ Arbeidsdel <p>Testmetode: Etter at systemet har boret hullet ferdig, vil en visuell test bli utført der man vil se om boret har boret $\geq 8,128$ mm. Det vil også bli gjort nødvendige målinger med måleverktøy (dybdemåler) for å bekrefte at hullet har blitt utført etter krav.</p> <p>Konklusjon: Vi har målt dybden på alle hull for testdelen etter en fullstendig operasjon, hvor alle mål oppnådde en dybde på $\geq 8,128$ mm.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim og Morten Aker		Dato: 21.05.2017	

Testrapport ID: TR-039			
Test ID:	Testtype:	Prioritet:	Krav ID:
T-554	SAT	A-C	K-308
<p>Beskrivelse: Delen skal festes innenfor A: 20°, B: 10°, C: 0°, av optimal rotasjonsvinkel for hver operasjon.</p> <p>Hensikt: Finne ut av hvilke parametere roboten må jobbe med. For å finne ut om feilen ligger i plasseringen av delen eller roboten.</p> <p>Utstyr:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Feste▪ Arbeidsdel▪ System <p>Testmetode: Sette opp delen der den skal være plassert flere ganger og måle for hver gang. Slik at vi kan se hvor gjentagende og nøyaktig delen kan bli plassert.</p> <p>Konklusjon: Delen blir plassert alltid med 10° av optimal rotasjonsvinkel for hver operasjon. Vi har derfor innfridd A og B kravet.</p>			
Status: Utført		Resultat: Godkjent	
Utført av: Aliihsan Sicim		Dato: 19.05.2017	

3. Konklusjon

For å konkludere har vi forsøkt å gjennomføre alle testene vi har konstruert for å tilfredsstille kravene for vårt prosjekt. Vi har nå fått ett overblikk over hva den endelige funksjonaliteten til vårt system er og hva som kan forbedres til eventuelt neste versjon av prototypen. De fleste testene ble godkjent, hvor vårt system fikk tilfredsstilt kravet. Få krav ble ikke godkjent samt ikke utført. Ved å følge testplanen har vi kunnet enkelt lokalisere hvor systemets svakheter og feil befinner seg og mulige årsaker til hvorfor denne feilen eller svakheten oppstår. Vi som gruppe føler at resultatet av testrapporten er svært god og vi er fornøyd med resultatet av systemet. Noen krav ble ikke gjennomført fordi vi manglet riktig måleverktøy.

Krav K-103, og K-310 ble ikke gjennomført i testrapporten. Videre ble krav K-205, K-206 og K-101 ikke godkjent siden de ikke innfridde kravet satt for den testen. Krav K-205 er ett C krav og er derfor ikke av stor betydning til vårt prosjekt ettersom det ikke ble godkjent. Krav K-206 er ett B krav som vi burde ha innfridd men hindrer ikke godkjenning av systemets evne til å gjennomføre dens oppgave. Krav K-101 er ett A krav som var viktig at systemet vårt tilfredsstilte. Dette kravet innebærer at det ferdigboret hullet er av riktig størrelse. Etter nøyaktig måling fant vi ut at diameterverdien på alle hull testet hadde gjennomsnittavvik som var utenfor kravet. Det vil derfor være mulig å innfri dette kravet ved å modifisere diameteren på spesialverktøyet med 0,09 mm slik at alle verdier oppnådd under testing faller innenfor kravet.

Om vi fikk mer tid til å jobbe videre med prosjektet kunne vi ha gjennomført testene som ikke ble utført i denne testrapporten og sørget for at systemet vår tilfredsstilte alle krav satt for dette prosjektet. Men med tiden vi har hatt, er vi svært fornøyd med resultatet vi har oppnådd og føler at vårt system oppfyller forventet funksjonaliteten.

3.1. Videre Arbeid

Selv om vi har fullført prosjektet på en god måte, er det visse områder rundt prosjektet som trenger videre arbeid slik at systemet blir optimalisert og tilfredsstillende alle krav, i tillegg til kravene som ikke er satt for denne oppgaven. Som nevnt i utviklingsdokumentet er overflateresultatet på forsenkingen ikke av ønsket resultat. Her er det flere variabler som kan bli justert for å finpusse resultatet. Dette inkluderer, undersøkelse av spesialverktøyet slik at vi eliminerer at spesialverktøyet er årsaken til ufin overflate, finpusse matningshastighet og se på muligheter for å redusere rotasjonshastigheten. Videre så fikk vi uventede vibrasjoner i hele systemet. Dette kan være en annen mulig årsak til dårlig overflatefinish som kan bli undersøkt videre.

Vi som gruppe mener at vibrasjoner som oppsto under operasjon er hovedårsaken til at systemet ikke genererte fin overflatefinish. Ved kort undersøkelse er det hovedsakelig to type vibrasjoner som kan oppstå under boring og forsenking. Disse to variantene er chatter og lav frekvens vibrasjoner. Chatter kan beskrives som: når verktøyet skjærer, forvrenger det på grunn av lastet som oppstår på verktøyets skjærkanter. Lasten er i form av vridning, men forvrengningen av drillen har også en aksial motstykke. Vridningen forårsaker drillen til å `koble av`. Drillen vil ved dette punktet lyst til å forlenge seg. Men denne forlengelsen er motstått av skyvekraften fra drillen og av drillens aksial stivhet. Resultatet blir derfor to krefter som kjemper mot værandre i hullet: vridningskraften prøver å forlenge drillen og motstående kraften prøver å forhindre denne forlengelsen. Drillen varierer mellom disse to motstående kreftene. Bevegelsen som oppstår kan etterligne piggboring. [1]



Figur 3.1.1: *Bilde av utarbeidet hull*

Overflate bølgene som oppstår fra en slik skjæringsprosess ser ut som en solstråle mønster sprett ut på overflaten som vist på figur 3.1.1. Chatter kan oppstå ved hvilken som helst RPM hvor da drillens inn-og-ut bevegelser forstyrrer bølgeoverflaten som formerer seg av forrige revolusjon fra drillen. Når spindelen roterer vil den krasje med disse bølgene på overflaten fra forrige revolusjon og denne bølgeheten vil øke. Dette kan være alvorlig for karbidverktøy i forhold til HSS verktøy. Karbid verktøy har bedre utmattingssegenskaper, men har mindre motstand til støtlignende bevegelser. Mange gjentakende sykluser kan føre til brudd i verktøyet. [1]

Den beste løsningen for å forhindre eller redusere chatter er å velge riktig spindel hastighet. Det kan være ekstremt vanskelig å innskrenke til riktig hastighet. Lyden på chatter vil bli redusert hvor nærmere du kommer til riktig hastighet, samt synlige vibrasjoner vil minke. Det finnes også andre metoder for å redusere chatter som ikke har noe med hastighet å gjøre. Spesialverktøyet som er tatt i bruk for dette prosjektet kan få økt web tykkelse. Dette var kort skrevet om i utviklingsdokument-multiverktøy under beregninger. Web tykkelse på verktøy er vanligvis omtrent 10-20 prosent av diameter. Ved å øke web tykkelsen til 30-40 prosent av

diameteren øker vi stivheten og tykkere web pleier å chatter mindre. Annen løsning er å øke matningshastighet. Dette har vi fort forsøkt men virket som det forverret chatter. [1]

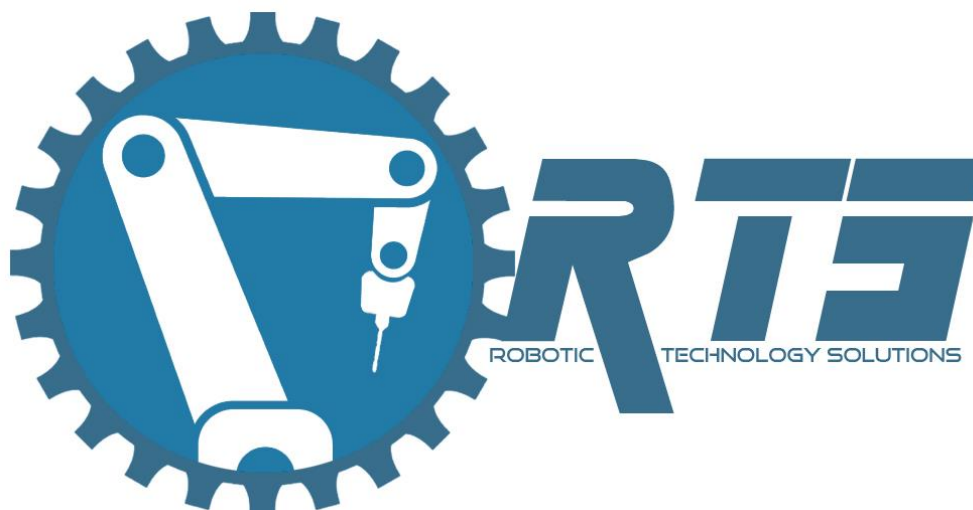
Den andre typen av vibrasjon er lav frekvens vibrasjon. Denne kan mest på virke rundheten på hullet men også overflatefinish. Mens verktøyet beveger seg inn og ut i en høyfrekvensbevegelse, kan verktøyet svinge fram og tilbake i en mye lavere frekvens. Denne bevegelsen har en tendens til å formere bølgeformer på overflaten som kan øke størrelsen på vibrasjonene i seg selv. Denne vibrasjonen tilnærmer seg chatter men denne vibrasjonene pleier å være i frekvens områder som er en verdi ganget med spindel hastigheten. For å redusere denne type vibrasjon kan stivheten på spesialverktøyet økes, øke mengden av «flutes» på verktøyet, men dette er negativt med tanke på chatter. Det er ikke mye man får gjort for å redusere denne type vibrasjon, men kan være noe å undersøke mer på. [1]

Det er ett spørsmål om selve roboten klarer å håndtere kreftene som oppstår under en boring og forskningsprosess. Om vibrasjoner i roboten forsetter som årsak av kreftene, kan en løsning være å implementere systemet vårt til en kraftigere robot.

Videre, så ledet prosjektet oss aldri til muligheten av å operere på flystruktur komponentene. Her er det en del ting som må bli gjort for at systemet skal kunne operere på de virkelige delene. Ett solid festemekanisme til flystrukturen må bli konstruert hvor det er mulig å feste flystrukturen til fiksturet vi har jobbet med i prosjektet. Flystrukturen er laget av to deler hvor styrepinner er benyttet for å holde de sammen. Disse blir plassert i hull som skal bli utarbeidet. Her er det mulighet til å forske på forskjellige måter å få systemet vårt til å flytte på disse pinnene autonomt, slik at det ikke vil hindre systemet til å gjennomføre boring og forskning på alle hull i en og samme prosess.

4. Kilder

[1] Zelinski, Peter. "The Dynamics Of Better Drilling." *Modern Machine Shop*. Modern Machine Shop, 31 May 2001. Web. 23 May 2017. <<http://www.mmsonline.com/articles/the-dynamics-of-better-drilling>>.



Sluttevalueringsdokument		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Alihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	23.05.2017	Første offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

1. Sluttevaluering	3
1.1. <i>Resultat av prosjektet</i>	3
1.2. <i>Evaluering av gruppearbeid</i>	3
1.3. <i>Intern og ekstern veileder</i>	3
2. Egenevaluering	4
2.1. <i>Eivind Lenschow</i>	4
2.2. <i>Morten Aker</i>	5
2.3. <i>Aliihsan Sicim</i>	6
2.4. <i>Maria Løvold</i>	7
2.5. <i>David Løken</i>	8

1. Sluttevaluering

1.1. Resultat av prosjektet

Vi som gruppe er veldig fornøyd med sluttresultatet av prosjektet. Vi har ikke bare designet, men i tillegg produsert og testet ett fullstendig system. Systemet inneholder ett multiverktøy som er montert sammen av flere komponenter som vi har designet og produsert. Multiverktøyet er integrert med en kraftsensor, 2D «iRvision» og robot, som utgjør systemet vårt. Systemet er programmert av oss til å utføre probing, boring og forsenkingsprosess autonomt. Systemet vi har satt sammen utfører denne prosessen innenfor kritiske krav utenom ett, hvor vi er sikre på at dette kan innfris ved enkel justering. Vi har dermed kommet fram til ett produkt som innfris både vår og kundens forventinger.

Vi har jobbet med prosjektet etter prosjektplanen. Vi har måttet justere prosjektplanen gjennom prosjektet. Ettersom noen oppgaver har vist seg å ta lengre tid enn forventet og andre oppgaver har tatt mindre tid enn forventet. Prosjektplanen har hjulpet oss med å komme i mål med prosjektet i tide, og bidratt til ett vellykket sluttresultat for prosjektet.

1.2. Evaluering av gruppearbeid

Gruppedynamikken har vært veldig god gjennom hele prosjektet. Vi har delt arbeidsoppgavene jevnt slik at alle gruppemedlemmene har hatt verdifulle bidrag til prosjektet. Jobbingen har vært effektivt og produktivt hvor gruppemedlemmene har vært flinke til å jobbe selvstendig og i gruppe. Arbeidsoppgavene ble fordelt slik at maskinstudentene, Morten og Alihsan, jobbet tett sammen med design og produksjon av deler, og elektrostudentene, Maria, David og Eivind, jobbet tett sammen om systemprosessen. Det har vært viktig for gruppen å holde en god kommunikasjon på tvers av disiplinene gjennom prosjektet. Oppgaven har krevd et godt sammensatt system, hvor vi kontinuerlig har diskutert den optimale sammensatte løsningen. Elektrostudentene har kommet med noen krav til delene som produseres, og maskinstudentene har kommet med noen krav til systemet. Ved å evaluere fordelene og ulempene ved valg av løsning føler vi at vi har kommet frem til en god løsning.

1.3. Intern og ekstern veileder

Den interne veilederen har vært tilgjengelig ved etterspørsel, men har da gitt lite veiledning gjennom denne perioden. I starten av prosjektet var kommunikasjonen mellom den interne veilederen og gruppen mindre god. Dette er noe som kom seg etter hvert, men på grunn av veileders arbeidstid og gruppens behov for å være hos arbeidsgiver har det ikke alltid vært like lett å møtes for veiledningsmøter.

Ekstern veileder har vært til stor hjelp i prosjektet. Vi har hatt mange besøk hos oppdragsgiver hvor vi har kunnet jobbet med systemet og videreutvikle det til resultatet vi har kommet frem til i dette prosjektet. Videre så har ekstern veileder vært engasjert ved å vise hans interesse for prosjektet og ledet oss mot ett vellykket resultat.

2. Egevaluering

2.1. Eivind Lenschow

Som avslutning på bachelorprosjektet vil jeg i denne teksten gjøre en egevaluering av hvordan prosjektet har vært for meg, hvordan jeg synes prosjektet har gått og hva som kunne vært gjort annerledes.

Til å starte vil jeg takke Kongsberg Defence & Aerospace (KDA) for å gi oss denne oppgaven. Jeg vil takke for at de har gitt oss en så interessant og relevant oppgave, samtidig som de har lagt godt til rette for å nå målet om å produsere og teste produktet vi lager. I denne sammenheng vil jeg gi en spesiell takk til vår eksterne veileder Simen Hagen Bredvold for god og tett oppfølging gjennom hele prosessen.

Å jobbe med å automatisere prosesser ved bruk av robot er noe jeg lenge har ønsket å jobbe med. Personlig synes jeg det har vært veldig givende å jobbe med dette prosjektet. Det har vært spesielt gøy å jobbe med de tekniske løsningene. Å se prosjektet gå fra konsept til produkt, med løsninger vi som gruppe har utarbeidet, har vært veldig morsomt.

Prosjektet har vært en god læringsprosess. Jeg har virkelig lært veldig mye på disse månedene. I det tekniske har jeg gått fra å ikke kunne noe særlig om robotisering til å føle at dette er noe jeg mestrer i god nok grad til å gjennomføre vanskelige prosjekter og utfordringer rundt robotisering. Jeg har fått et innblikk i industrien og lært mer om hvordan KDA og industrien fungerer.

Jeg har også lært veldig mye om prosjektoppbygging og planlegging. Som prosjektleder har jeg hatt et ekstra ansvar for prosjektets gang og gjennomføring. Dette er en ny rolle for meg, men jeg føler det har gått veldig bra. Jeg har fokusert på å at vi skal ha en god gruppedynamikk gjennom hele prosjektet, noe jeg føler vi som gruppe har hatt. Jeg tenker også at det har vært viktig å sette krav til kvaliteten av arbeidet hver enkelt gjør, og samtidig synes jeg det har vært viktig og bra å gi alle frie nok tøyler til å jobbe på sin måte.

Det har vært litt ekstra arbeid som prosjektleder. Spesielt i starten av prosjektet merket jeg raskt viktigheten av å jobbe noen ekstra timer for å få en god oversikt over hva som skal gjøres og hvordan vi skal fordele oppgaver. Jeg synes også det har vært veldig gøy å være prosjektleder for dette prosjektet og denne gruppen. Gruppen har gjort det enkelt å være prosjektleder. Jeg er svært fornøyd med hvordan vi som gruppe har jobbet sammen gjennom hele prosessen og veldig fornøyd med bidragene til alle på gruppen. Jeg vil gjerne takke alle grupped medlemmene for noen fine måneder med godt samarbeid, hard jobbing og god stemning.

Når jeg ser tilbake synes jeg det er mye vi har gjort veldig bra. En ting jeg ville gjort annerledes er å ha et større fokus på å få bestilt utstyret vi trenger så raskt som mulig, og sørget for at vi hadde alt utstyr i god tid før vi trengte det.

Til slutt vil jeg også takke Høgskolen i Sørøst-Norge for et fint bachelorprogram.

2.2. Morten Aker

Etter flere måneder med hard og effektivt arbeid, er det snart slutt på hovedprosjektet. Jeg vil derfor ta tiden og gleden av å reflektere over hvordan prosjektet har gått i sin helhet, samt alle erfaringer den har gitt meg. Hovedprosjektet har utvilsomt vært den største utfordringen i min utdanning hos HSN, men har også vært utfordringen som har gitt meg størst utbytte. Oppgaven vi har fått æren av å jobbe med ble utgitt av Kongsberg Defence & Aerospace. Dette var bedriften jeg ønsket å få oppgave hos som har vært en stor fordel fra min side. Oppgaven var utfordrende, lærerikt, morsomt og spennende. Jeg vil av glede avslutte dette prosjektet med god følelse ettersom vi har ent opp med en ferdigstilt prototype som startet fra en ide.

Prosjektgruppen som jeg har jobbet med for å utføre denne oppgaven består av 3 elektrostudenter og 2 maskinstudenter inkludert meg selv. Samarbeidet i gruppen har vært bra og strukturert som har bidratt til at prosjektet har kommet så langt som det har. Vi har vært flinke på å dele opp oppgaver til gruppemedlemmene for individuelt arbeid samt jobbet sammen på flere andre. Dette har uten tvil bidratt til økt kvalitet på prosjektet. Videre så har vår oppdragsgiver vært svært hjelpelig med spørsmål og tilgang til praksis jobbing med systemet hos bedriften. Dette samt samarbeidet med gruppen har ført til vår mulighet for produksjon av en prototype.

Oppgaven har gått ut på å lære en FANUC serie robot, designe ett multiverktøy og lære om funksjonene til FANUC sin kraftsensor som er implementert med roboten. Dette systemet når integrert sammen vil utføre en autonom boring og forsenkings prosess i flystrukturer laget av aluminium. Elektrostudentene har hatt fokus på programmering av roboten og lære seg funksjonene til kraftsensoren mens maskin studentene fikk som oppgaven å designe multiverktøyet og utføre testing. Oppgaven fikk ett bredt spekter av oppgaver som har gitt vær medlem en viktig plass i prosjektet. Jeg var hovedansvarlig for design og konstruksjonsfasen av multiverktøyet.

Fra et faglig synspunkt har prosjektet vært svært hjelpelig og utbytterikt i min studieretning. Oppgaven har inneholdt mange faglige rike utfordringer hvor vi har hatt nødt til å benytte vår kunnskap fra tidligere fag for å gjennomføre prosjektet. Videre så har dokumentasjon vært en stor del av prosjektet som har forbedret min evne til å produsere dokumentasjon med kvalitet samt evnen til å planlegge og strukturere en slik større oppgave. Utnyttelse av en god prosjektmodell med andre akademiske verktøy har bidratt til å kvalitetssikre og skyve gruppen igjennom prosjektet med ett solid bakbein.

Utvikling av multiverktøyet har hjulpet meg enormt med å øke forståelsen i fagene som har vært relevant og evnen til å benytte teori fra fag og tilføre dette til praksis arbeid og utvikling. Denne overføringen fra teori til praksis har ikke vært en lett prosess, i hvert fall ikke når du ikke har en fasit å jobbe imot. Etter å ha denne erfaring har det vært en glede å se ens ideer bli utviklet til en prototype som oppfyller funksjon. Jeg har vært heldig med type oppgave og bedriften som representerte oppgaven. Dette har vært en driver for motivasjon og energien til å jobbe med dette prosjektet fra start til slutt. Mengde av arbeid har vært utfordrende til tider og energien har vært vanskelig å holde oppe, men utbyttet har alltid vært av høyere verdi.

Til slutt vil jeg takke alle medlemmer som har vært med på dette prosjektet og takke for kjempegodt samarbeid og innsats fra alle medlemmer som har vært med på å skape ett godt arbeidsmiljø, profesjonell arbeidsfremgang, hyggelig tone og viktigst av alt, ha det gøy blant

jobbingen. Jeg vil også takke Simen, vår eksterne veileder for hans innsats og hjelpelighet i prosjektet vårt.

2.3. Alihsan Sicim

Hovedoppgaven går mot slutten, og jeg vil takke Kongsberg Defence & Aerospace for en spennende og utfordrende oppgave. Det har vært en ære å få jobbe med Kongsberg Defence & Aerospace med hovedoppgaven. De har vært utrolig hjelpsomme og tilrettelagt for at ting skal gå rundt for oss. Jeg vil spesielt takke vår eksterne sensor, Simen Bredvold, for å ha vært veldig engasjert og tilgjengelig gjennom hele prosjektet.

Hovedoppgaven har vært den største utfordringen jeg har møtt som student her ved Høgskolen i Kongsberg. Jeg har vært nødt til å utnytte alt jeg har lært i løpet av de tre årene jeg har studert ved høgskolen, samt mye nytt. Det har vært en bratt læringskurve under hele prosjektperioden, og dette er uten tvil noe jeg vil dra nytte av senere i arbeidslivet. Muligheten til å ha en praktisk tilnærming til design, altså at det vi designer faktisk blir produsert, har gitt meg et helhetlig bilde av prosessen fra design til produkt. Videre ga det at vi fikk være med på produksjonen av delene et ekstremt stort læringsutbytte. Dokumentasjonen har vært en stor del av oppgaven, og jeg er veldig glad for at vi hadde hatt systems engineering and design i andre klasse nå! Jeg har hatt et stort læringsutbytte av denne delen av prosjektet også, der jeg har lært meg å jobbe og skrive som en ingeniør.

Jeg var veldig spent før prosjektstart fordi jeg ikke visste hvordan det ville være å skrive hovedoppgaven for en av Norges ledende teknologiselskaper. Spenningen var også knyttet til hvordan gruppedynamikken og samarbeidet ville fungere, når man blir presentert for en så kompleks og komplisert oppgave for en ledende aktør. Prosjektgruppen består av to maskiningeniørstudenter, inkludert meg, og tre elektroingeniørstudenter, hvor jeg kjente en fra tidligere. Gruppesamarbeidet og dynamikk har vært utrolig god, og vi har utfyllt hverandre godt og jobbet effektivt gjennom hele perioden. Det har vært god stemning i gruppen under hele prosjektperioden, arbeidsfordeling har vært optimal og oppgavene har blitt fordelt jevnt blant grupped medlemmene.

Opgaven vi fikk utdelt fra Kongsberg Defence & Aerospace gikk utpå å produsere et multiverktøy som skulle festes til en robotarm med kraftsensor, samt programmere robotarmen til å utføre en probe, bore og forsøknings operasjon på en aluminiumsstruktur til fly. Maskinstudentene har hatt ansvar for å designe og produsere multiverktøyet, og elektrostudentene har hatt i oppgave å programmere robotarmen til å samarbeide med multiverktøyet vi har produsert.

Vi har klart å produsere en prototype av multiverktøyet hvor vi har fått den til å samarbeide med robotarmen, der vi har kjørt en full operasjon med probing, boring og forsøknings. Dette er noe jeg er veldig stolt av.

Til slutt vil jeg takke gruppen min for en fantastisk innsats og arbeidsvilje. Det har vært en ære å få jobbe med så engasjerte medstudenter, og det har både vært lærerikt og morsomt. Alle i gruppen har forskjellige personligheter, og sammen har vi har fått gruppearbeidet til å fungere veldig bra.

2.4. Maria Løvold

Først av alt vil jeg takke Kongsberg Defence & Aerospace for en utrolig spennende oppgave. Jeg vil også rette en spesiell takk til vår eksterne veileder Simen Hagen Bredvold for å legge så mye tid og energi inn i vårt prosjekt. Han har alltid vært tilgjengelig om det har vært noe vi skulle trenge og dette har vært en stor fordel for oss. KDA har lagt til rette for at vi skulle ha et godt utgangspunkt for å gjennomføre oppgaven.

Nå som vi nærmer oss slutten av hovedoppgaven er det morsomt å se tilbake på prosessen vi har gått gjennom. Det har vært hard jobbing med til tider veldig lange dager. Samtidig som jeg har lært masse rettet til prosjektet hvor jeg har hatt en god faglig læringskurve, har jeg også lært en del nye ting om meg selv som person og ikke minst har jeg lært gruppemedlemmene å kjenne.

Før prosjektstart var jeg veldig spent på hvordan det skulle bli å jobbe med fire andre personer gjennom en såpass lang periode, så tett på hverandre. Dette viste seg fort at ikke skulle bli noe problem, da vi har hatt en god gruppedynamikk hele veien gjennom prosjektet. Vår gruppe består av tre elektrostudenter og to maskinstudenter. Jeg hadde kun kjennskap til elektrostudentene i utgangspunktet og var veldig spent på hvordan maskinstudentene var. Det viste seg at vi ble en god gruppe som har mange forskjellige gode egenskaper som utfyller hverandre.

Gjennom prosjektet har vi gått fra en ide til et faktisk fungerende produkt. Det å ha vært med på denne prosessen fra starten har vært utrolig lærerikt. Dette er det nærmeste jeg har jobbet i et prosjekt som vil ligne ett prosjekt i arbeidslivet over en lengre periode. Det har vært utrolig spennende og noe jeg ikke ville vært foruten. Vi har fått bruk mye av tidligere kunnskaper som vi har tilegnet oss gjennom studiet, men også lært utrolig mye nytt. Ikke minst har vi lært mye om gruppearbeid over tid, samt planlegging. Faglige diskusjoner, inngå faglige kompromisser og god kommunikasjon har vært viktig for oss. Det at vi har jobbet på samme sted har ført til at disse tingene har vært lettere å gjennomføre, ikke minst for å unngå misforståelser noe som fort kan skje dersom man har all kommunikasjon skriftlig.

Det å jobbe etter en prosjektmodell er også relativt nytt for meg selv om vi også gjorde dette i Systems design and engineering faget i 2. klasse. Jeg er glad for at vi valgte Unified Process som prosjektmodell. Denne modellen har følt ganske naturlig å jobbe etter. I starten var det så klart veldig vanskelig å legge planer for hele prosjektet med tanke på tidsestimater og slikt, men da var det fint å bruke en modell som gjør det mulig å gå tilbake å endre på ting etter hvert som man tar til seg ny lærdom.

Dersom vi skulle ha startet prosjektet på nytt, ville jeg ha hatt ett større fokus på planlegging hvor vi hadde hatt mer fokus på også detaljplanlegging. Jeg ville også at vi skulle ha startet med å arbeide praktisk med robotarmen noe tidligere. Også prosessen med bestilling av spindel hadde vi nok prøvd å presse gjennom noe tidligere slik at vi hadde hatt bedre tid med denne. Hadde vi hatt denne tidligere kunne vi også begynt med testing enda tidligere. Utenom dette syntes jeg prosjektet har gått veldig bra, alle har bidratt med timene, kunnskapen, arbeidsinnsatsen, motivasjonen og hatt en god driv gjennom prosjektet. På gruppen er vi fem forskjellige individer med forskjellig kunnskap, forskjellig bakgrunn og vi er generelt forskjellige type mennesker, men sammen har vi skapt et godt arbeidsmiljø. Dette er en gruppe jeg er glad for å ha vært en del av. Jeg vil til slutt rette en stor takk til

gruppemedlemmene i denne gruppen. Det har vært morsomt og lærerikt å jobbe med dere, takk for alle faglige diskusjoner som har vært veldig læringsfullt å ta del i.

2.5. David Løken

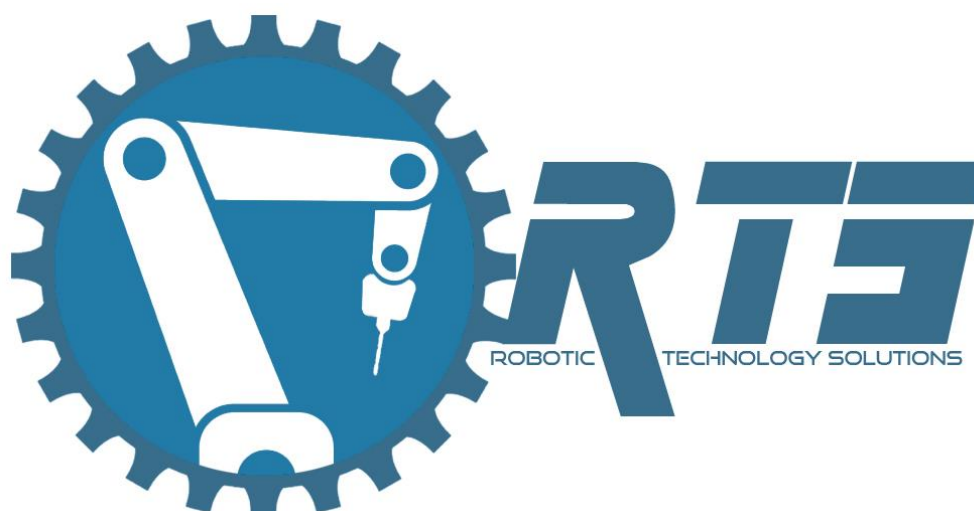
Nå som bacheloroppgaven er ved veis ende vil jeg i denne egenvurderingen reflektere litt over hvordan det har vært for meg selv, i tillegg til min helhetlige opplevelse av prosjektet. Jeg vil også si noe om hva som kunne blitt gjort annerledes dersom prosjektklokken hadde blitt stilt tilbake til start.

Arbeidet gjennom prosjektet har gitt meg mange ulike erfaringer og inntrykk. Samtidig har det vært motiverende å arbeide mot et produkt og ikke kun en idé. Oppgaven og veien til stadiet vi nå befinner oss i har vært spennende, krevende, lærerik og morsom. Det har uten tvil vært den hittil største utfordringen i min studietid her på Kongsberg, men også den som har gitt størst utbytte av lærdom og arbeidserfaring.

Gruppen har fungert bra sammen. Jeg hadde allerede kjennskap til mine to medstudenter fra elektroklassen, og ble kjent med nye arbeidskollegaer fra maskinstudiet. Det viste seg fort at gruppen var en god match. Vi har hatt et bra miljø med en avslappet tone og godt humør. Til tross for mange lange dager og krevende utfordringer har gruppen alltid klart å holde en god moral gjennom prosjektperioden. Jeg tror dette blant annet skyldes de mange faglige diskusjonene vi har hatt, men også de litt mindre faglige.

Oppgaven ble gitt av Kongsberg Defence & Aerospace(KDA), og har gått ut på å vise om det er mulig å bore og forsene flystrukturer i aluminium. Dette er en utfordring da toleransene er hårfine. Til tross for ingen til lite forkunnskaper om robotikk og hvordan de kontrolleres tok vi utfordringen på strak arm. Jeg har lært mye om roboter og hvordan de fungerer, særlig FANUC sitt grensesnitt. Jeg er svært stolt av gruppemedlemmene, som har måttet sette seg dypt inn i nytt stoff. Jeg vil samtidig rette en spesiell takk til Simen Hagen Bredvold, vår eksterne veileder. I prosjektets slutfase har han disponert mye av sin tid slik at vi kunne holde på med roboten.

Hvis vi skulle gjenta prosjektet, skulle jeg ha gjort et par ting annerledes. Først og fremst ville jeg hatt mer fokus på detaljplanlegging. Også en mer omfattende forskning rundt prosjektets essensielle komponenter. Spindelen ville jeg bestilt på et tidligere tidspunkt. Da hadde vi fått mer tid til testing og utbedring av systemet. Bortsett fra dette, har prosjektet etter min mening gått veldig bra. Alle har gjort en god innsats og bidratt med sin kunnskap, tid og ikke minst har vi motivert hverandre. Til slutt vil jeg vil takke alle mine gruppemedlemmer for er godt samarbeid gjennom dette semesteret. De har alle bidratt til en god avslutning på min studieperiode her på Kongsberg.



Vedleggdokument		
PROSJEKT		
Robotisert Boring og Forsenking i Flystrukturer av Aluminium		
OPPDRAGSGIVER		
Kongsberg Defence and Aerospace		
UTFØRT VED		
Høgskolen i Sør-øst Norge, Avdeling Kongsberg		
MEDLEMMER		
Eivind Lenschow, Morten A. Aker, David Løken, Alihsan Sicim, Maria Løvold		
DOKUMENTHISTORIKK		
Versjon	UTGITT	BESKRIVELSE
1.00	23.05.2017	Første offisielle versjon

i) Innholdsfortegnelse

Vedlegg 1: Toleranse for forsenkingsdybde	3
Vedlegg 2: Forsenkingsbredden «shaft insert» må være innenfor	4
Vedlegg 3: Dybden boret/forsenkeren må bevege seg	5
Vedlegg 4: Maksimal feil ved kontaktprobing	7
Vedlegg 5: Beregning av naglevinkel.	8
Vedlegg 6: Forboret/forsenket hull	9
Vedlegg 7: Beregning av tuppen på boret/forsenkeren	10
Vedlegg 8: Datablad Sony XC-56	12
Vedlegg 9: Datablad Tamron 12VM1040ASIR	14
Vedlegg 10: Datablad magnetventil	15
Vedlegg 11: Datablad ventilkabel	17
Vedlegg 12: EE-kontakt Koblings skjema	18
Vedlegg 13: Hullstørrelse	19
Vedlegg 14: Dybde naglehode	20
Vedlegg 15: Optimalsenterpunkt rettflate	21
Vedlegg 16: Optimalsenterpunkt skråflate	22

Vedlegg 1: Toleranse for forsenkingsdybde

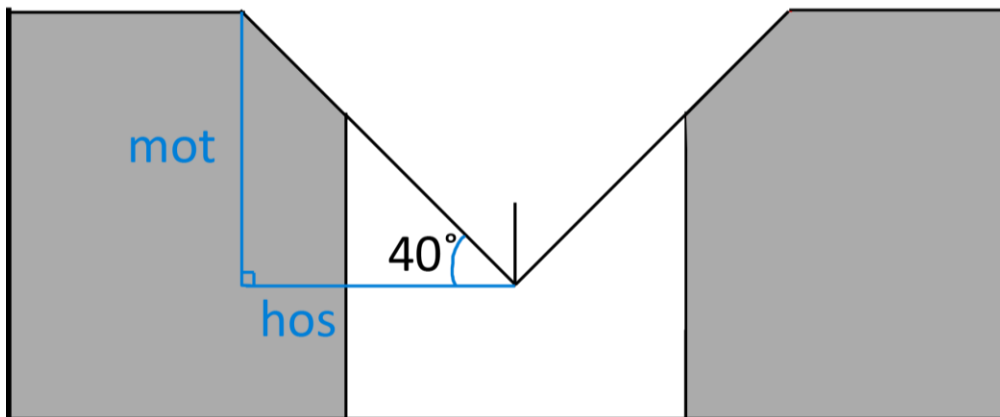


Fig x: Dybde i z retning.

$$\text{Hosliggende} = A \cos 40^\circ = 6,8326 \text{ mm}$$

$$\text{Motstående} = \text{hosliggende} * \tan(\alpha)$$

$$\text{Motstående} = 6,8326 \text{ mm} * \tan(40) = 5,7332 \text{ mm}$$

Fra overflaten må TCP (tool center point) til forsenker bevege seg 5,7332mm nedover ± verdiene under:

Minimumsverdier:

$$\text{Hosliggende} = \frac{13,3604 \text{ mm}}{2} = 6,6802 \text{ mm}$$

$$\text{Motstående} = 6,6802 \text{ mm} * \tan(40) = 5,6054 \text{ mm}$$

Maksimumsverdier:

$$\text{Hosliggende} = \frac{13,97 \text{ mm}}{2} = 6,985$$

$$\text{Motstående} = 6,985 \text{ mm} * \tan(40) = 5,8611 \text{ mm}$$

Differanser:

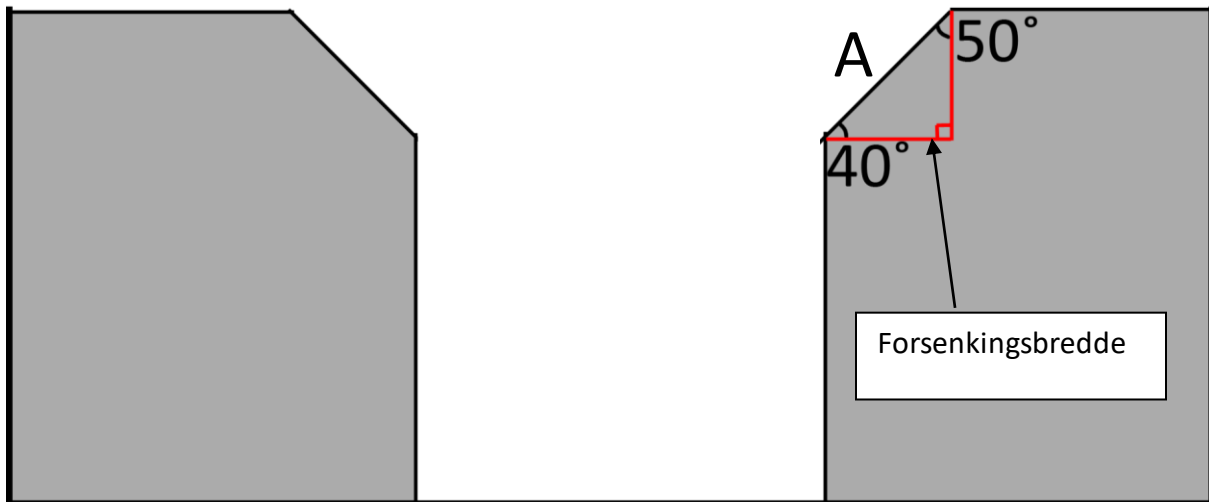
$$\text{Maksimumsverdi-minimumsverdi: } 5,8611 \text{ mm} - 5,6054 \text{ mm} = \mathbf{0,2557 \text{ mm}}$$

$$\text{Original verdi-minimumsverdi: } 5,7332 \text{ mm} - 5,6054 \text{ mm} = 0,1278 \text{ mm}$$

$$\text{Original verdi- maksimumsverdi: } 5,7332 \text{ mm} - 5,8611 \text{ mm} = -0,1279 \text{ mm}$$

Bredden på hullet har en feilmargin på ±0,3048mm. Dette gir en feilmargin på ±0,1278mm i dybde. **Dette gir en toleranse på 0,2557mm.**

Vedlegg 2: Forsenkingsbredden «shaft insert» må være innenfor



Figur x: Forsenkingsbredde .

$$A \sin(40) = 2,4892 \text{ mm (forsenkingsdybde)}$$

$$A = \frac{2,4892 \text{ mm}}{\sin(40)} = 3,8725 \text{ mm}$$

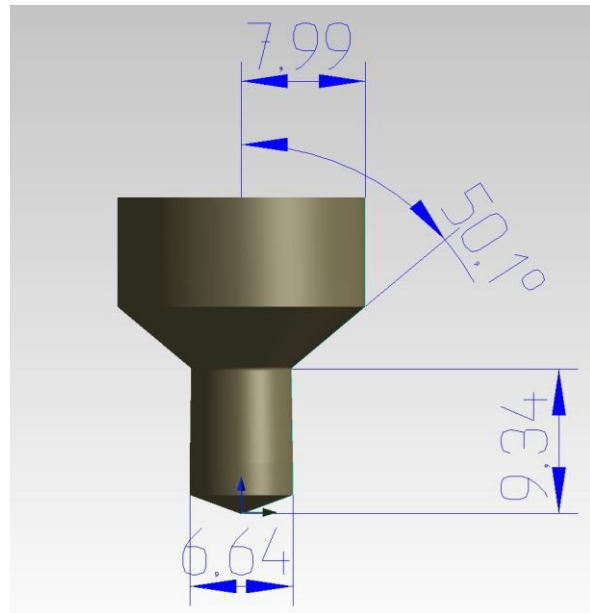
$$\text{Forsenkingsbredde} = A \cos(40) = 3,8725 \text{ mm} * \cos(40) = \mathbf{2,96651 \text{ mm}}$$

Forsenkingsbredden er på **2,96651 mm**

Dette betyr at «shaft insert» kan maksimalt ha et avvik fra hullets midtpunkt på 2,96651 mm for at «shaft insert» skal bli utført suksessfullt med IP1. Med IP2 så kan avviket være større siden den er konet, hvor mye mer dette avvike kan være kommer an på koneformen.

Vedlegg 3: Dybden boret/forsenkeren må bevege seg

Det vi vil finne er dybden vi må gå ned for å kunne bore og forsenke innenfor kravene som har en diameter på (13,36 mm-13,97 mm) til ferdigboret/forsenket hull. Det vil si, vi skal finne H, som er den totale høyden på boret/forsenkeren ved en diameter fra 13,36 mm til 13,97 mm. For å gjøre dette har vi utledet en formel hvor vi kan sette inn verdiene å få ut den riktige høyden. Formelen vi har kommet frem til for å løse denne utfordringen er vist under. Alle verdier i dette dokumentet er i millimeter.



D= Diameter forsinker

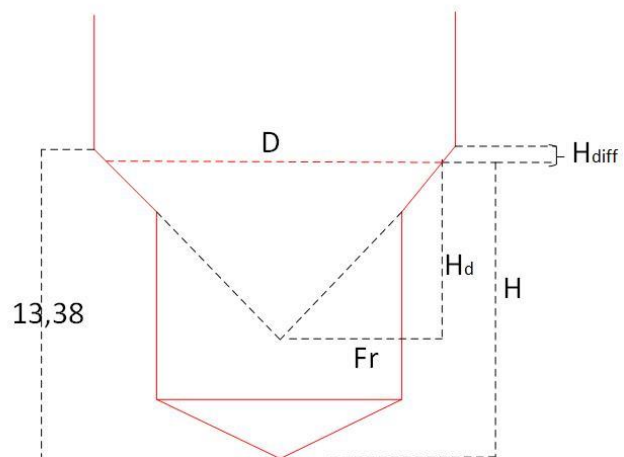
Fr = D/2

H= Total høyde med hensyn på D

Hd(variabel) = Høyden basert på Fr

Hd = 6,68486 mm

Det vi vil finne er dybden vi må gå ned for å kunne bore og forsenke innenfor kravene på diameter (13,36 mm-13,97 mm) til ferdigboret/forsenket hull. Det vil si, vi skal finne H, som er den totale høyden på boret/forsenkeren ved en diameter fra 13,36 mm til 13,97 mm. For å gjøre dette har vi utledet en formel hvor vi kan sette inn verdiene å få ut den riktige høyden.



$$H_{d(\text{variabel})} = \frac{D}{2} * \tan \theta$$

$$H_{diff} = H_d - H_{d(\text{variabel})}$$

$$H_{diff} = H_d - \frac{D}{2} * \tan \theta$$

$$H = 13,38 - H_{diff}$$

$$H = 13,38 - \left(H_d - \frac{D}{2} * \tan \theta \right)$$

Med denne formelen kan man lett putte inn verdier for D og θ (H_d har en fast verdi på 6,68486) for å finne maksimumsverdi, minimumsverdi og middelvei på høyden til boret/forsenkeren med hensyn på diameteren.

$$H_{min} = 13,38 - \left(6,68485 - \frac{13,36}{2} * \tan 39,9^\circ \right) = \mathbf{12,2805}$$

$$H_{maks} = 13,38 - \left(6,68485 - \frac{13,97}{2} * \tan 39,9^\circ \right) = \mathbf{12,5355}$$

Differansen = $H_{maks} - H_{min}$

$$H_{maks} - H_{min} = 12,5355 - 12,2805 = 0,255$$

Dette gir en høyde på **12,408 ± 0,1275**. Det vil si at for å få et ferdigforsenket hull med en diameter mellom 13,36mm og 13,97mm må vi føre boret **12,408 ± 0,1275 mm** under overflaten til hullet.

Vedlegg 4: Maksimal feil ved kontaktprobing

Det er viktig å vite hvor stor den maksimale feilen ved kontaktprobing er, da dette er viktig for videre bruk av «Shaft Insert» til probingen. Siden probepinnen må treffe innenfor forforsenkningen av hullene når man skal bruke «Shaft Insert», kan ikke kontaktprobingen ha større feil en 5,5189 mm. Ved hjelp av FEM analyser har vi sett på hvordan verktøyet vil bøye seg når vi påfører kraft fra 12 N til 20 N som er det kontaktprobingen vil være innenfor. Dersom vi da velger at i et av punktene vil den bli påført kraften 12 N når den oppnår kontakt, mens i det andre punktet får den 20 N, kan vi finne den maksimale feilen.

Maksimal bøyning ved 12 N og 20 N er:

- 12 N \rightarrow 0,0364
- 20 N \rightarrow 0,056

$$DB = 0,056 - 0,0364 = 0,0196$$

$$\left. \begin{array}{l} P[6] : y = -38,4 \\ P[10] : y = -190 \end{array} \right\} 151,6 \text{ mm}$$

$$\alpha = 7,41 \cdot 10^{-3} = 0,00741^\circ$$

$$y = 192,87 \cdot \sin \alpha = 0,02494$$

$$x = 192,87 \cdot \cos \alpha = 192,8610$$

$$\Delta x = 2 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Hyp} = \sqrt{y^2 + x^2} = 0,02494 = \mathbf{0,025}$$

Det vil si at den maksimale feilen ved kontaktprobing er på 0,025 mm. Dersom man inkluderer robotens maksimale feil på 0,05 mm får vi totalt en maksimal feil på 0,075 mm. Dette er godt innenfor 5,5184 mm som er det vi må være innenfor for å treffe forforsenkningen slik at «Shaft Insert» funksjonen vil fungere.

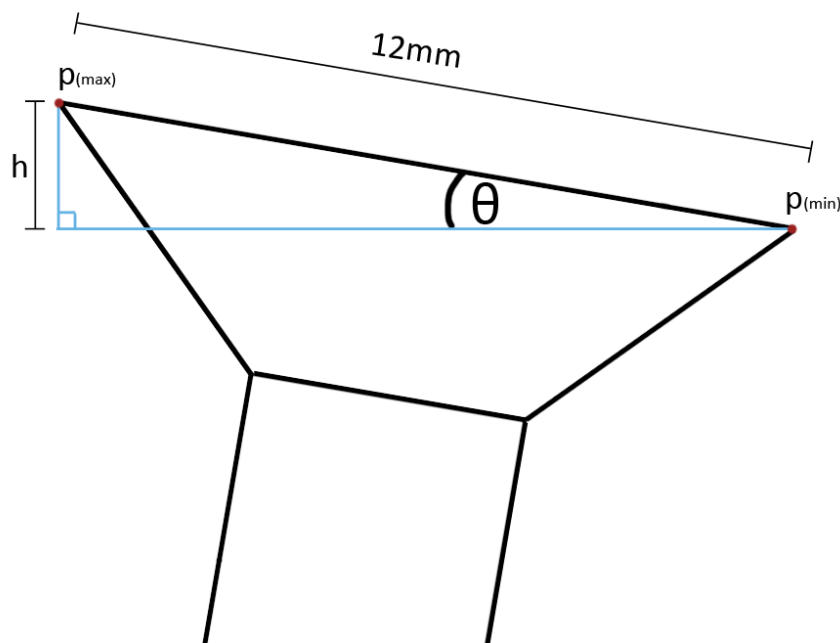
Vedlegg 5: Beregning av naglevinkel.

Etter er boring- og forsøkningsprosess er utført må hullet testes for å se om det er dypt nok og om det har riktig vinkel. Det er et krav om at vinkelen ikke kan overstige 2° . I første omgang prøver vi å finne naglens høyeste og laveste punkt i forhold til overflaten med et digitalt dybdeverktøy. Punktene $p(\max)$ og $p(\min)$ gir oss høydeavviket. Dette gjøres ved hjelp av trigonometriske ligninger. Det vil ikke gi et resultat som er feilfritt, men en god indikasjon på om vi er innenfor eller ikke. For å unngå feil er viktig at p -punktene er korrekt lest av.

$$\sin\theta = \frac{h}{12\text{mm}}, \quad \text{hvor } h = p(\max) - p(\min)$$

$$\sin\theta = \frac{p(\max) - p(\min)}{12\text{mm}}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{p(\max) - p(\min)}{12\text{mm}}$$



Vi kan også regne ut den maksimale differansen mellom $p(\max)$ og $p(\min)$ når $\theta=2$. Differansen kaller vi $p(\text{diff})$.

$$12\text{mm} * \sin\theta = p(\max) - p(\min)$$

Som gir:

$$p(\text{diff}) = 12\text{mm} * \sin(2) = \mathbf{0,418}$$

Vedlegg 6: Forboret/forsenket hull

Hb = Hullbredde

Hfb = Forsenkingsdybde

Fb = Forsenkingsbredde

B = Total bredde (hull + forsenkning)

Bmax = Maksimal bredde (hull + forsenkning)

Bmin = minimum bredde (hull + forsenkning)

Original verdi: Ved Hfb= **2,4892**

$$Hyp = \frac{2,4892}{\sin 40^\circ} = 3,8725$$

$$Fb = 3,8725 * \cos 40^\circ = \mathbf{2,96651}$$

Maksimumsverdi: Ved Hfb= 2,4892+0,2032 = **2,6924**

$$Hyp = \frac{2,6924}{\sin 40^\circ} = 4,18863$$

$$Fb_{max} = 4,18863 * \cos 40^\circ = \mathbf{3,2087}$$

Minimumsverdi: Ved Hfb = 2,4892 – 0,2032 = **2,286**

$$Hyp = \frac{2,286}{\sin 40^\circ} = 3,5564$$

$$Fb_{min} = 3,5564 * \cos 40^\circ = \mathbf{2,72435}$$

Forsenkingsbreddene vil da være:

Optimal forsenkningsbredde: **2,96651mm**

Maksimum forsenkningsbredde: **3,2087mm**

Minimum forsenkningsbredde: **2,72435mm**

$$B = (Fb * 2) + Hb = (2,96651 * 2) + 5,588 = \mathbf{11,52102mm}$$

$$B_{max} = (Fb_{max} * 2) + Hb = (3,2087 * 2) + 5,8928 = \mathbf{12,3102mm}$$

$$B_{min} = (Fb_{min} * 2) + Hb = (2,72435 * 2) + 5,588 = \mathbf{11,0367mm}$$

Det forforsenkede hullet må da ha en diameter mellom 11,0367mm og 12,3102mm for at våre testdeler skal ha så nøyaktig samme verdier som hva den «ekte» delen vil ha. På denne måten vil vi være sikrere på at dersom vi klarer å holde oss innenfor kravene til boring og forsenkning på testdelen, vil vi også klare å holde oss innenfor kravene til boring og forsenkning på den virkelige delen.

Vedlegg 7: Beregning av tuppen på boret/forsenkeren

Det vi trenger og finne av informasjon fra boret/forsenkeren er høyden mellom spissen av boret og den tykke delen av boret (markert i rødt på figuren ved siden av).

Grunnen for at vi trenger denne verdien er for å finne ut hvor dypt tuppen er plassert når kanten av boret treffer kanten av det forforsenkede hullet. Dette vil senere hjelpe oss når vi skal kjøre en verifiseringstest av at boret treffer hullet innenfor kravene.

$$B_b = \text{Borbredde} = 6,64\text{mm}$$

$$H_b = \text{Høyde bor tupp}$$

Høyden på bortuppen kan vi finne ved hjelp av enkel geometri:

$$Hyp = \frac{3,32}{\sin 69,74} = 3,5389$$

$$H_b = 3,5389 * \cos 69,74 = 1,23$$

Nå som vi vet bortuppens høyde kan vi finne ut av borspissens posisjon i forhold til det forborede/forsenkede hullet.

$$\text{Bredden til boret} = 6,64$$

$$\text{Bredden hull} = HB = 5,588$$

$$\text{Forsenkingsvinkel} = 100^\circ$$

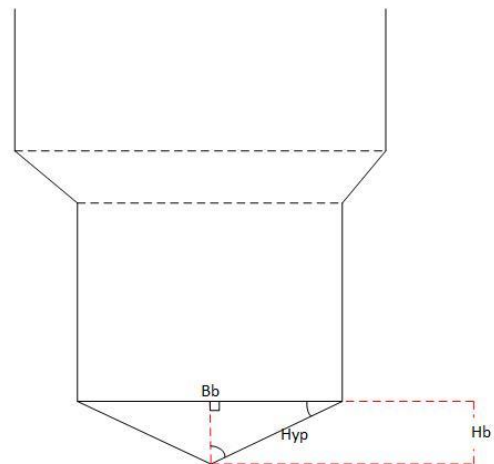
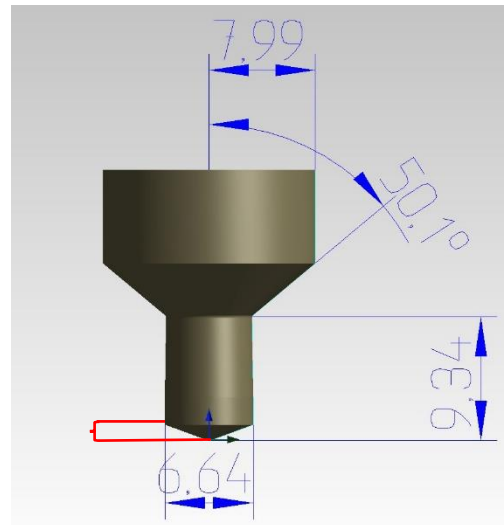
$$B = \text{Bredde}$$

$$FB = \text{Forsenkingsbredde}$$

$$FD = \text{Forsenkingsdybde}$$

$$B = HB + 2 * FB$$

$$FB = hyp * \cos \theta$$



$$Hyp = \frac{FD}{\sin \theta}$$

$$FB = FD * \tan \theta$$

$$B = HB + 2FD \tan \theta$$

$$B - HB = 2FD \tan \theta$$

$$FD = \frac{B - HB}{2 \tan \theta}$$

FFD = Fulstendig forsenkningsdybde

SBD = Sidekant bor dybde = Der sidekanten av bor treffer forsenkningen

BP = Bor spiss sin posisjon = bor spiss

$$SBD = FFD - FD$$

$$BP = SBD + 1,23$$

$$BP = FFD - \frac{B - HB}{2 \tan \theta} + 1,23$$

$$\theta = 69,74^\circ$$

Ved FFD = 2,4892

$$BP = 2,4892 - \frac{6,64 - 5,588}{2 \tan 69,74} + 1,23 = \mathbf{2,2942}$$

Ved FFD = 2,4892 + 0,2032 = 2,6924

$$BP = 2,6924 - \frac{6,64 - 5,588}{2 \tan 69,74} + 1,23 = \mathbf{1,2682}$$

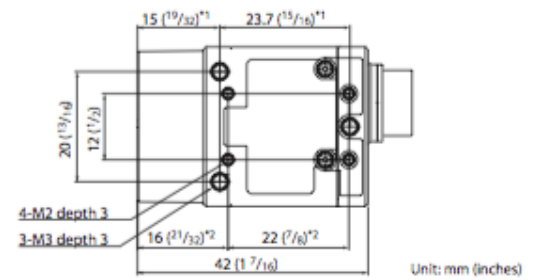
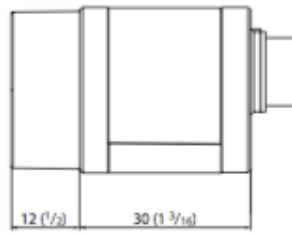
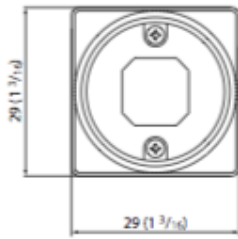
Ved FFD = 2,4892 - 0,2032 = 2,286

$$BP = 2,2860 - \frac{6,64 - 5,588}{2 \tan 69,74} + 1,23 = \mathbf{0,8618}$$

Som vi her kan se varierer dybden boret skal forflytte seg en del og det kun utfra en variasjon i forsenkningsdybden. Vi har også variasjon i hullets bredde og på den ekte delen vil vi også ha variasjon i malingen. Borets plassering vil dessuten ofte ikke være 100% sentrert i hullet, men fortsatt innenfor kravene. Her vil det være vanskelig å velge en av verdiene som er borspissens plassering etter verifiseringstesten for å få det nøyaktig nok. Det vi kan se ut ifra de tallene vi har fått over er at allerede her blir det en del usikkerhet, når vi legger på de andre faktorene vil det bli en enda større usikkerhet. Resultatet kan da være at vi definerer noe som er riktig eller galt som det motsatte. etter probeprosessen skal vi i utgangspunktet skal ha et resultat som skal være innenfor kravene til hullene som skal bores og forsenkes, derfor vil vi ikke bruke denne verifiseringstesten da den gir mer usikkerhet enn verifisering.

Vedlegg 8: Datablad Sony XC-56

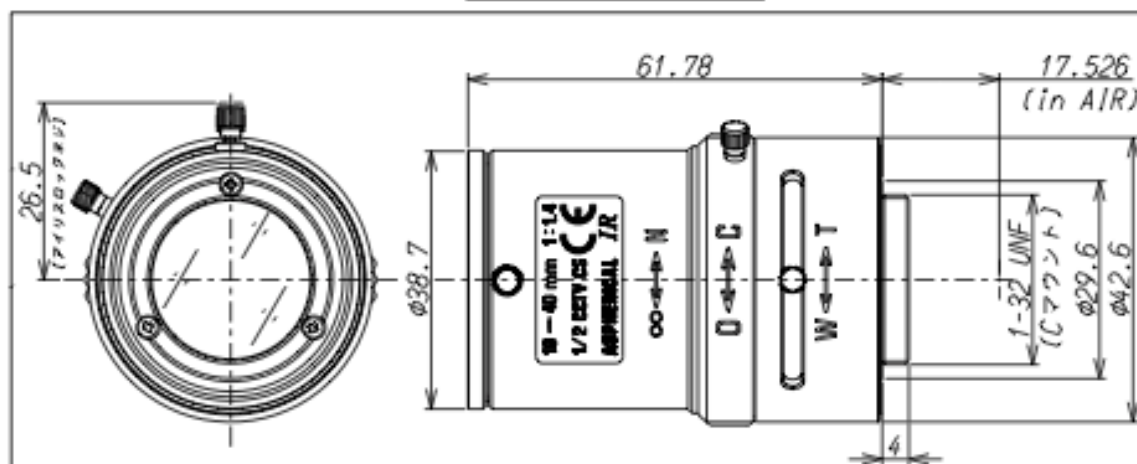
	XC-HR50	XC-HR70	XC-56	XC-HR57	XC-HR58
Image device	1/3 type IT Progressive Scan CCD			1/2 type IT Progressive Scan CCD	
Effective picture elements	659(H) x 494(V)	1024(H) x 768(V)	659(H) x 494(V)	659(H) x 494(V)	782(H) x 582(V)
Image size	VGA size: 648 (H) x 494 (V)	XGA size: 1,024 (H) x 768 (V)	VGA size: 648 (H) x 494 (V)	VGA size: 648 (H) x 494 (V)	SVGA size: 767 (H) x 580 (V)
CCD vertical drive frequency	31.468 kHz \pm 1 %	23.23 kHz \pm 1 %	15.734 kHz \pm 1 %	31.468 kHz \pm 1 %	31.25 kHz \pm 1 %
Lens mount	C-Mount				
Flange back	17.526 mm				
Sync system	Int/Ext				
External sync signal	HD/VD				
Scanning system	Normal: 525 lines Non-Interlace : 1/60s Binning: 263 lines, 1/120s	Normal: 796 lines (23.23kHz) Non-Interlace(1N mode) : 1/29.2s Non-Interlace(1N, binning): 1/58.4s	Normal: 525 lines Non-Interlace : 1/30s Binning: 263 lines, 1/60s	Normal: 525 lines Non-Interlace : 1/60s Binning: 263 lines, 1/120s	Normal: 625 lines Non-Interlace : 1/50s Binning: 313 lines, 1/100s
Output signal frequency	59.94 Hz (normal mode), 119.88 Hz (binning mode)	29.2 Hz (normal mode), 58.4 Hz (binning mode)	29.97 Hz (normal mode), 59.94 Hz (binning mode)	59.94 Hz (normal mode), 119.88 Hz (binning mode)	50.0 Hz (normal mode), 99.8 Hz (binning mode)
Video output	1.0 Vp-p, sync negative, 75 Ω , unbalanced	1.0 Vp-p, sync negative, 75 Ω , unbalanced	1.0 Vp-p, sync negative, 75 Ω , unbalanced	1.0 Vp-p, sync negative, 75 Ω , unbalanced	1.0 Vp-p, sync negative, 75 Ω unbalanced
Output connector	12 pin (New EIAJ)	12 pin (New EIAJ)	12 pin	12 pin (New EIAJ)	12 pin (New EIAJ)
Horizontal resolution	500 TV lines	800 TV lines	500 TV lines	500 TV lines	600 TV lines
Sensitivity	400 lux F5.6 (Fix Gain 0 dB)	400 lux F5.6 (Fix Gain 0 dB)	400 lux F8 (Fix Gain 0 dB)	400 lux F5.6 (Fix Gain 0 dB)	
Min. illumination	1.0 lux (F1.4, Manual gain Max)	1.0 lux (F1.8, Manual gain Max)	0.5 lux (F1.4, Manual gain Max)	1.0 lux (F1.4, Manual gain Max)	1.0 lux (F1.4, Manual gain Max)
S/N ratio	58 dB	56 dB	58 dB	58 dB	56dB
Gain	Fix/Manual				
Gamma	OFF fixed				
White clip	820 mV \pm 70 mV (F1.4, Fix Gain)	820 mV \pm 70 mV (F1.8, Fix Gain)	820 mV \pm 70 mV (F1.4, Fix Gain)	820 mV \pm 70 mV (F1.4, Fix Gain)	820 mV \pm 70 mV (F1.4, Fix Gain)
Shutter	Normal shutter, Restart/Reset, External trigger shutter (Mode 1/MODE 2)				
Normal shutter speed	OFF to 1/30,000s switchable at rear panel	OFF to 1/20,000s switchable at rear panel	OFF to 1/15,000s switchable at rear panel	OFF to 1/30,000s switchable at rear panel	OFF to 1/30,000s switchable at rear panel
External trigger shutter speed	1/4 to 1/100,000s				
High Rate Scanning					
R/R mode Binning off:	Max 240 frames/s (effective line: 102 lines)	Max 120 frames/s (effective line: 152 lines)	Max 120 frames/s (effective line: 102 lines)	Max 240 frames/s (effective line: 102 lines)	Max 200 frames/s (effective line: 90 lines)
R/R mode Binning on:	Max 360 frames/s (effective line: 59 lines)	Max 180 frames/s (effective line: 89 lines)	Max 180 frames/s (effective line: 59 lines)	Max 360 frames/s (effective line: 59 lines)	Max 300 frames/s (effective line: 52 lines)
External trigger shutter mode (MODE 1) Binning off :	Max 240 frames/s (effective line: 100 lines)	Max 120 frames/s (effective line: 153 lines)	Max 120 frames/s (effective line: 100 lines)	Max 240 frames/s (effective line: 100 lines)	Max 200 frames/s (effective line: 88 lines)
External trigger shutter mode (MODE 1) Binning on:	Max 360 frames/s (effective line: 57 lines)	Max 180 frames/s (effective line: 90 lines)	Max 180 frames/s (effective line: 57 lines)	Max 360 frames/s (effective line: 57 lines)	Max 300 frames/s (effective line: 53 lines)
Power requirements	DC 12 V (+10.5 to 15 V)	DC 12 V (+10.5 to 15 V)	DC 12 V (+10.5 to 15 V)	DC 12 V (+10.5 to 15 V)	DC 12 V (+10.5 to 15 V)
Power consumption	1.8 W	2.0 W	1.5W	1.8 W	2.0W
Dimensions(W x H x D)	29 x 29 x 30 mm (1 3/16 x 1 3/16 x 1 3/16 inches)				
Weight	50 g / 2 oz				
Operating temperature	-5 to 40°C (23 to 113 °F)	-5 to 40°C (23 to 113 °F)	-5 to 40°C (23 to 113 °F)	-5 to 40°C (23 to 113 °F)	-5 to 40°C (23 to 113 °F)
Storage temperature	-30 to 60 °C (-22 to 140 °F)	-30 to 60 °C (-22 to 140 °F)	-30 to 60 °C (-22 to 140 °F)	-30 to 60 °C (-22 to 140 °F)	-30 to 60 °C (-22 to 140 °F)
Operating humidity	20 to 80 % (no condensation)	20 to 80 % (no condensation)	20 to 80 % (no condensation)	20 to 80 % (no condensation)	20 to 80 % (no condensation)
Storage humidity	20 to 95 % (no condensation)	20 to 95 % (no condensation)	20 to 95 % (no condensation)	20 to 95 % (no condensation)	20 to 95 % (no condensation)
Vibration resistance	10G (20 Hz to 200 Hz)				
Shock resistance	70 G				
Regulation	UL 6500, FCC Class A Digital Device, CE (EN61326/97+A1/98), AS4251.1+A4252.1				
Supplied accessories	Lens mount cap (1), Operating instructions(1)				



*1: for 3-M3 screw *2: for 4-M2 screw

Vedlegg 9: Datablad Tamron 12VM1040ASIR

12VM1040ASIR



Imager Size	CCDサイズ	1/2
Mount Type	マウント	C
Focal Length	焦点距離	10~40mm
Aperture Range	絞り範囲	1.4~CLOSE
Angle of View(Horizontal×Vertical)	1/2 Wide	37.5° × 27.6°
	Tele	9.3° × 7.0°
画角(水平×垂直)	1/3 Wide	27.6° × 20.4°
	Tele	7.0° × 5.3°
Focusing Range	フォーカス範囲	0.5m ~ ∞
Operation 操作方法	Focus フォーカス	Manual w/lock 手動ロック付
	Zoom ズーム	Manual w/lock 手動ロック付
	Iris アイリス	Manual w/lock 手動ロック付
Filter Size	フィルターネジ径	—————
Back Focus(in air)	バックフォーカス(in air)	wide 12.166~18.602mm
Operating Voltage	作動電圧	—————
Weight	重量	77.0g±4g
Operating Temperature	動作温度範囲	-20℃~+60℃
Wiring Diagram	配線図	

NC010A0-02

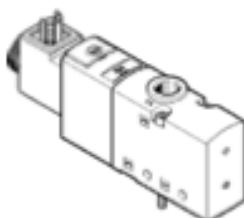
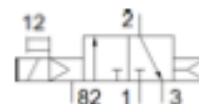
Vedlegg 10: Datablad magnetventil

solenoid valve

VUVS-L20-M32C-AD-G18-F7-1C1

Part number: 575269

★ Core product range


FESTO


Data sheet

Feature	Value
Valve function	3/2 closed, monostable
Type of actuation	electrical
Valve size	21 mm
Standard nominal flow rate	700 l/min
Operating pressure	2,5 ... 10 bar
Design structure	Piston slide
Type of reset	Air spring
Protection class	IP65 to IEC 60529 with plug socket
Authorisation	c UL us - Recognized (OL)
Nominal size	5,7 mm
Exhaust-air function	throttleable
Sealing principle	soft
Assembly position	Any
Manual override	detenting Pushing
Type of piloting	Piloted
Pilot air supply	internal
Flow direction	non reversible
Freedom from overlap	Yes
b value	0,35
C value	2,9 l/sbar
Switching time off	21 ms
Switching time on	14 ms
Duty cycle	100%
Max. positive test pulse with logic 0	1.900 µs
Max. negative test pulse with logic 1	2.700 µs
Characteristic coil data	24 V DC: 2.6 W
Permissible voltage fluctuation	+/- 10 %
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (subsequently required for further operation)
Vibration resistance	Transport application test at severity level 2 in accordance with FN 942017-4 and EN 60068-2-6
Shock resistance	Shock test with severity level 2 in accordance with FN 942017-5 and EN 60068-2-27
Corrosion resistance classification CRC	2 - Moderate corrosion stress
Medium temperature	-10 ... 60 °C
Pilot medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Ambient temperature	-10 ... 60 °C
Product weight	172 g
Electrical connection	Design C
Mounting type	Optional on manifold rail with through hole



KONGSBERG

FESTO

Feature	Value
Scavenging orifice connection	Non-ducted
Pilot exhaust port 82	M5
Pneumatic connection, port 1	G1/8
Pneumatic connection, port 2	G1/8
Pneumatic connection, port 3	G1/8
Materials note	Conforms to RoHS
Materials information for seals	HNBR NBR
Materials information, housing	Aluminium die cast Painted
Material information, piston spool	Wrought Aluminium alloy

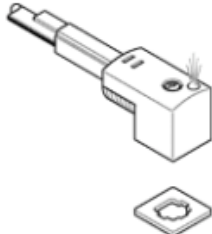
Vedlegg 11: Datablad ventilkabel

plug socket with cable KMEB-1-24-5-LED

Part number: 151689

FESTO

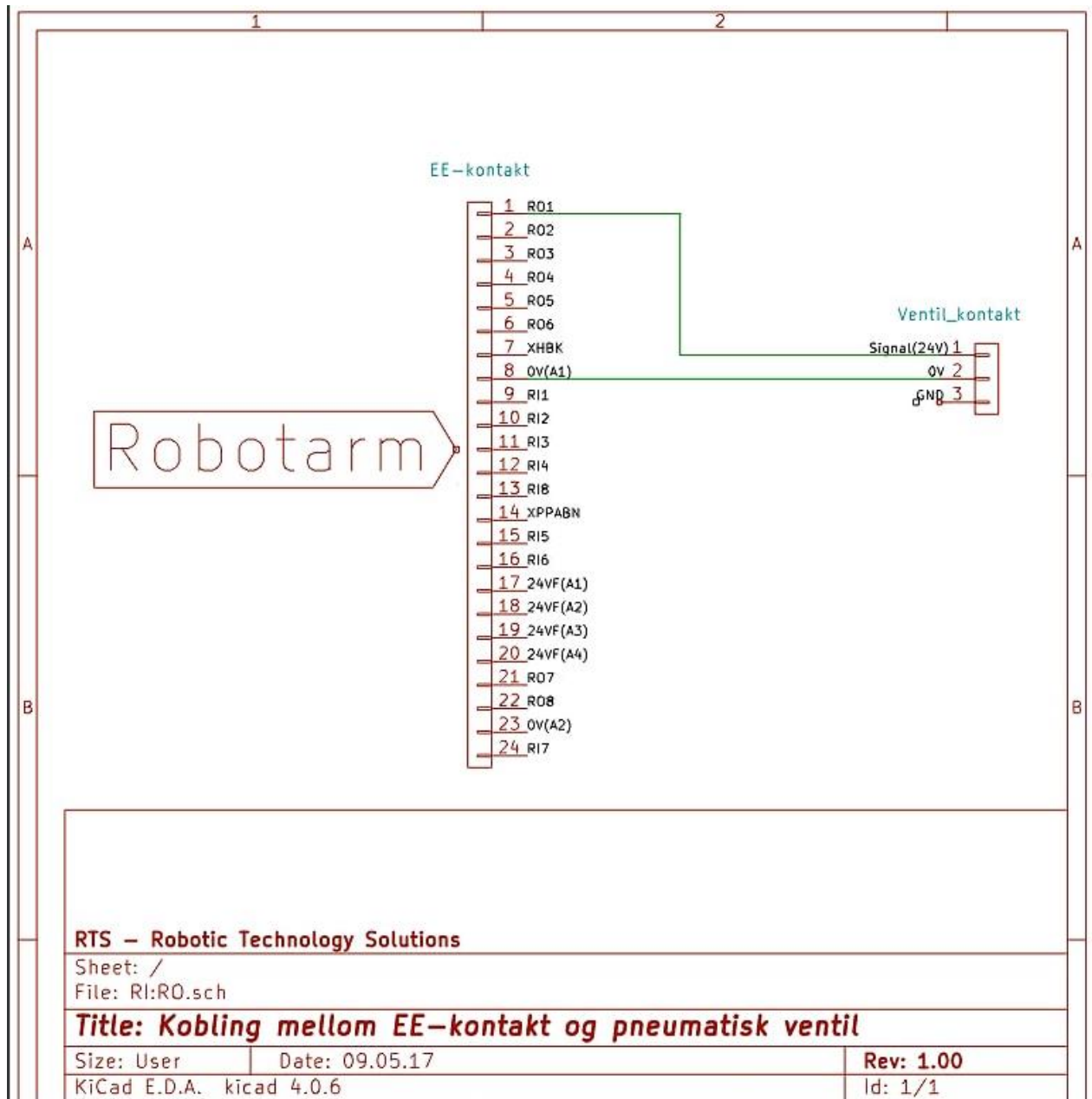
pre-assembled, for VUVB, MEBH, MOEBH valves and N2 solenoids.



Data sheet

Feature	Value
Switching position indicator	LED
Mounting type	On solenoid valve with M2.5 central screw
Assembly position	Any
Product weight	230 g
Electrical connection	Plug socket angled Per DIN EN 175301-803 Design C 3-pin
Nominal operating voltage DC	24 V
Protective earth connection	Available
Cable length	5 m
Cable diameter	5,2 mm
Cable structure	3x0,5
Protection class	IP65 to IEC 60529
Ambient temperature	-20 ... 80 °C
Corrosion resistance classification CRC	1 - Low corrosion stress
Materials information, cable sheaths	PVC
Materials information, housing	PA66-GF30
Material information for crimp connectors	Bronze

Vedlegg 12: EE-kontakt Koblings skjema

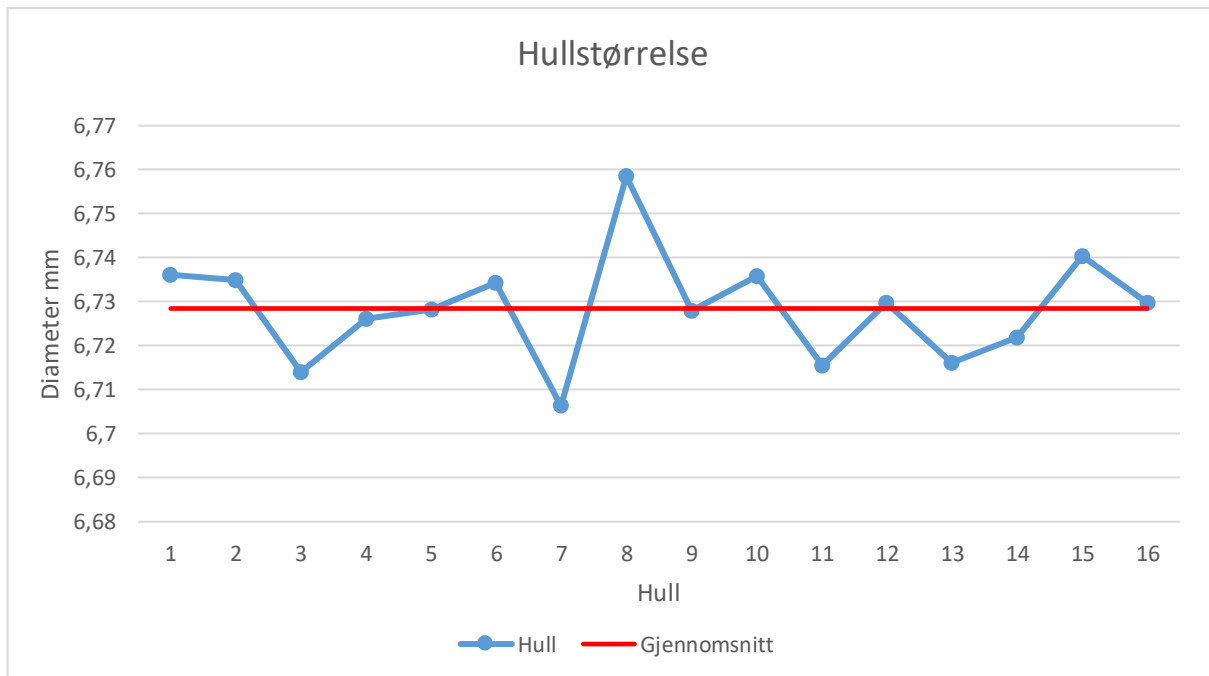


Vedlegg 13: Hullstørrelse

Hull	Størrelse
1	6,7361
2	6,7349
3	6,714
4	6,7262
5	6,7281
6	6,7342
7	6,7063
8	6,7585
9	6,7279
10	6,7358
11	6,7154
12	6,7298
13	6,7162
14	6,7218
15	6,7404
16	6,7298

Gjennomsnitt 6,728463

Verdiene er oppgitt i millimeter.



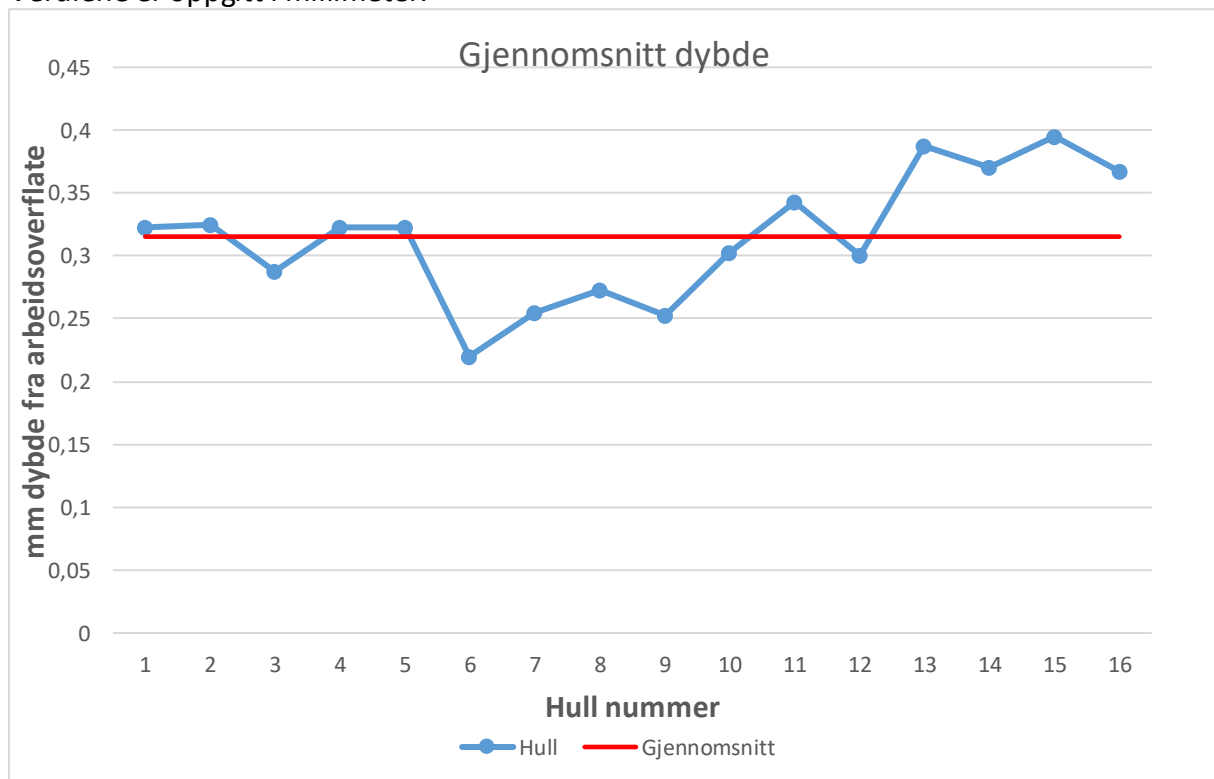
Vedlegg 14: Dybde naglehode

Hull	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Måling 4	Gjennomsnitt
1	0,34	0,35	0,27	0,33	0,3225
2	0,33	0,33	0,33	0,31	0,325
3	0,3	0,29	0,29	0,27	0,2875
4	0,34	0,33	0,31	0,31	0,3225
5	0,33	0,3	0,3	0,36	0,3225
6	0,25	0,21	0,19	0,23	0,22
7	0,28	0,26	0,22	0,26	0,255
8	0,3	0,27	0,22	0,3	0,2725
9	0,26	0,25	0,21	0,29	0,2525
10	0,32	0,31	0,26	0,32	0,3025
11	0,34	0,34	0,34	0,35	0,3425
12	0,3	0,29	0,3	0,31	0,3
13	0,39	0,41	0,38	0,37	0,3875
14	0,39	0,39	0,37	0,33	0,37
15	0,43	0,43	0,34	0,38	0,395
16	0,38	0,39	0,35	0,35	0,3675

Gjennomsnitt total:

0,315313

Verdiene er oppgitt i millimeter.

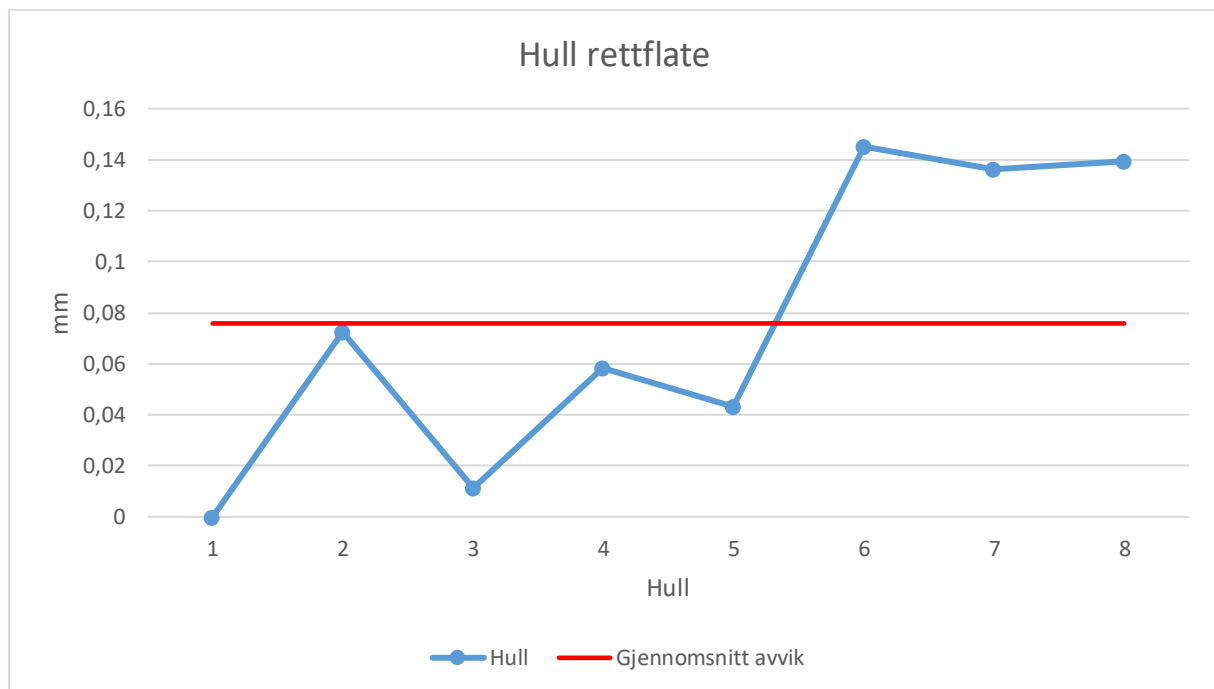


Vedlegg 15: Optimalsenterpunkt rettflate

Hull	X-plan	Y-plan	
1	0	0	0
2	-0,0726	0	0,0726
3	-0,0101	-0,0048	0,0112
4	-0,0374	-0,045	0,0585
5	-0,0132	-0,0414	0,0434
6	-0,1393	0,0406	0,1451
7	-0,1316	0,0355	0,1363
8	-0,1333	-0,0413	0,1395

Gjennomsnitt avvik **0,075825**

Verdiene er oppgitt i millimeter.



Vedlegg 16: Optimalsenterpunkt skråflate

Hull	X-plan	Y-plan	Avvik
1	0	0	0
2	0,0056	-0,0113	0,01261
3	-0,024	0	0,024
4	-0,0216	-0,0334	0,03977
5	0,0041	-0,0414	0,0416
6	-0,0291	-0,0218	0,0363
7	0,0322	-0,0048	0,0325
8	0,0014	-0,0459	0,0459

Gjennomsnitt avvik **0,029085**

Verdiene er oppgitt i millimeter.

