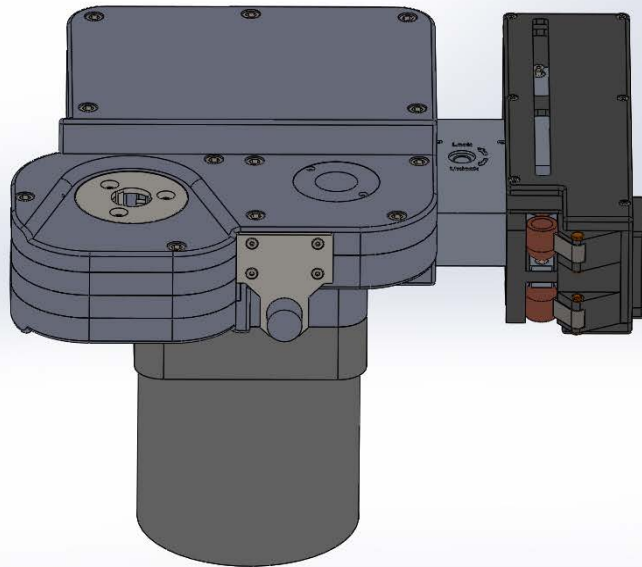




CHALMERS



Sammansatt system för automatiskt byte, gradning och matning av punktsvetsspetsar

Examensarbete inom mekatronik

Henrik Friman

Framtagning av en prototyp som automatiskt gradar, byter och matar fram elektrospetsar till en punktsvetsrobot

Rapporten innehåller en förundersökning av nuvarande system på marknaden. Dessa har analyserats som ett första steg i framtagningen av en egen prototyp som gradar, byter och matar fram nya spetsar till en punktsvetsrobot. Lösningförslag har tagits fram innan prototypen konstruerats i Solidworks. Målet var att ta fram ett användarvänligt system med låga tillverkningskostnader som kan testas och valideras mot kravspecifikationen.

Henrik Friman

Framtagning av en prototyp som automatiskt gradar, byter och matar fram elektrospetsar till en punktsvetsrobot

Rapporten innehåller en förundersökning av nuvarande system på marknaden. Dessa har analyserats som ett första steg i framtagningen av en egen prototyp som gradar, byter och matar fram nya spetsar till en punktsvetsrobot. Lösningförslag har tagits fram innan prototypen konstruerats i Solidworks. Målet var att ta fram ett användarvänligt system med låga tillverkningskostnader som kan testas och valideras mot kravspecifikationen.

Henrik Friman

© Henrik Friman, 2018

Examinator: Mats Alemyr

Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon: +46 31 772 1000

Omslag:
Bild på framtagen lösning.

Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Göteborg 2018

Sammanfattning

Vid punktsvetsning med robotar används spetsar vilka monteras längst ut på svetselektrodena. Dessa spetsar blir utsatta för höga förslitningar under användandet och behöver med jämna mellanrum gradas eller bytas ut. Det finns idag flertalet system på marknaden som automatiskt utfärdar de uppgifterna.

På företag A, beläget i Kina, tillverkas bland annat punktsvetsrobotar. Vid försäljning av dessa önskar kunder ofta ett automatiskt system för byte och gradning av elektrodspetsar. Företag A hänvisar då till externa företag då de inte själva har ett eget system. Syftet med detta examensarbete är att ta fram en prototyp för ett automatiskt system till företag A som gradar, matar fram och byter elektrodspetsar.

Under projektet har utvärderats hur ett system med tre separata funktioner byta, grada och mata fram nya spetsar kan konstrueras. Vidare har tillverkningskostnaderna för systemet försökt hållas låga utan att påverka användarvänligheten, effektiviteten, hållbarheten och kompaktiviteten. Slutligen har projektet lett till en prototyp som i viss mån har testats och validerats gentemot en kravspecifikation för systemet.

Projektet resulterade i en fullt utvecklad CAD-prototyp. Prototypen är delad i två delsystem där det första delsystemet innefattar gradning- och bytesmodulen medan det andra delsystemet innefattar matningsmodulen. Delsystem ett utvecklas även till en fysisk prototyp. Tyvärr fanns inte tid att validera och testa prototypen fullt då de egentillverkade delarna som tillverkades innehöll passningsfel.

Utifrån resultaten sammanfattas projektet med ett par rekommendationer för fortsatt arbete med prototypen. Först bör de egentillverkade modifieras så att passningarna stämmer. När de stämmer kan funktionerna för systemet utvärderas. Kostnaderna för prototypen blev förhållandevis höga. Därav bör de egentillverkade delarna ses över för att försöka underlätta tillverkningen utav dem. På så sätt kan kostnaderna för systemet minskas.

Abstract

In spot welding with robots, tips are used which are mounted at the far end of the welding electrodes. These tips are subjected to high wear during use and need to be polished or replaced periodically. Today, there are several systems on the market that automatically issue those tasks.

At company A, located in China, they manufacture spot welding robots. Upon sale of these, customers often want an automatic system for replacement and polishing of electrode tips. Company A then refers to external companies because they do not have their own system. The purpose of this thesis work is to produce a prototype for an automated system for company A that polish, feeds and replaces electrode tips.

During the project, an evaluation on how a system with three separate functions, switching, polishing and feeding new tips can be constructed. Furthermore, the manufacturing costs of the system have been tried to be kept low without affecting user-friendliness, efficiency, durability and compactness. Finally, the project has led to a prototype that has to some extent been tested and validated against a requirement specification for the system.

The project resulted in a fully developed CAD prototype. The prototype was divided into two subsystems where the first subsystem included the polishing and replacement module while the other subsystem included the feed module. Subsystem one was also developed into a physical prototype. Unfortunately, there was no time to validate and test the prototype fully, as the self-manufactured parts that were manufactured contained pass failures.

Based on the results, the project summarizes a couple of recommendations for continued work on the prototype. First, the self-manufactured parts should be modified so that the fits are correct. When they are correct, the system's features can be evaluated. The prototype cost became relatively high. Hence, the self-manufactured parts should be reviewed to try to facilitate the manufacture of them. This should reduce the overall cost of the system.

Beteckning- och förklaringslista

Punktsvetsning – är en metod för att sammanfoga två delar i en punkt genom att med högt tryck och hög ström smälta samman delarna i punkten.

Företag A – på grund av sekretess betecknas företaget där projektet har utförts med det anonyma namnet ”Företag A”.

Gradning – mekaniskt sätt att rengöra och forma elektrodspetsar som sker genom att ett skär avlägsnar material från spetsen.

Solidworks – ett två- och tredimensionellt CAD-konstruktionsprogram som används för att skapa, analysera och simulera data.

CAD – en akronym för computer aided design.

Bytesmekanismen – är den funktion som greppar tag om elektrodspetsen och med eller utan robotens hjälp avlägsnar spetsen från punktsvetsen. När elektroden är utan spets hämtar roboten en ny spets i matningsmodulen och bytet är klart.

Poleringsmekanismen – är den funktion som polerar/gradar bort oönskade biprodukter samt formar elektrodspetsarna efter punktsvetsning.

Matningsmekanismen – är den funktion som ska husera och mata fram nya elektrodspetsar till roboten.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål	1
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Frågeställningar.....	2
2	Teoretisk referensram	3
2.1	Punktsvetsning	3
2.1.1	Punktsvetsprocessen	3
2.1.2	Värmebildning	4
2.1.3	Elektrodpetsar.....	5
2.1.3.1	Geometri	5
2.1.3.2	Material	5
2.1.3.3	Förslitning.....	5
2.1.4	Gradning	6
2.2	Kuggväxlar.....	6
3	Metod	8
3.1	Förundersökning och kravspecifikation.....	8
3.2	Lösningförslag.....	8
3.3	Konceptval	8
3.4	Prototyp.....	9
3.5	Test och validering.....	9
4	Resultat	10
4.1	Förundersökning	10
4.1.1	Dagens marknadslösningar	10
4.1.1.1	Innovative technologies Co., Ltd. Tip changer EC-6	11
4.1.1.2	Lutz	13
4.1.1.3	AMDP	14
4.1.1.4	Kyokutoh, DH-SVR2.....	15
4.1.1.5	Rosen resistance welding.....	15
4.2	Kravspecifikation.....	16
4.3	Lösningförslag.....	16
4.3.1	Delsystem 1.....	16
4.3.1.1	Lösningförslag 1.....	17
4.3.1.2	Lösningförslag 2.....	17
4.3.1.3	Lösningförslag 3.....	18
4.3.1.4	Lösningförslag 4.....	18
4.3.1.5	Lösningförslag 5.....	19
4.3.1.6	360° avdragare	19
4.3.2	Delsystem 2.....	21
4.3.2.1	Lösningförslag 1.....	21
4.3.2.2	Lösningförslag 2.....	22
4.3.2.3	Lösningförslag 3.....	23
4.4	Konceptval	23
4.4.1	Delsystem 1.....	23
4.4.2	Delsystem 2.....	24
4.5	Prototyp.....	25
4.5.1	Delsystem 1.....	25

4.5.1.1	Solidworks	26
4.5.1.1.1	Axeln som monteras på motoraxeln	27
4.5.1.1.2	Axeln mellan motorn och det långa kugghjulet.....	27
4.5.1.1.3	Långa kugghjulet som driver avdragarna	28
4.5.1.1.4	Axeln mellan motorn och gradaren.....	28
4.5.1.1.5	Ihåliga axeln med kugghjul och plats för gradaren.....	29
4.5.1.1.6	Höljet.....	29
4.5.1.2	Fysisk montering av delsystem 1.....	30
4.5.2	Dimensionering av elmotor.....	33
4.5.3	Delsystem 2.....	34
4.5.3.1	Solidworks	34
4.6	Test och validering.....	35
4.7	Sammanfattande resultat.....	35
5	Diskussion och slutsats	36
5.1	Diskussion.....	36
5.2	Slutsats	36
5.3	Rekommendationer	37
	Referenser	38
	Bilagor	

1 Inledning

Autonoma punktsvetsar monterade på robotar är betydelsefulla verktyg i industrin och utgör en stor del av industriföretags maskinpark. Robotar som punktsvetsar är framförallt representerade inom bilindustrin där det sker punktsvetsning vid karosstillverkning. Då denna typ av svetsning är så pass viktig inom industrin ställs höga krav på lättanvända tillsatsmoduler anpassade till robotarna.

1.1 Bakgrund

Företag A, beläget i Kina, säljer industrirobotar som punktsvetsar. Punktsvetsrobotar används för att sammanfoga plåtar. Elektroder på punktsvetsen förs på var sin sida av plåten under tryck för att sedan skicka ström mellan sig och då smälter plåtarna ihop. Dessa punktsvetsar har spetsar som skyddar elektroderna. Spetsarna poleras och byts regelbundet då de slits vid svetsning. Företag A har ingen egen lösning för att byta, polera och mata fram nya spetsar till punktsvetsrobotarna utan köper in systemen för genomförandet av andra företag. Företaget har använt sig av två olika system för ändamålet vilka tillverkas av olika företag. Det har varit flera klagomål på dessa system från kunder. Exempelvis misslyckas ett av systemen allt för ofta med att dra av spetsarna. Ett annat problem är att systemet som matar fram nya spetsar matar dem liggande istället för stående. Det gör att både spetsar och elektroder skadas. Därtill bidrar inte systemen till någon större ekonomisk vinning för företag A då de inhandlas av annat företag. Dessa klagomål och ekonomiska brister har bidragit till att företag A bestämt att ta fram en egen lösning för ett sammansatt system med tre funktioner. Framtagandet av systemet är huvudprojektet för detta examensarbete.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att konstruera ett sammansatt system av tre moduler som har tre separata funktioner; byta, polera och mata fram nya spetsar till punktsvetsrobotar. Systemet ska enkelt kunna integreras med robotarna och vara automatiskt i den mening att det själv ska kunna byta och grada spetsarna.

1.3 Mål

Huvudmålet för projektet är att ta fram ett sammansatt system med tre moduler. Systemet ska i sin tur uppfylla flertal delmål för att nå förväntat resultat. Modulen för spetsbyte och modulen för spetspolering ska drivas av en och samma elmotor. Systemet ska vara effektivt och helst snabbare än andra system på marknaden. Därav önskas tillverka ett system som byter både övre och undre elektrodspets samtidigt. Vidare ska systemet vara enkelt att hantera, lätt att förstå och användarvänligt. Systemet ska vara hållbart och robust för att inte riskera att skadas då det hanteras av en robot. Ett ytterligare krav är att systemet är kompakt för att inte störa robotens arbete vid användning. Tillverkningskostnaderna för systemet ska vara mindre än kostnaden för att köpa liknande system från ett annat företag. Uppfylls dessa delmål blir systemet konkurrenskraftigt i förhållande till de nuvarande systemen på marknaden vilket eftersträvas.

1.4 Avgränsningar

Projektet behandlar inte kommunikationen mellan roboten och systemet. Projektet behandlar bara mekaniken kring bytes-, polerings-, och matningsmodulen. Material- och komponentval i tillverkningsprocessen styrs av att systemets tillverkningskostnad ska hållas mindre än vad liknande system kostar i inköp. Begränsad tillgång till liknande system avgränsar den inledande fasen i projektet. Endast två faktiska system finns tillgängliga för demontering på företag A innan tillverkning av den egna produkten. Detta bidrar till att kunskapen om hur andra företag löst de tekniska komplikationerna hos de olika systemen är begränsad till bara två företag. Om det funnits fler system att demontera hade det resulterat i fler lösningsförslag för den egna produkten. Vidare behandlar inte projektet säkerhetsaspekter då projektet avser att ta fram en prototyp. Säkerheten kring den slutliga produkten hanteras längre fram i utvecklingsstadiet. Projektet genomförs under åtta veckor på företag A, vilket är minimal tid för att uppnå förväntat resultat.

1.5 Frågeställningar

Sammanfattningsvis är projektets syfte att besvara nedan frågeställningar:

- Hur ska ett system med tre moduler med tre separata funktioner; byta, grada och mata fram nya spetsar till punktsvetsrobotar konstrueras?
- Hur ska tillverkningskostnaderna hållas låga samtidigt som systemet blir användarvänligt, effektivt, hållbart och kompakt?
- Hur ska systemen testas och valideras gentemot de krav och önskemål som finns för dem?

2 Teoretisk referensram

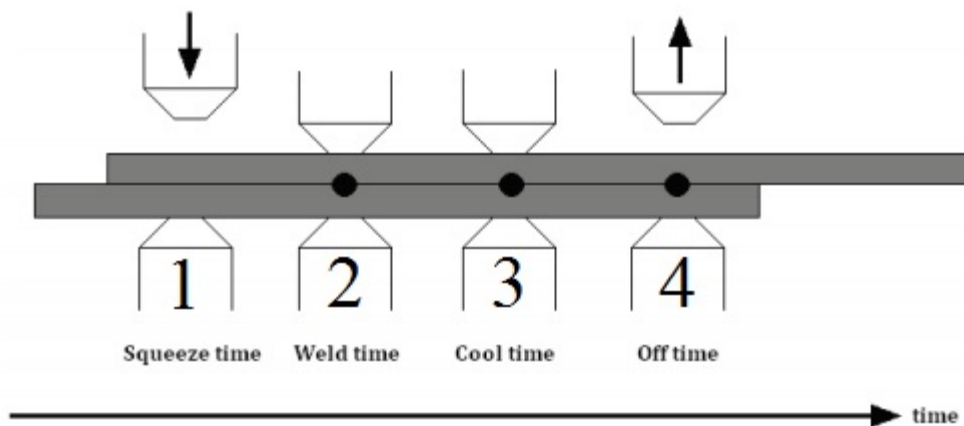
I kommande avsnitt beskrivs den teori som ligger till grund för projektet. Först beskrivs grundläggande principer för punktsvetsning. Punktsvetsning beskrivs för att förstå varför produkten som projektet avser att utveckla behövs. Vidare beskrivs de förslitningar som bildas på elektrodspetsarna.

2.1 Punktsvetsning

Punktsvetsning är en typ av motståndssvetsning där två eller fler plåtar sammanfogas genom att två elektroder med stor kraft pressar samman plåtarna samtidigt som hög ström går mellan dem. Då strömmen går mellan elektroderna bildas en lokal värmebildning vilken är så hög att materialen smälter samman [1]. Till skillnad från bågsvetsning tillförs inget material då arbetsstycket fogas ihop [2]. Inom industrin används avancerade robotar som punktsvetsar är monterade på. De är programmerade att svetsa på förbestämda platser på arbetsstyckena, på så sätt uppnås en precis och effektiv svetsprocess.

2.1.1 Punktsvetsprocessen

Figur 1 tydliggör punktsvetsprocessen vilken med fördel kan delas upp i 4 steg [2].



Figur 1, svetsprocessen över tid [2].

1. De överlappande plåtarna pressas ihop med hög mekanisk kraft mellan övre och undre svetselektrod.
2. Medan plåtarna är sammanpressade slås svetsströmmen på och en lokal temperaturökning sker. Strömstyrkan och svetstiden varierar beroende på temperaturen som krävs för att materialet ska smälta.
3. Då smältan mellan plåtarna är tillräckligt stor stängs svetsströmmen av medan trycket bibehålls. När smältan har stelnat har en svets bildats mellan plåtarna.
4. När smältan har stelnat avlägsnas elektrodtrycket och upprepas på andra förbestämda punkter på arbetsstycket.

2.1.2 Värmebildning

Nedan beskrivs den termoelektriska processen som sker i samband med punktsvetsning.

För att punktsvetsen ska vara möjlig krävs att den värme som bildas är större än materialets smältpunkt. Värmen som bildas förklaras med Joules lag.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (1)$$

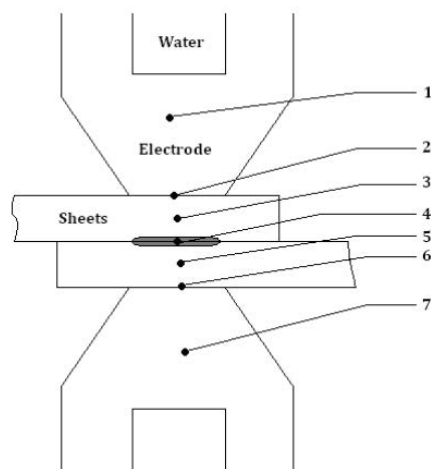
Q = Värmeenergi [J]

I = Ström [A]

R = Elektrisk resistans [Ω]

t = tid [s]

På grund av att kontaktresistansen mellan de plåtar som ska sammanfogas är hög och att strömbanan är kort krävs låg spänning och hög ström. Resistansen och därav värmebildningen (enl. ekvation 1) är lokaliserad på 4 huvudsakliga platser, se figur 2.



1 och 7: Resistansen hos elektroderna.

2 och 6: Kontaktresistans mellan elektroder och plåtar.

3 och 5: Plåtarnas resistanser.

4: Kontaktresistansen mellan plåtarna.

Figur 2, resistansen för de olika komponenterna vid punktsvetsning [2].

Elektrodpetsarna är i huvudsak gjorda av koppar som har låg resistans jämfört med bland annat stål och aluminium. De plåtar som sammanfogas är oftast gjorda av stål eller aluminium. Det ger enl. ekvation (1) högre värmebildning i plåtarna än i elektroderna. Om elektrodspetsarna haft lägre resistans än plåtarna hade svetsningen inte varit möjlig. Kontaktresistansen mellan plåtarna är dock högre än i någon av de andra resistanserna, se figur 2. Det resulterar i enl. ekvation (1) att det är där smältan kommer att bildas vilket är önskvärt [3]. I de material som används i punktsvetsprocesser ökar resistansen till följd av värmeutvecklingen. För att motverka värmeutvecklingen och därav resistansen i elektrodspetsarna kylv dem inifrån med vatten, se figur 2.

2.1.3 Elektrospetsar

I nedan avsnitt beskrivs geometrin hos elektrospetsarna, materialet i elektroderna samt de vanligaste förslitningarna på dem.

2.1.3.1 Geometri

Geometrin hos elektrospetsarna i industrin bestäms utefter hur svetsen önskas bli. Den viktigaste parametern vid bestämning av elektrospetsgeometrin är kontaktarean mellan arbetsstycket och elektrospetsen. Ett riktmärke vid bestämning utav elektrospets är att diametern hos elektrospetsen borde vara lika med 5 gånger tjockleken hos plåten som ska svetsas [4]. Geometrin hos elektrospetsen påverkar både kontakttrycket och strömtätheten. Vid optimering hos punktsvetsrobotarna kan det vara fördelaktigt att använda olika elektrospetsar för den övre respektive den undre elektrospetsen. De vanligaste elektrospetsarna som används är utav ISO-standard ISO 5821:2009 [4].

2.1.3.2 Material

Det vanligaste materialet hos elektrospetsarna är koppar. Koppar används på grund av dess korrosionsbeständighet och överlägsna förmåga att leda ström och värme. Nackdelen med koppar är att det är mjukt vilket gör att elektrospetsen deformeras vid svetsning. Därför används olika legeringar av metallen som är starkare. De vanligaste legeringarna som används i elektrospetsarna beskrivs i ISO-standard ISO 5182:2016 [5] [6].

2.1.3.3 Förslitning

Förslitning hos elektrospetsarna är oundvikligt då de konstant utsätts för temperaturhöjningar och högt mekaniskt tryck. Elektrospetsarna slits i höjdled, när tillräckligt med material har slitits bort från spetsen måste den bytas. Om inte elektrospetsen byts kommer tillslut förslitningen bli så stor att ett hål bildas i toppytan på elektrospetsen och den blir obrukbar.

Fem stycken olika förslitningsmekanismer som påverkar elektrospetsarna har identifierats [1]. De är följande;

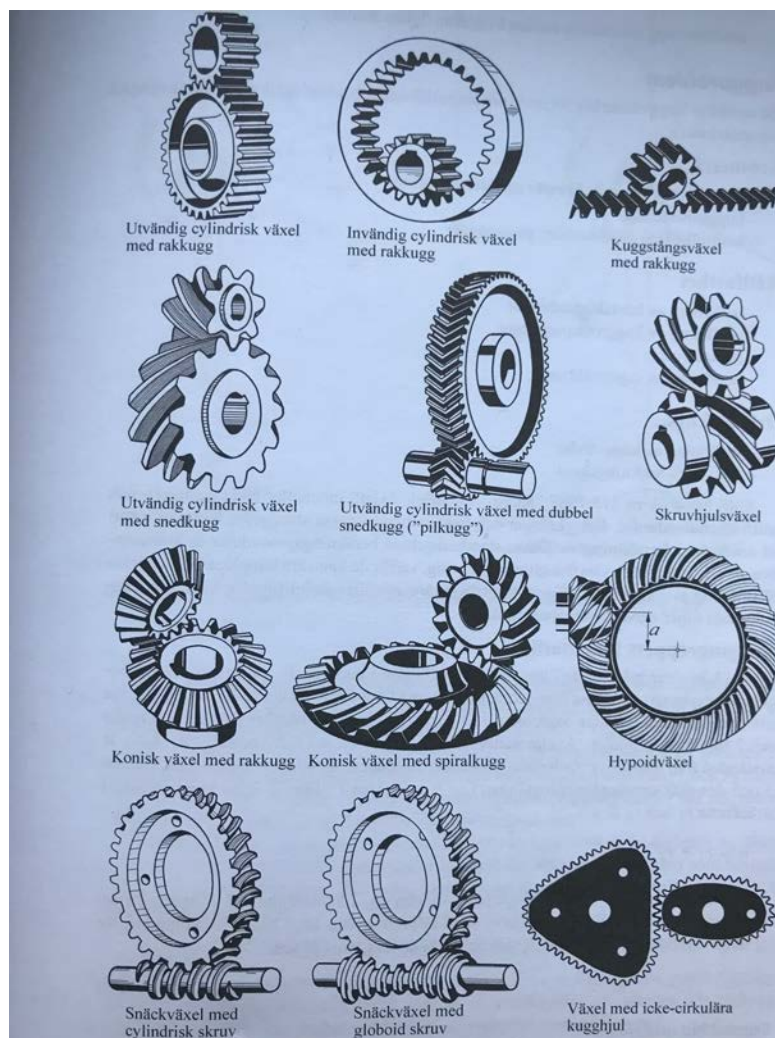
- Uppmjukning eller glödning utav elektrospetsen sker under svetsprocessen då temperaturhöjningar utav spetsparet upprepas.
- Gropfrätning och lokal korrosion utav elektrospetsens yta. Denna förslitningsmekanism leder till hålrum i ytan hos spetsarna vilket leder till sämre svetskvalité.
- Rekristallisation i ytan hos elektrodmaterialen är ett fenomen då nya korn bildas i de deformerade områdena på elektrospetsen. Sker främst i toppytan där deformationen är som störst.
- Legeringsbildning på elektrospetsens toppyta är en förslitningsmekanism där metaller från arbetsstycket fastnar på elektrospetsen vilket leder till sämre svetsresultat.
- Tillväxt utav elektrospetsens toppyta till följd av plastisk deformation vilket bidrar till ojämnheter. Förslitningsmekanismen påverkar livslängden på elektrospetsarna avsevärt och medför att önskad svetskvalité ej uppnås.

2.1.4 Gradning

För att öka livslängden hos elektrodspetsarna och för att bibehålla önskad svetskvalité gradas spetsarna regelbundet. Livslängden för elektrodspetsen är det antal svetsar som kan göras med spetsen innan minimivärdet för längden av spetsen är uppnått. Under gradningen avlägsnas material från spetsarna och på så sätt tas lokala gropar, nya korn, oönskade legeringar och tillväxt utav ytan bort från elektrodspetsarna. Gradningen sker med ett skär som är utformat för just den form som önskas på spetsen. På så sätt återfås precis den geometri och de egenskaper som spetsen hade från början.

2.2 Kuggväxlar

En kugghjulsväxel består av skivor med kuggar. Kuggarna ingriper i varandra och rörelse kan överföras mellan skivorna (kugghjulen). Kuggarna måste vara rundade för att överföringen ska vara mjuk. Kugghjulstranmission är en formbetingat mekanisk transmission vilket betyder att normalkrafter överför rörelse och belastning. Transmissionen används huvudsakligen för att förbinda två roterande axlar. Beroende på om axlarna som ska förbindas är parallella, skärande eller korsande kan olika sorters kugghjul väljas, se figur 3 [7].



Figur 3, olika kuggväxeltyper [7].

Vidare kan transmissionen utnyttjas för att anpassa hastighet och belastning från drivkälla till förbrukare. Kugghjulsutväxlingen kan beskrivas genom; vad som vinnes i kraft, förloras i hastighet. Då kugghjul kopplas samman sker en utväxling, vilken är kvoten av ingående och utgående hastighet.

$$i = \omega_{in} / \omega_{ut} \quad (2)$$

Om man bortser från förluster i transmissionen så är effekten in lika med effekten ut vilket kan skrivas;

$$M_{in} * \omega_{in} = M_{ut} * \omega_{ut} \quad (3)$$

Utifrån ekvation (3) ses

$$\omega_{in} / \omega_{ut} = M_{ut} / M_{in} \text{ vilket ihop med ekvation (1) ger;}$$

$$M_{ut} / M_{in} = i \quad (4)$$

Man kan också beräkna utväxlingen som kvoten mellan kugghjulens kuggantal;

$$Z_{ut} / Z_{in} = i \quad (5)$$

I verkligheten blir det alltid förluster i transmissioner och verkningsgraden beräknas med kvoten mellan effekt ut och effekt in;

$$P_{ut} / P_{in} = M_{ut} / M_{in} * \omega_{ut} / \omega_{in} = \eta \quad (6)$$

Vid dimensionering och val utav kuggväxlar bör följande frågor beaktas [7];

- Geometri
 - Vilken rörelseöverföring önskas?
 - Är tillverkningen möjlig?
 - Vilka toleranser och passningar behövs?
- Hållfasthet
 - Vilka kontaktspänningar ska växeln klara av?
 - Vilka kuggrotsspänningar ska kugghjulen klara av?
 - Vilket materialval är lämpligt för ändamålet?
 - Vilka lagerreaktioner ska finnas?
- Drift
 - Behöver kugghjulen smörjas? I så fall med vilket smörjmedel?
 - Vilka förluster d.v.s. vilken verkningsgrad är godkänd för växeln?

3 Metod

Följande avsnitt belyser metodval och beskriver arbetsgången under arbetet mot projektets slutgiltiga resultat.

3.1 Förundersökning och kravspecifikation

En grundlig förundersökning har genomförts med syfte att utveckla en djupare förståelse för vilka lösningar som förekommer och dess för- och nackdelar. På företag A finns två team som arbetar med de tillsatsmoduler till punktsvetsrobotar som projektets syfte är att konstruera. Genom samtal med dem sammanställdes de för- och nackdelar som kunder upplevt med de lösningar som används i nuläget. Teamen beskrev utförligt vilka delar som bör förbättras och jag gavs möjlighet att ställa följdfrågor samt sammanställde informationen efter samtalet. Innan projektet påbörjades genomfördes därtill en marknadsundersökning som visat på vilka lösningsförslag som finns på marknaden.

Därefter gjordes en grundlig analys i form av demontering av de två tillgängliga systemen för att få ökad förståelse för dess konstruktion. Syftet med analysen var att få insyn i hur systemen är konstruerade samt vilka delar som bidrar till de för- och nackdelar kunder upplever med systemen. De delar i konstruktionen som bidrar positivt till systemet kunde vidare användas vid tillverkning av den egna produkten medan de delar som bidrar negativt försökte omkonstrueras.

När demontering och identifiering av möjligheter och brister skett togs en kravspecifikation fram utifrån de mål och krav som ställts från företag A och kunder, denna presenteras utförligt i avsnitt 4.2.

3.2 Lösningsförslag

Analysen av nuvarande system ligger till grund för de lösningsförslag som tagits fram. Projektet delades upp i två delsystem. Flertal lösningsförslag utformades parallellt. Ett mindre antal förslag kunde direkt strykas då de inte uppfyllde kraven för projektet. Övriga lösningsförslag för de två delsystemen analyserades och utvärderades grundligt. Utifrån analysen valdes ett lösningsförslag för varje delsystem. Lösningarna som valdes utvecklades till förenklade prototyper i Solidworks. Dessa presenteras för beslutfattaren för projektet på företag A, han bestämde att projektet skulle fortgå till nästa fas i utvecklingen; prototypkonstruktion.

3.3 Konceptval

En utvärderingsprocess har använts som hjälpmedel i beslutsprocessen för vilka lösningsförslag av delsystemen som har valts att presenteras för beslutfattande på företag A. En pugh-matrisutvärderingen ska enligt Hans Johannesson utföras enligt följande arbetsmetodik; först ställs lösningsförslagen mot en referenslösning. Sedan ska de lösningsförslag som fått högst poäng sättas in i en ny Pugh-matris där det lösningsförslag som fick högst poäng från tidigare matris sätts som referens. Vidare ska de kriterier som lösningsförslagen jämförs mot vara mätbara önskemål som återfinns i kravspecifikationen. [8]. Denna arbetsgång följs inte helt i projektet, varför förklaras i avsnitt 4.4.

3.4 Prototyp

Utifrån lösningsförslagen för delsystemen byggdes prototyper av dem. Prototyperna konstruerades och utvecklades i sin helhet i konstruktionsprogrammet Solidworks för att bekräfta att funktionerna fungerade. 3-D modellerna överfördes därefter till 2-D ritningar som skickades till olika tillverkningsföretag för tillverkning av delarna. Dessa monterades vidare ihop på företag A.

3.5 Test och validering

Tanken var att prototyperna skulle testades gentemot kravspecifikationen för att se att de uppfyllde de krav och förväntningar som fastställts. En del av dem gick att validera och testas då de skedde digitalt. Olyckligtvis blev det förseningar och fel i tillverkningen utav de egentillverkade delarna som ingick i systemet. Det i sin tur gjorde att det inte gick att testa och validera prototypen fysiskt. De test som skulle göras på den fysiska prototypen var funktionstest och utmattningsprov. Vilka tillverkningsfel som uppkom beskrivs i detalj i avsnitt 4.5.1.2.

4 Resultat

Till en början har projektet betraktats som ett sammansatt projekt med två sammankopplade system. Efter förundersökningen genomförts och innan lösningsförslag påbörjades delades projektet upp i två delsystem vilka redogörs för ytterligare under avsnitt 4.3.

4.1 Förundersökning

Här följer resultaten för den förundersökning som genomfördes innan projektet där samtal med företag A och en marknadsundersökning låg till grund för sammanställning av projektets kravspecifikation.

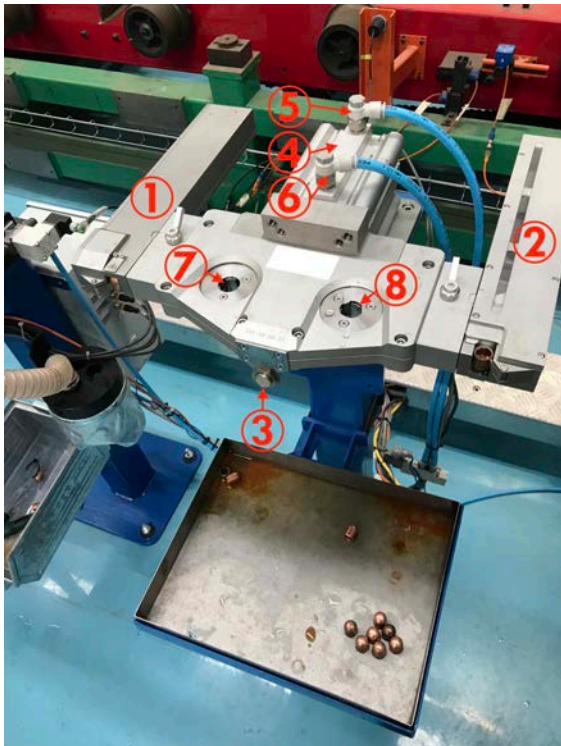
Utifrån samtal med teamen framkom att företag A köpt in system från två olika företag. Det ena företaget, Innovative Technology, säljer ett system vid namn "Tip changer EC-6". Systemet har två funktioner; bytesfunktion och matningsfunktion. Systemet har problem med sin bytesfunktion och saknar poleringsfunktion. Mer ingående om hur detta system är uppbyggt samt dess för- och nackdelar beskrivs i kapitel 4.1.2.1. Det andra systemet som företag A köper in säljs av företaget Lutz precision. Det är ett system med samtliga funktioner som detta projekts lösning ska innefatta. Systemet har däremot problem med både bytesmekanismen och matningsmekanismen. Mer ingående om hur detta system fungerar samt dess för- och nackdelar avläses i kapitel 4.1.2.2.

4.1.1 Dagens marknadslösningar

Nedan beskrivs några av de system som finns på marknaden. Information är inhämtad från företagens hemsidor och deras presentationer. De första två systemen demonterades för att få information om hur systemen fungerar. Därför är dessa beskrivningar mer utförliga än de andra marknadslösningarna.

4.1.1.1 Innovative technologies Co., Ltd. Tip changer EC-6

På figur 4 ser vi produkten uppställd på sin arbetsstation. På vänster sida (nummer 1) och höger sida (nummer 2) ses matningsmodulerna. Den vänstra matar fram elektrodspetsar till den undre elektroden och den högra matar fram elektrodspetsar till den övre elektroden. Inuti matningsmodulerna sitter sensorer som avgör om det finns spetsar i magasinen. Sensorerna avger en signal då något av magasinen är slut. Nummer 4 på figur 4 visar den pneumatiskt styrda cylindern med dess tillhörande tryckluftsslangar, 5 och 6. När luft går till den bakre slangen trycks stängen på figur 5 framåt och då sker en fasthållning samt en vertikal rörelse på spetsen. Det gör att spetsen avlägsnas från elektroden. Då spetsen är fasthållen och avdragen flyttar sig roboten från avdragaren och trycket på den bakre slangen släpps. Därefter blir den främre luftslangen, nummer 6, trycksatt vilket gör att cylindern går tillbaka till sitt bakre läge. Det gör att den förbrukade elektroden släpps och faller i plåtbläcket under. Innan och efter avdragningen av spetsen samt efter att roboten har hämtat en ny spets kontrolleras om elektroden har en spets genom att roboten placerar elektroden framför sensorn, nummer 3 på figur 4. Genom kontrollen kan roboten avgöra om avdragning respektive montering av en ny spets har varit lyckad. Denna produkt byter en spets åt gången. Den vänstra avdragaren, nummer 7, byter den undre spetsen. Den högra avdragaren, nummer 8, byter den övre spetsen.



Figur 4, produktionslösningen tip changer EC-6 uppställd på en arbetsstation.



Figur 5, visar mekaniken kring avdragningsfunktionen inuti tip changer EC-6.

På figur 5 ser vi hur mekaniken ser ut inuti produkten. I skåran löper en stång som har kuggar som passar med kugghjulen. Stången är kopplad på den pneumatik drivna cylindern. När stången rör sig framåt roterar kugghjulen åt respektive håll. Då nyper de tre gripkäftarna tag i spetsen. Därefter sker en vertikal rörelse på hela kugghjulet med hjälp av skåror på hjulet och kulor som ligger i hål placerade på de två delar som har kontakt med hjulet. På grund av den vertikala rörelsen så släpper spetsen från elektroden.

Ett problem som kunder upplevt med denna produkt är att då roboten har hämtat en ny spets så händer det att spetsen efter hamnar i liggande läge. Det leder till att nästa gång roboten

hämtar en ny spets ligger spetsen fel och spetsbytet kan inte genomföras. En annan nackdel med produkten är att en gradare inte är integrerad utan måste köpas separat. Vidare fungerar avdragningsfunktionen exceptionellt.

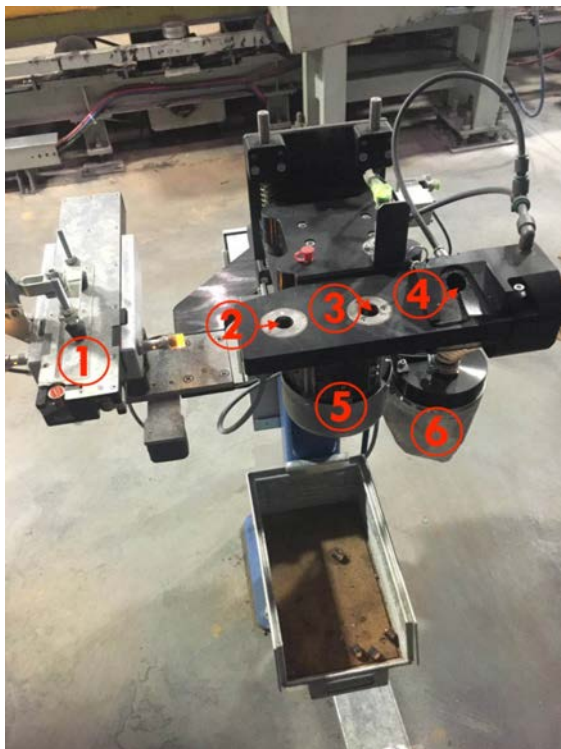
Tabell 1, specifikationer för Cap remover EC-6.

Specifikationer	
Dimensioner [mm]	445x340x95
Vikt	8 kg
Rotation och tryck/drag	60°x1.8 mm
Lufttryck	0.5 MPa
Tidsåtgång för elektrodbyte	28–35 s
Vridmoment för spetsavdragare	96.72 Nm
Minsta öppningen för elektroderna [mm]	47x26
Antal spetsar i matningsmodulen	16 st för 16 mm spets 13 st för 19 mm spets 12 st för 20 mm spets
Livslängd	300 000 cykler

4.1.1.2 Lutz

Figur 6 visar produkten uppställd på sin arbetsstation. Till vänster på figuren ses matningsmodulen av spetsar, nummer 1. Mataren inhyser både spetsar till den övre och den undre elektroden. Det sitter en sensor på båda sidorna om matningsmodulen som avger en signal om övre eller undre spetsmagasin är slut. Nummer 2 och 3 är undre respektive övre avdragare. När motorn (nummer 5 i figuren) roterar åt vänster nyrer griplorna i avdragningsmodulen tag i spetsen. Sedan avlägsnas spetsen från elektroden genom att roboten med sin kraft förflyttar sig vertikalt från avdragaren. Spetsen sitter då kvar i avdragningsmodulen. När roboten har avlägsnat sig från avdragaren roterar motorn åt höger och griplorna öppnas. Då släpps den förbrukade spetsen i lådan längst ner på figuren. Nummer 4 på figur 6 visar gradare som består av en hållare som innefattar ett skär. Skäret har en symmetrisk figur vilket gör att den kan grada både övre och undre elektrodspets samtidigt. Över öppningen till gradaren finns mjukt gummi som gör att restprodukter i form av spån inte yr omkring. Kopplat till gradaren är lufttryck som blåser spånen till en behållare, nummer 6 på figuren.

På figur 7 ses mekaniken inuti produkten. Axeln, nummer 1, kopplas på motorn. På Axeln sitter ett kugghjul som är kopplat till mellankuggen, nummer 2. Avdragaren till den undre elektrodspetsen är förenad med kugghjul nummer 3. Avdragaren till den övre elektrodspetsen är kopplad på kugghjul nummer 4. Kugghjul nummer 4 är rostig på grund av att när den övre elektrodspetsen avlägsnas rinner kylvatten ut från elektroden. Nummer 5 på figuren visar gradaren med dess hållare och skär (den guldiga). Gradaren ser likadan ut på andra sidan.



Figur 6, produkten uppställd på sin arbetsstation.



Figur 7, visar mekaniken för avdragaren och gradaren inuti produkten.

Liksom med tidigare beskriven produkt, så är ett problem som upplevts att efterkommande spets hamnar i liggande läge då roboten hämtat en ny. Det leder till att nästa gång en ny spets ska hämtas så blir inte spetsbytet genomförbart. Därtill är matningsmodulen på denna produkt krånglig att fylla på och avdragaren misslyckas ibland med att hålla fast spetsen tillräckligt hårt. Det gör att spetsen inte åker av när roboten förflyttar sig från avdragaren.

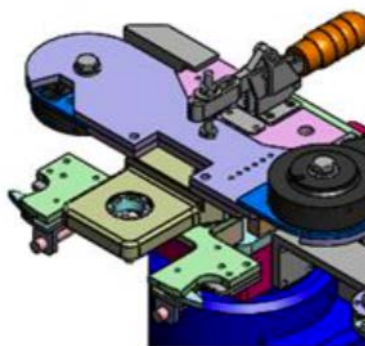
Tabell 2, specifikationer för Lutz system.

Specifikationer	
Dimensioner [mm]	650x450x350
Vikt	Ej angivet
Rotation	360°
Luftryck	0.5–1 MPa
Tidsåtgång för elektrodbyte	25–35 s
Vridmoment för spetsavdragare	5.1 Nm
Minsta öppningen för elektroderna [mm]	44x21
Antal spetsar i matningsmodulen	10 st för 16 mm spets 10 st för 20 mm spets 10 st för 23 mm spets
Livslängd	Ej angivet

4.1.1.3 AMDP

På figur 8 ses AMDP:s produkt för gradning och byte av elektrodspetsar.

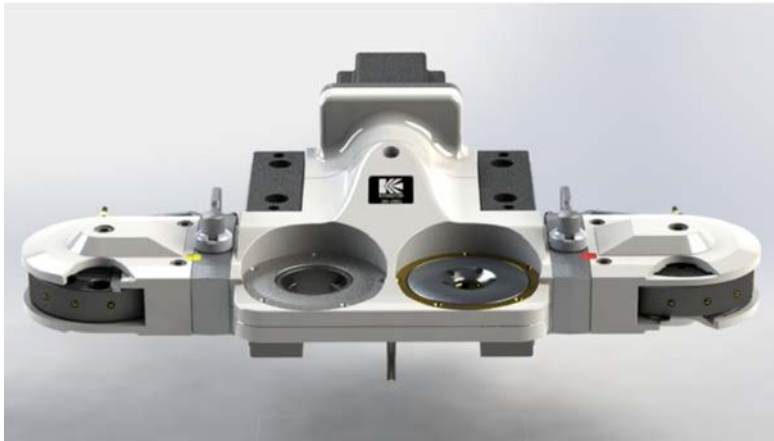
Avdragningsfunktionen, de två gröna delarna på figuren, fungerar genom att roboten trycker in elektroden med dess spets horisontellt mellan de två klorna vilket låser spetsen. Då roboten har låst spetsen gör roboten en axial rörelse på 60° samtidigt som den gör en vertikal rörelse. Då sitter elektrodspetsen kvar mellan klorna och elektroden är utan spets. Därefter hämtar roboten en ny spets i de runda magasinen som syns som svarta delar snett ovan avdragarna på figur 8. Roboten övervakar alla steg genom att kontrollera så att avdragningarna och hämtningen av nya spetsar har varit lyckade genom sensorer under avdragarna. Mellan avdragarna sitter gradaren som gradar både undre och övre elektrodspets samtidigt. Gradaren drivs av en elmotor. I denna produkten gör roboten allt arbete för att dra av spetsen. Den vänstra av de två avdragarna är till den övre elektroden och den högra är till den undre. Den vänstra av de två magasinen är till den övre elektroden och den högra är till den undre. Informationen om AMDP:s produkt är inhämtad internt från företag A.



Figur 8, visar AMDP:s produkt för gradning och byte av elektrodspetsar.

4.1.1.4 Kyokutoh, DH-SVR2

På figur 9 ses Kyokutoh:s gradare och bytare av elektrospetsar. På höger och vänster sida ses de runda spetsmagasinen för övre respektive undre elektrospetsar. I det vänstra av de två hål på figuren sitter gradaren. DH-SVR2 kan grada både övre och undre elektrospets samtidigt. I det högra av de två hålen sitter avdragaren. I denna produkt dras över och undre spets av med samma avdragare. Endast en spets kan dras av åt gången. Produkten drivs av en servomotor som ses längst bak på figuren. Det finns många tillbehör till DH-SVR2 så som exempelvis spånfångare, luftblåsare och spånsug [9].



Figur 9, visar Kyokutoh:s gradnings och elektrospetsbytare DH-SVR2.

4.1.1.5 Rosen resistance welding

Rosen resistance welding har manuella lösningar för avdragning och gradning av elektrospetsar. På figur 10 ses en manuell gradare med spärrskriftsfunktion. Hållaren och skäret är från företaget Kyokutoh. Det går bra att grada både övre och undre elektrospets samtidigt. På figur 11 ses en manuell gradare som drivs av lufttryck. Den kräver mindre mänsklig kraft än spärrskriftsvarianten dock måste en person fortsatt fysiskt grada spetsarna. Den tryckluftsdrivna gradaren kan grada en elektrospets åt gången.

På figur 12 ses Rosens resistance welding's manuella spetsavdragare. De fungerar genom att verktygets hål placeras på elektrospetsen och sedan trycks handtaget framåt och nedåt eller uppåt med mänsklig kraft för att få av spetsen. Nedåt eller uppåt beror på om man drar av den övre eller den undre elektrospetsen [10] [11] [12].



Figur 10, visar en manuell gradare.



Figur 11, tryckluftsdreven manuell gradare.



Figur 12, visar två manuella spetsavdragare.

4.2 Kravspecifikation

De krav och mål som ställs på systemet ligger till grund för prototypens kravspecifikation. Den innehåller krav och mål från både kunder och företag A. Klagomål från kunder på de system som företag A idag har sålt med sina punktsvetsrobotar ligger till grund för de önskemål och krav där referensen i kravspecifikationen är ”kunder”. Företag A är den andra referensen i kravspecifikationen. Företag A’s önskemål och krav är baserade på att ta fram en konkurrenskraftig produkt. För att produkten ska vara konkurrenskraftig behöver den innehålla välfungerande funktioner samtidigt som den inte får vara för dyr.

De tre huvudsakliga kraven är att systemet ska innefatta de tre funktionerna; gradning, matning och byte av elektrospetsar. Vidare finns krav och önskemål om prestanda, livslängd, användarvänlighet, estetik, tillförlitlighet, kostnad och komplexitet. För att se fullständig kravspecifikation se bilaga 1.

4.3 Lösningsförslag

På grund av projektets storlek och tidsbegränsning samt produktens utformning har projektet delats upp i två delsystem. I princip är de två delsystemen så pass fränkopplade att de kan utvecklas var för sig. Det medför att ett system utvecklats i taget. När det första systemet arbetats fram skickades dess komponenter till produktion. Under produktionen av det första systemets komponenter påbörjades utvecklingen av det andra systemet.

Det första delsystemet som utvecklades var drivningen av avdragnings- och poleringsmodulen, mekaniken kring själva modulerna samt konstruktionen för kåpan runt modulerna. Avdragningsmodulen är den del av bytesmodulen som drar av spetsen från elektroden. Den andra delen av bytesmodulen är matningsmodulen. Den utvecklades i det andra delsystemet. Det togs hänsyn för plats för att montera ihop det första och det andra delsystemet när kåpan konstruerades. När det första delsystemet var en fullt utvecklad prototyp i Solidworks skickades ritningarna på delarna av systemet till ett externt tillverkningsföretag för produktion av dem. Då påbörjades arbetet med att ta fram en digital prototyp för matningsmodulen. Nedan redovisas lösningsförslag för delsystem 1 och delsystem 2 var för sig och därefter redogörs för framtagningen av prototyper med samma upplägg i avsnitt 4.5. Flertalet av lösningsförslagen baseras på de två system jag tidigt i projektet demonterade. Det sammansatta systemet är ett system med tre funktioner uppdelat i två delsystem. Lösningsförslagen för de två delsystemen redovisas separat.

För varje lösningsförslag följer en beskrivning av förslaget samt varför det har avvisats eller godkänts. I avsnitt 4.4 beskrivs Pugh-matriserna som har använts för att hjälpa till i beslutsprocessen.

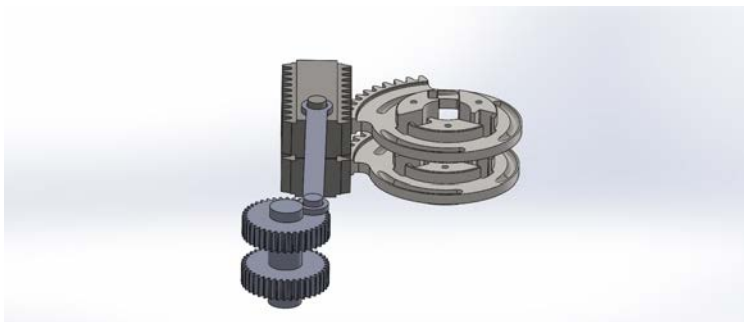
4.3.1 Delssystem 1

Drivlinan, kåpan, avdragningen och poleringen är de delar som tillhör delsystem 1. Nedan följer de lösningsförslag som tagits fram med tillhörande motivering om varför de avvisats eller godtagits. Tidigt i projektet bestämdes att försöka använda en liknande avdragningsfunktion som i EC-6:ans. Detta för att den, enligt kunder, fungerar tillfredställande och att den ligger till grund för de andra prototyper företag A har arbetat med innan och under projektets gång. Det finns flertal standardhållare för den specifika gradaren för poleringsfunktionen. Dessa gradare fungerar tillförlitligt, är billiga i inköp och det finns standard skär att köpa till dem. I projektet har därav inte tagits fram en egen lösning för själva gradningen. I lösningsförslag 2 och efterkommande 4 lösningsförslag används en avdragare

som kan rotera helt runt sin axel. Avdragningsfunktionen bygger på EC-6:ans lösning. Avdragaren beskrivs i detalj i avsnitt 4.3.1.6.

4.3.1.1 Lösningsförslag 1

Det första lösningsförslaget är att på axeln från motorn använda ett kugghjul där en stav är kopplad, se figur 13. Staven i sin tur driver kuggaxeln i EC-6:ans lösning för avdragning av spetsen. Avdragarna monteras parallellt med varann och kuggstaven görs högre. På så sätt är både övre och undre elektrospets möjliga att byta samtidigt. Vidare ska ett annat kugghjul på axeln driva poleringsmekanismen. Fördelarna med lösningen är att en ombyggnad av själva avdragningsfunktionen inte behövs vilket garanterar att avdragningsfunktionen fungerar. Nackdelarna väger dock över fördelarna. Det är svårt och dyrt att styra motorhastigheten vilket är ett måste för detta lösningsförslag eftersom när stången är i sitt yttersta läge måste den kunna stanna där. Likaså måste det vara enkelt att styra så att avdragaren hamnar i sitt öppna läge. Om avdragaren inte är öppen när roboten går till avdragarna går de sönder, därav behövs en sofistikerad återkoppling. En sista nackdel med lösningsförslaget är att gradaren kopplas på samma axel som kugghjulet med staven vilket leder till att när spetsarna ska gradas kommer avdragaren att rotera i samma hastighet. Avdragaren som används i lösningsförslaget har begränsad livslängd så om de två funktionerna är kopplade på samma axel blir avdragarens livstid kort.



Figur 13, lösningsförslag 1.

4.3.1.2 Lösningsförslag 2

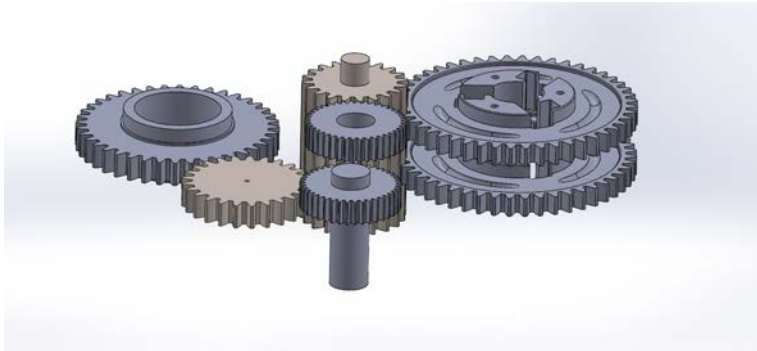
Lösningsförslag 2 bygger på att EC-6:ans avdragare konstrueras om så att den kan roteras 360° istället för 60°. Avdragaren konstruerades om så att den kan göra cirkulära rörelser, se figur 17, 18 och 19 i avsnitt 4.3.1.6. Avdragaren och gradaren skulle vidare drivas likt Lutz precisions lösning, med ett kugghjul på motoraxeln som är kopplat till både polering och avdragare. Beroende på om gradning eller avdrag av spetsen ska ske regleras motorhastigheten. Trots att avdragaren konstruerades om antas den fortfarande ha begränsad livslängd. En nackdel med denna lösning är att då polering ska ske krävs högre motorhastighet och eftersom avdragarna och poleringen är kopplade till samma axel så roterar även avdragarna när polering sker. Detta förkortar avdragarnas livslängd.



Figur 14, lösningsförslag 2.

4.3.1.3 Lösningsförslag 3

Denna lösning är en vidareutveckling av lösningsförslag 2. Lösningen bygger på att kugghjulet som styr avdragaren läggs i en annan nivå än det kugghjul som styr gradaren, se figur 15. En cylinder styr därefter höjden på motorn och på så sätt kan växling mellan avdragare och gradare ske. Detta motverkar problemet med att en för hög hastighet skadar avdragaren då avdragaren och poleraren blir helt frikopplade från varandra. Det krävs en sofistikerad återkoppling och motor för att veta var kugghjulen är i förhållande till varandra och för att rotera motorn så precist att kugghjulen inte ligger i linje med varandra. Om det ska ske en växling mellan avdragare och polering eller vice versa och kugghjulen inte ligger i linje med varann kommer de att gå sönder. Det är likt lösningsförslag 1 dyrt.



Figur 15, lösningsförslag 3.

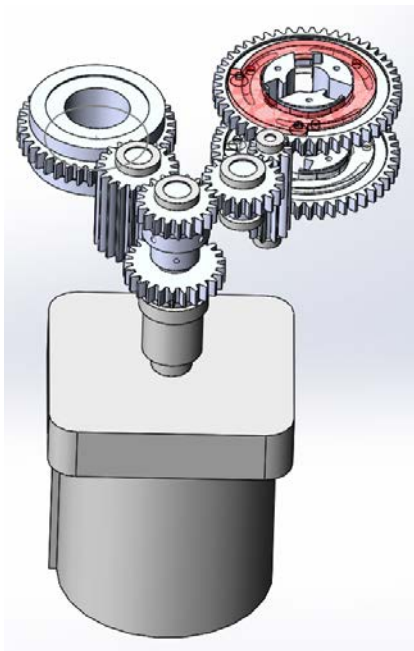
4.3.1.4 Lösningsförslag 4

Lösningsförslag 4 är en vidareutveckling på lösningsförslag 2 och 3. På motoraxeln monteras två kugghjul, ett som reglerar avdragaren och ett som reglerar poleringen. Lösningen bygger på att hastigheten för avdragaren växlas ner från ena kugghjulet på axeln genom att ändra utväxlingen med flera andra kugghjul. Från det andra kugghjulet ändras hastigheten så att den passar gradaren. Det sker likaså genom att med flera andra kugghjul ändra utväxlingen. Hastigheten som krävs för att en avdragning ska ske och att roboten hinner flytta sig från avdragaren innan avdragaren släpper den använda spetsen är 4–6 RPM. Hastighet som krävs för att gradningen ska fungera bra är 450–550 RPM. Svårigheten med att realisera detta lösningsförslaget är att det krävs många kugghjul. Därav blir kåpan som huserar mekaniken onödigt komplicerad att tillverka. Ytterligare en nackdel är att även om hastigheten är låg påverkar varje gradning livslängden för avdragaren.

4.3.1.5 Lösningsförslag 5

Lösningsförslag 5 bygger på lösningsförslag 4 fast istället för att hastigheten växlas ner eller upp med kugghjul monteras ett spärrlager på axeln. På spärrlagret monteras kugghjulet som styr avdragaren, se figur 16. Detta leder till att när motorn snurrar snabbt åt ena hållet snurrar bara poleringsmodulen. När motorn istället snurrar åt andra hållet snurrar avdragningsmodulen och poleringsmodulen. Att poleringsmodulen snurrar samtidigt som avdragaren gör inget då poleringsmodulen inte har problem med livslängd så som avdragaren har. När motorn snurrar åt det håll som får avdragningsmodulen att snurra körs motorn i den hastighet som krävs för avdragaren. När motorn snurrar åt andra hållet körs motorn i den hastighet som poleringsmodulen kräver.

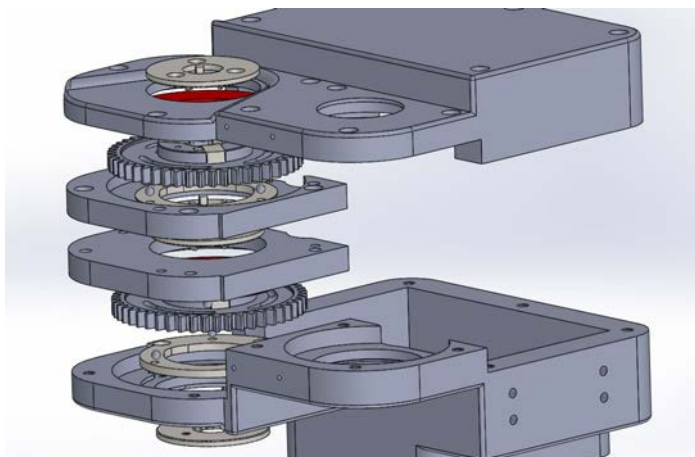
Detta lösningsförslag var mest lämpligt utifrån projektets syfte och var vidare det lösningsförslag som presenterades för företag A.



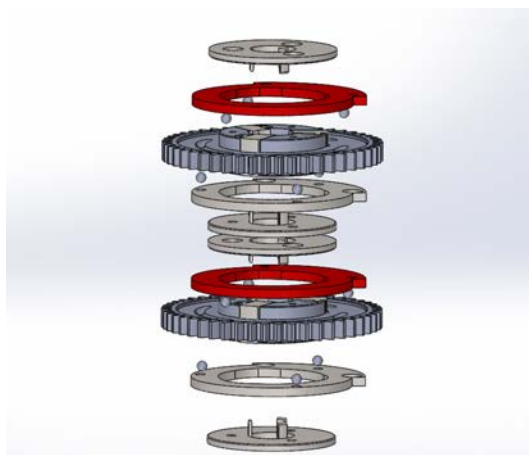
Figur 16, lösningsförslag 5.

4.3.1.6 360° avdragare

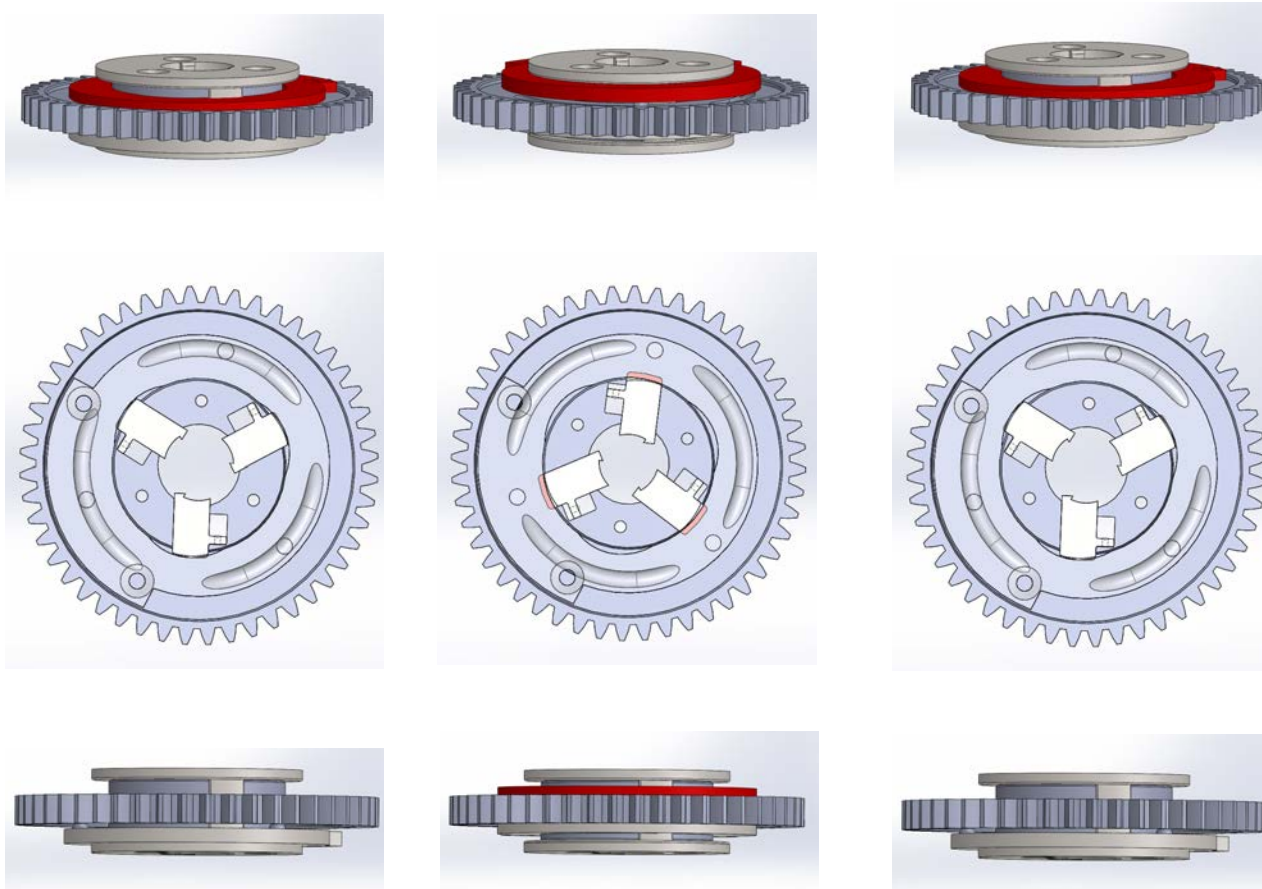
Nedan följer en utförlig beskrivning av den omkonstruerade avdragaren som bygger på EC-6:ans konstruktion. På figur 17 och 18 ses två sprängskisser av avdragarna utav övre och undre elektrospets. Kulorna som ses på figurerna är 4.5 millimeter i diameter. Det gör att den vertikala rörelsen som sker i avdragarna blir 2.25 millimeter. Denna förhållandevis korta rörelse är tillräcklig för att elektrospetsarna ska släppa från elektroderna. Tre gånger per varv sker en avdragningscykel. På figur 19 ses stegen som ingår i avdragningscykeln från vänster till höger. Den översta raden på figuren visar den övre elektrospetsens avdragare. Den mellersta raden på figuren visar klämfunktionen i avdragarna och den undre raden visar den undre elektrospetsens avdragare. I den första kolumnen är avdragarna öppna och de ligger jäms med övre respektive undre del av ytterskalet. Mellan den första och den andra kolumnen klämmer griplorna fast spetsarna. På den andra kolumnen ses både den övre och den undre avdragarens vertikala rörelse samtidigt som spetsarna fortfarande är fasthållna vilket gör att spetsarna släpper från elektroderna. På den sista kolumnen ses slutligen avdragarna när de återgår till sina ursprungslägen, det vill säga avdragarna är öppna och ligger jämns med övre och undre ytterskal. När avdragarna öppnas släpps de avdragna spetsarna.



Figur 17, sprängskiss av avdragaren på den färdiga prototypen.



Figur 18, sprängskiss av enbart avdragaren.



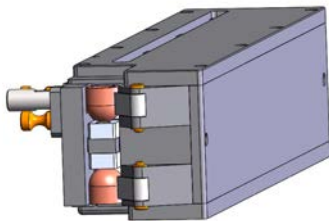
Figur 19, en avdragningscykel sker då kugghjulet roterat 120° . Den övre raden med bilder visar avdragaren för den övre elektroden, mellersta raden visar klämfunktionen och den sista raden visar avdragaren för den undre elektroden.

4.3.2 Delsystem 2

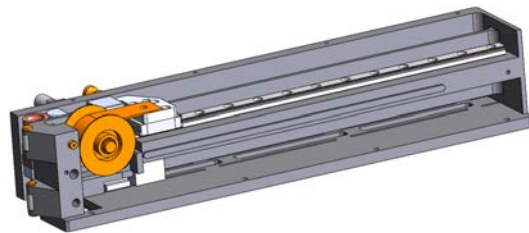
Modulen som huserar nya elektrodspeetsar med tillhörande mekanik för att mata fram speetsar till roboten är de delar som ingår i delsystem 2. Nedan följer de lösningsförslag som tagits fram samt motivering till varför de avvisats eller godtagits. Innan arbetet med lösningsförslagen påbörjades bestämdes att ta fram en linjär modul och inte en cirkulär modul. Beslutet grundas i avsaknaden av runda moduler på företaget vilket gjorde att det inte gick att demontera en sådan modul för att få en god uppfattning av den bakomliggande mekaniken. Det har pågått prototypbyggnation av en linjär matningsmodul tidigare på företag A som ligger till grund för de lösningsförslag som beskrivs nedan.

4.3.2.1 Lösningsförslag 1

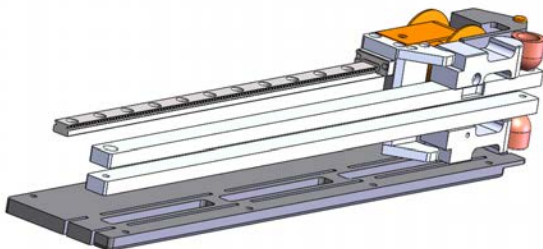
Lösningsförslag 1 är en omkonstruktion av den tidigare prototypen. Först skapades plats för två rader med speetsar, se figur 20. För att vidare lösa problemet med att de elektrodspeetsar som är 16 respektive 21 millimeter höga inte ska lägga sig ner då roboten hämtar speetsar konstruerades delar som gör att höjden till övre delen av skalet är samma som för speetsar som är 23 millimeter höga. Dessa delar är de vita delarna som ses under elektrodspeetsarna på figur 20 och 22. Den ena delen är en platta som skruvas fast i modulen, en för 16 och en för 21 millimeters elektrodspeetsar. Den andra delen är den del som puttar fram speetsarna, likaså en del för 16 och en del för 21 millimeters speetsar. För att bli av med vattnet som ansamlades i magasinet och skapade rost gjordes avrinningshål så att vattnet kan rinna ut. Kopplingsdelen på magasinet som sätter samman magasinet med delsystem 1 konstruerades i en genomtänkt vinkel så att vattnet alltid rinner längst fram i magasinet där avrinningshålet finns.



Figur 20, lösningsförslag snett framifrån.



Figur 21, mekaniken inuti lösningsförslag 1.



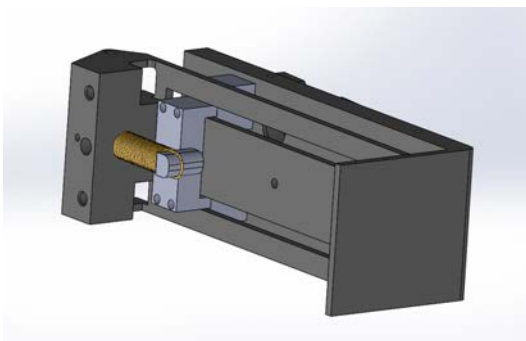
Figur 22, mekaniken bakom lösningsförslag 1.

Lösningsförslag 1 uppfyllde projektets syfte och presenterades för företaget men avslogs av följande skäl, prototypen var för lång. Vidare önskade företaget att användande av vanliga drag eller tryckfjädrar skulle utvärderas då dessa är billigare. Slutligen önskades att sätet som

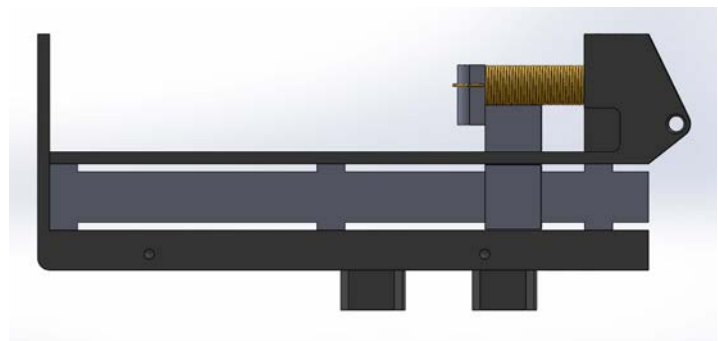
den statiska fjädern löper över, se delen på figur 21 och 22 med många skruvhål, inte skulle användas då den är relativt dyr att tillverka.

4.3.2.2 Lösningförslag 2

Lösningförslag 2 är en vidareutveckling av lösningförslag 1, se figur 23 och 24. Delarna för att mata fram två elektorspetsar, delarna som motverkade att spetsarna lägger sig ned samt delarna som gör att vattnet inte ansamlas i magasinet togs med till lösningförslag 2. För att få ner längden på prototypen kortades magasinet till att bara husera 8 elektrospetsar. Detta var lämpligt då en punktsvetsrobot sällan byter spetsar mer än 5 gånger per dag. Vidare utvecklades lösningförslaget så att en vanlig dragfjäder kan användas. Den del som trycker fram spetsar konstruerades om så att sätet som användes i lösningförslag 1 inte behövs. Jag fann en dragfjäder från företaget Lesjöfors AB som var 40 millimeter ospänd och 150 millimeter spänd. Vidare har fjädern en dragkraft på 16.5 N.



Figur 23, lösningförslag 2 snett bakifrån.

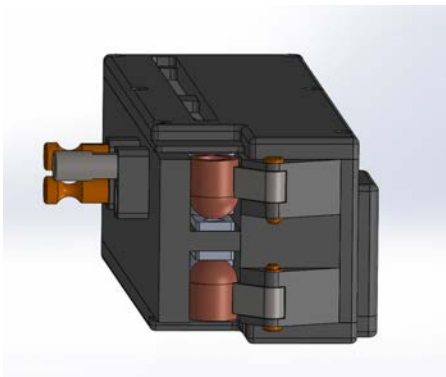


Figur 24, lösningförslag 2 ovanifrån.

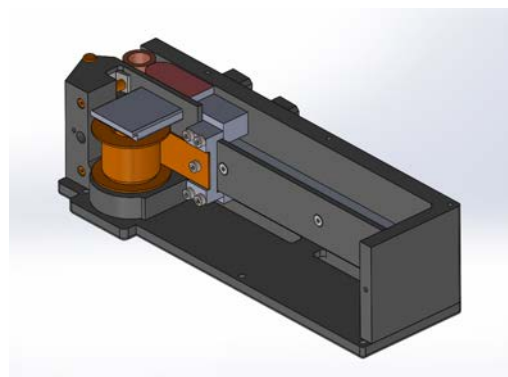
Nackdelarna med lösningförslag 2 är flera. Dragfjädern som jag fann kostade i princip samma som den statiska fjädern vilket betyder att det inte fanns någon ekonomisk vinst i att byta. Den statiska fjädern har en dragkraft på 20 N och det fungerar. Dragfjädern har en dragkraft på 16.5 N vilket inte kan säkerställa att fjädern skulle klara att trycka fram spetsarna. Samtidigt är fjäderkraften avtagande ju längre fjädern blir vilket ytterligare påverkar osäkerheten om fjädern klarar av att trycka fram elektrospetsarna. Fjädrar som är billigare har oftast en ratio på 1:2. Om fjädern ska vara 130 millimeter i spänt läge behöver den vara 65 millimeter i ospänt läge. Det är en nackdel då det har stor påverkan på den totala längden av magasinet.

4.3.2.3 Lösningsförslag 3

Lösningförslag 3 är en vidareutveckling av lösningförslag 1 och 2. Lösningförslaget använder sig av delarna för att mata fram två elektrodspetsar, delarna som motverkar att spetsarna lägger sig ned samt delarna som motverkar vattenansamlingar. Lösningförslaget är konstruerat så att den statiska fjädern används fast utan sätet som användes i lösningförslag 1, se figur 26. Vidare är längden på modulen kortad så att magasinet huserar 8 elektrodspetsar istället för 14. I övrigt skiljer sig några delar från lösningförslag 1 och 2 för att underlätta tillverkningen av delarna och sänka kostnaderna.



Figur 25, Lösningförslag 3.



Figur 26, mekaniken bakom lösningförslag 3.

Lösningförslag 3 uppfyllde de krav och förväntningar som ställts på prototypen och presenterades därav för företag A. Detta lösningförslag godkändes av bestämmande i projektet och utvecklades i sin helhet i Solidworks, se avsnitt 4.4.2.1.

4.4 Konceptval

Samtliga lösningförslag som beskrivs i rapporten uppfyller de absolutkrav som ställs därav fanns inget behov av en elimineringsmatris. I projektets kravspecifikation finns mestadels krav dock visar det sig att vissa lösningförslag överuppfyller kraven det i sin tur har gett poäng i matrisen. Vidare visar de första Pugh-matriserna för både delsystem 1 och 2 en tydlig vinnare. Därför valdes att inte göra en andra Pugh-matris där det lösningförslag med högst poäng sattes som referenslösning. Dels av samma orsak och att det inte gick att bestämma viktfaktorerna för kraven valdes att inte göra en utvärdering med kriterieviktsmetoden. I lösningförslagen för de två delsystemen, se avsnitt 4.3, nämns varför lösningförslagen har avvisats eller godkänts. Pugh-matrisen ger en bra översikt mellan de lösningförslag som har framtagits. Lösningförslagen kan få 5 olika betyg gentemot referenslösningen -, -, 0, +, ++. Somliga kriterier i de olika Pugh-matriserna är mer eller mindre viktiga vilket påverkar om lösningförslagen har valts att gå vidare med trots betygen i matriserna.

4.4.1 Delsystem 1

Nedan ses Pugh-matrisen för delsystem 1, tabell 3. Jag valde att ha Innovative Technologies lösning, Tip changer EC-6, som referens då den har utvärderats grundligt. Alla lösningförslag har bättre gradningsfunktion än referenslösningen då den inte har någon. Avdragningsfunktionen för samtliga lösningförslag är likvärdiga med referenslösningen, detta på grund av att de bygger på samma princip. Prestandan för alla lösningförslag är bättre än EC-6:an för att de kan byta båda elektrodspetsarna samtidigt vilket påverkar tiden positivt. Komplexiteten och kostnaderna skiljer mellan lösningförslagen vilket avläses i avsnitten om respektive lösningförslag. Storleken skiljer inte tillräckligt mycket mellan lösningförslagen och referenslösningen för att det ska ge utslag i matrisen. Livslängden är det kriteriet som har

störst inverkan på beslutet. Livslängden är ett viktigt kriterium där lösningsförslag 1–4 är sämre än EC-6:an.

Betygen visar att lösningsförslag 3 och 4 kom på delad sista plats med -2 poäng. Referenslösningen och lösningsförslag 1 kom på delad tredjeplats med 0 poäng. Lösningsförslag 2 kom på andra plats med 2 poäng och lösningsförslag 5 vann med 4 poäng. Lösningsförslag 5 var vilket redan nämnt det förslag som presenterades för beslutfattande för projektet. Lösningsförslag 2 som enligt Pugh-matrisen likaså var bättre än referenslösningen valdes att inte presenteras för företag A på grund av att livslängdskriteriet är ett väldigt viktigt kriterium.

Tabell 3, Pugh-matris över lösningsförslag för delsystem 1.

Chalmers		Pughmatris (Relativ beslutsmatris): Delsystem 1					
Utfärdare: Henrik Friman			Skapad: 2018-02-04				
Kriterier		Lösningsförslag					
		Ref	1	2	3	4	5
Gradningsfunktion		Tip changer EC-6	+	+	+	+	+
Avdragningsfunktion			0	0	0	0	0
Prestanda			+	+	+	+	+
Komplexitet			+	+	-	-	+
Tillverkningskostnad			-	+	-	-	+
Storlek			0	0	0	0	0
Livslängd			--	--	--	--	0
Antal +			3	4	2	2	4
Antal 0			2	2	2	2	3
Antal -			3	2	4	4	0
Nettovärde		0	0	2	-2	-2	4
Rangordning		T3	T3	2	T4	T4	1
Vidareutveckling		Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja
Beslut		Lösningsförslag 5 är bäst och kommer vidare presenteras för företag A.					

4.4.2 Delsystem 2

Nedan ses Pugh-matrisen för delsystem 2, tabell 4. Likt Pugh-matrisen för delsystem 1 används Innovative Technologies Tip changer EC-6 som referenslösning för matningsfunktionen av elektrospetsar. Komplexitet hos EC-6:ans matare och lösningsförslag 1 är likvärdigt. Det på grund av att lösningsförslag 1:s uppbyggnad är lik referenslösningens. Det som skiljer dem åt är att lösningsförslag 1 kan hantera hämtningar av övre och undre elektrospets samtidigt. Lösningsförslag 2 och 3 är utvecklade utan det säte som är komplext och därav är de mindre komplexa vilket ger ett positivt betyg. Kostnaden för de olika lösningsförslagen är samma förutom för lösningsförslag 3 vilken har lägre kostnad. Storleken är samma för lösningsförslag 1 och referenslösningen medan den är mindre för lösningsförslag 2 och 3. Mindre storlek är bättre då det minskar totalytan som den sammansatta produkten tar upp. Prestandan är bättre för samtliga lösningsförslag på grund av att de kan mata fram nya elektrospetsar till den övre och den undre elektroden samtidigt vilket påverkar bytestiden positivt. Slutligen jämförs kriteriet matningsfunktion. Med

matningsfunktion menas vetenskapen att matarna faktiskt klarar av att mata fram spetsar så att roboten kan hämta dem. För samtliga lösningsförslag utom lösningsförslag 2 kan funktionen för frammatning garanteras. Garantin grundas i att referenslösningen och lösningsförslag 1 och 3 använder sig av en statisk fjäder. På grund av att frammatningsfunktionen inte kan säkerställas fick lösningsförslag 2 dubbla minus för det kriteriet.

Referenslösningen fick sämst betyg, 0 poäng. Lösningsförslag 1 och 2 kom på delad andraplats med 1 poäng. Lösningsförslag 3 fick 4 poäng och vann. Lösningsförslag 1 och 3 valdes att presenteras för företag A. Varför lösningsförslag 1 valdes och inte lösningsförslag 2 valdes trots att de har samma poäng är för att funktionskriteriet är ett viktigt kriterium som ej väger till lösningsförslags 2 favör.

Tabell 4, Pugh-matris för delsystem 2.

Chalmers	Pughmatris (Relativ beslutsmatris):			
	Delsystem 2			
Utfärdare: Henrik Friman			Skapad: 2018-03-04	
Kriterier	Lösningsförslag			
	Ref	1	2	3
Komplexitet	Tip changer EC-6	0	+	+
Tillverkningskostnad		0	0	+
Storlek		0	+	+
Prestanda		+	+	+
Matningsfunktion		0	--	0
Antal +		1	3	4
Antal 0		4	1	1
Antal -		0	2	0
Nettovärde	0	1	1	4
Rangordning	3	T2	T2	1
Vidareutveckling	Nej	Ja	Nej	Ja
Beslut	Lösningsförslag 1 och 3 är bäst och kommer vidare presenteras för företag A.			

4.5 Prototyp

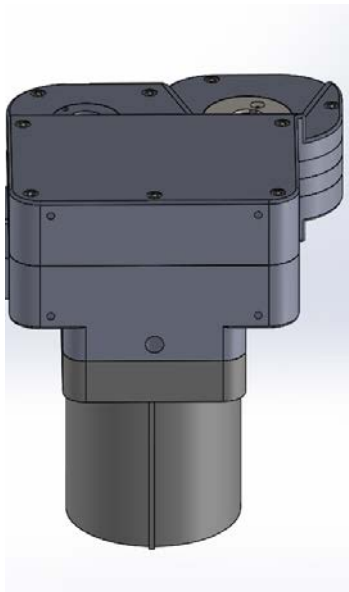
Nedan beskrivs resultatet av arbetet med prototyperna för de två delsystemen. Vidare följer en fullständig redogörelse för de delar som ingår i prototypernas modeller i Solidworks.

4.5.1 Delsystem 1

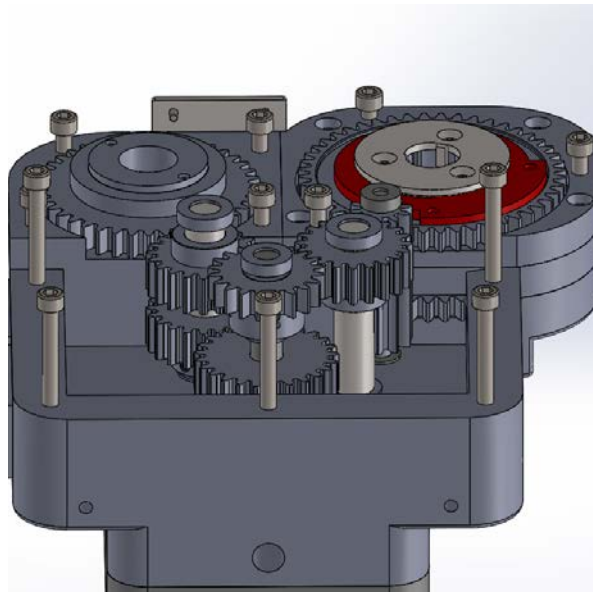
Lösningförslag 5 för delsystem 1 presenterades för de team som tidigare arbetat med framtagning av en prototyp. De var eniga med mig om att lösningförslag 5 verkade lämpligt att gå vidare med i projektet då de uppfyllde kraven som ställts. Idén utvecklades i sin enklaste form i Solidworks för att kunna presenteras för beslutsfattare i projektet på företag A, se figur 11. Presentationen ledde till att företag A beslutade att lösningen kunde tas vidare till nästa steg i projektet. Därefter byggdes en fullständig prototyp i Solidworks, utifrån den estimerades en passande elmotor för delsystemet och en kostnads kalkyl för prototypen togs fram. Slutligen monterades prototypen ihop fysiskt vilket beskrivs i avsnitt 4.2.1.2.

4.5.1.1 Solidworks

Under prototypbyggnationen i Solidworks togs hänsyn till kostnader för prototypen samt att den bör vara enkel att montera. För låga kostnader har standardkomponenter försökts användas i så stor utsträckning som möjligt. Detta ledde till att 5 av 9 kugghjul är standardkugghjul som köps in från externt företag. Alla lager är standardlager som likaså köps in från externt företag. För att ytterligare underlätta montaget av prototypen är alla kugghjul som köps in kugghjul som skruvas fast i axlarna vilket gör att pressverktyg inte behöver användas. Övriga delar som är framtagna i Solidworks skickas till externa företag för tillverkning. På figur 27 och 28 ses den färdiga prototypen för delsystem 1. Nedan följer stycken med bilder och förklaringar på de delar som utgör delsystem 1. Först beskrivs delarna i ordningen från motoraxeln till avdragarna. Sedan beskrivs delarna från motoraxeln till gradaren. På grund av sekretess visas inga tvådimensionella ritningar eller mått på delarna.



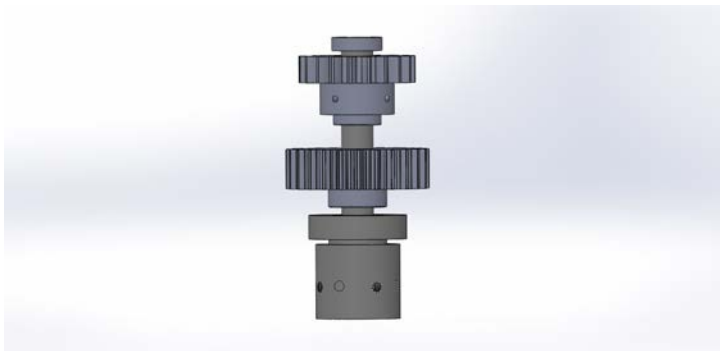
Figur 27, delsystem 1 bakifrån.



Figur 28, delsystem 1 bakifrån utan topp.

4.5.1.1.1 Axeln som monteras på motoraxeln

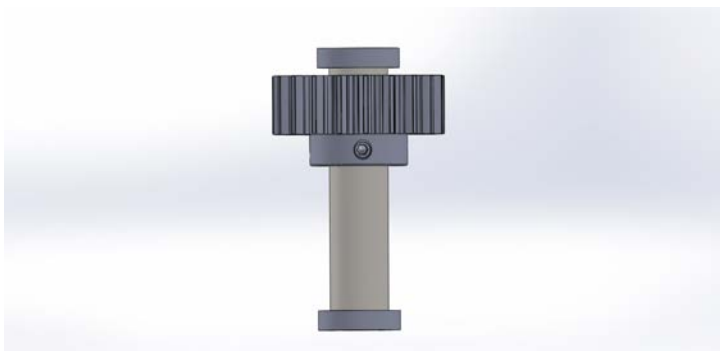
På figur 29 visas axeln med dess lager och kugghjul som är monterad på motoraxeln. Delarna beskrivs nedifrån och upp. Delen längst ner är en del av axeln, på den finns 4 gängade hål. Med hjälp av dessa hål ska axeln skruvas fast i motoraxeln. Ovanför sitter ett kullager som sitter mellan axeln och underdelen av skalet. Nästa del är kugghjulet som driver gradaren som är ett standardkugghjul. Därefter kommer spärrlagret som gör att standardkugghjulet som är fastskruvat på spärrlagret bara kan rotera åt ett håll. Slutligen sitter ett kullager mellan axeln och det övre skalet. Själva axeln utan kugghjul och lager är den del som behövde tillverkas hos externa tillverkare.



Figur 29, axeln vilken är monterad på motoraxeln.

4.5.1.1.2 Axeln mellan motorn och det långa kugghjulet

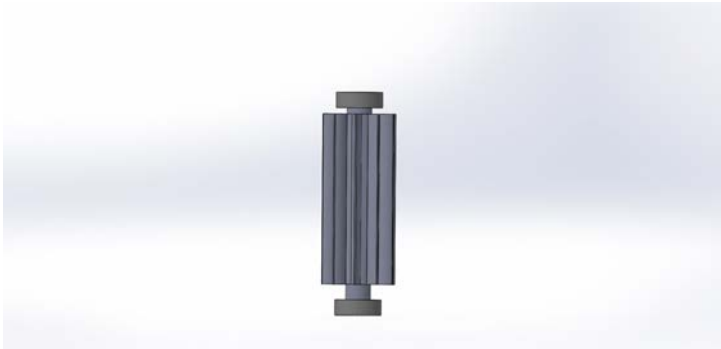
Figur 30 visar axeln mellan motoraxeln och det långa kugghjulet. Längst ner på axeln ses kullagret som sitter mellan underdelen av skalet och axeln. Ovanför ses ett standardkugghjul. Slutligen ses kullagret som sitter mellan axeln och ovan delen av skalet. Själva axeln utan kugghjul och lager är av speciella mått och behövde tillverkas av tillverkningsföretaget.



Figur 30, mellanaxel.

4.5.1.1.3 Långa kugghjulet som driver avdragarna

På figur 31 ses det långa kugghjulet som är kopplat mellan avdragarna och mellanaxeln. Under och över kugghjulet sitter två stycken standardkullager som sitter mellan kugghjulet och den övre respektive undre delen av skalet. Kugghjulet är av speciella mått och behövdes tillverkas av externt tillverkningsföretag. Kopplat till kugghjulet är de två avdragarna som har beskrivits i detalj i avsnitt 4.3.1.6.



Figur 31, kugghjulet som är kopplat till avdragarna.

4.5.1.1.4 Axeln mellan motorn och gradaren

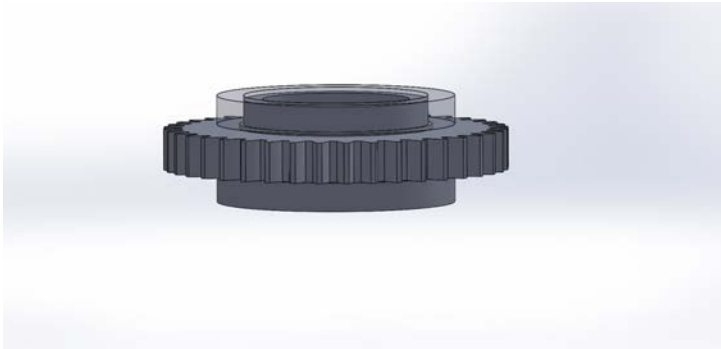
Figur 32 visar axeln mellan gradaren och motoraxeln med dess kugghjul och lager vilka är av standardtyp. Längst ner ses ett kullager som sitter mellan axeln och den undre delen av skalet. Ovanför ses två kugghjul där det undre är kopplat till ett kugghjul på motoraxeln och det övre är kopplat till kugghjulet som driver gradaren. Längst upp ses ett kullager som sitter mellan axeln och den övre delen av skalet. Axeln utan lager och kugghjul är den del som skickades till externt företag för tillverkning.



Figur 32, axeln mellan gradaren och motoraxeln.

4.5.1.1.5 Ihåliga axeln med kugghjul och plats för gradaren

På figur 33 ses specialdelen för gradaren. Kugghjulet och axeln är en komponent och på den monteras två standard kullager som sitter mellan komponenten och övre respektive undre skal. På figuren är det övre kullagret är transparent för att enklare se hur delen ser ut. På ytan längst upp på axeln finns två gängade hål där gradaren skruvas fast i komponenten. På figur 34 ses den inköpta gradaren där den guldiga delen på gradaren är dess standardskär. Kugghjulet med dess integrerade axel är ingen standardkomponent och är därav skickad till externt företag för tillverkning.



Figur 33, komponenten vilken gradaren är monterad på.



Figur 34, gradaren.

4.5.1.1.6 Höljet

På figur 35 och 36 ses skalet som huserar all mekanik för delsystem 1. Om figurerna jämförs med figur 27 och 28 ses tydligt vilka funktioner de olika hålen i skalen har. Det hål som inte är självförklarande är det hål som är markerat med en röd ring på figur 35. När motorn och det undre skalet monteras samman finns inget mellanrum mellan dem. Som nämnt i avsnitt 4.4.1.1.1 skruvas motoraxeln fast med axeln som sitter i det stora genomgående hålet i mitten på figur 35. För att kunna skruva ihop de två axlarna finns det markerade hålet för att nå skruvarna med verktyget.



Figur 35, undre skalet.



Figur 36, övre skalet.

4.5.1.2 Fysisk montering av delsystem 1.

Delarna till delsystem 1 blev försenade från tillverkningen och ankom till företag A klockan 17:00 dagen innan jag åkte tillbaka till Sverige. Tyvärr blev aldrig den fysiska monteringen komplett då passningen för samtliga axlar inte stämde. Nedan följer beskrivande bilder på delarna som utgör delsystem 1.

På figur 37 syns alla delar som utgör delsystem 1. Till vänster syns övre och undre höljet, i mitten ses delarna som utgör avdragaren samt axlarna till systemet. Till höger ses de köpta standardkomponenterna det vill säga kullager, spärrlager, hållare till gradare samt kugghjulen. Det kan tilläggas att alla delar vänster om kullagren är egentillverkade.



Figur 37, samtliga delar till delsystem 1.

På figur 38 nedan ses axeln som monteras på motoraxeln. Denna axeln hade likt alla tillverkade axlar genomgående passningsfel. Kullagret högst upp gick med lätt handkraft att sätta på och av. Likaså glider spärrlagret under det övre kugghjulet upp och ner på axeln med lätt handkraft. Problemet som uppstår då spärrlagret glider är att motormomentet som ska transmittas till avdragarna gör att spärrlagret ej spärrar utan glider istället. Det i sin tur gör att avdragningsfunktionen ej är möjlig.



Figur 38, axeln som monteras på motoraxeln.

För de andra tillverkade axlarna, se figur 39, påverkar passningarna kullagren. Samtliga kullager gick som nämnt om axeln som monteras på motorn att med lätt handkraft montera på och av. Alltså var alla axlar för smala utifrån vad som var beställt. Montering utav kugghjulen på axlarna påverkade inte resultatet utav transmissionen från motorn till avdragaren respektive gradaren då de var förbundna med skruvförband.



Figur 39, resterande axlar som tillverkades med sina respektive kugghjul och kullager.

På figur 40 ses delsystemet monterat i höljena. Utifrån monteringen konstaterades att avståndet mellan axlarna och kugghjulen passade. Då det inte lades något moment på gradaren och avdragaren konstaterades att önskade rotationer fungerade. De önskade rotationerna var att då gradaren roterade skulle inte avdragaren rotera (med hjälp av spärrlagret). Då en spets sattes i avdragaren gled tyvärr spärrlagret på grund av den dåliga passningen. Därav kunde inte avdragningsfunktionen testas vilket i sin tur ledde till att monteringen inte slutfördes.



Figur 40, delsystem 1 monterat i övre och undre hölje.

4.5.2 Dimensionering av elmotor

Då avdragaren i delsystem 1 bygger på EC-6:ans avdragare samt att kugghjulen är bestämda kunde dimensionen på elmotorn som används för att testa prototypen bestämmas. EC-6:ans avdragare använder en pneumatisk cylinder med känt avdragningsmoment. Med den informationen har momentet som krävs för motorn bestämts. Motormomentet har sedan använts för att bestämma den effekt som motorn minst behöver för att klara att dra av spetsarna.

Avdragningsmoment cylinder = 96.72 Nm

Momentet som krävs för att dra av spetsen på EC-6:ans lösning är 96.72Nm.

Detta moment uppskattas vara samma moment som krävs för att dra av spetsen för prototypen då uppbyggnaden är likvärdig. I den nya lösningen ska två spetsar dras av samtidigt därav antas att det avdragningsmoment som krävs för att klara dra av spetsarna ska vara $96.72 \cdot 2 = 193.44$ Nm.

Avdragningsmomentet användes vidare för att bestämma det moment som motorn måste ha.

Moment motor = Kugghjulsutväxling*Avdragningsmoment
→ 80.2 Nm

Motoreffekten kan vidare bestämmas då momentet och varvtalet för motorn är känt. Varvtalet är känt då önskad fart för avdragningen av spetsarna är förbestämt.

Moment motor = $(9550 \cdot \text{motoreffekt}) / \text{varvtal}$
→ Motoreffekt = $(\text{Moment motor} \cdot \text{varvtal}) / 9550$
→ ≈ 168 W

Resultatet av beräkningarna visar att en motor med minst 168 W behövs för att avdragning av elektrospetsarna ska vara möjlig. I laboratoriet fanns en servomotor med 200 W som användes till prototypen.

4.5.3 Delsystem 2

Lösningsförslag 3 var det förslag som godkändes av bestämmande på företag A. Nedan följer en detaljerad beskrivning av prototypens uppbyggnad i Solidworks.

4.5.3.1 Solidworks

Under framtagningen av prototypen för delsystem 2 i Solidworks togs, utöver kraven, hänsyn till tillverkningskostnader och enkelheten att montera ihop prototypen. De första två styckena beskriver lösningarna för att åtgärda de problem som funnits med tidigare magasin. I sista stycket beskrivs övriga mekaniska lösningar för delsystem 2.

På figur 41, 42 och 43 ses de åtgärder som vidtogs för att åtgärda problemet med att elektrodspetsarna välter då spetsen längst fram plockas av roboten. Genom att differensen mellan spetsen och öppningen för elektrodspesten aldrig är större än 0.5 millimeter kan spetsen aldrig lägga sig ner. Delarna är lätta att byta ut och är anpassade för tre olika längder av elektrodspetsar; 16, 21 och 23 millimeter.



Figur 41, magasinet framifrån och från sidan med inställningar för 16 millimeters elektrodspestar.

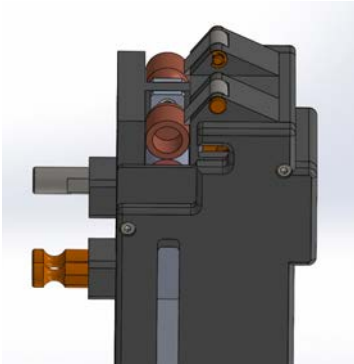


Figur 42, magasinet framifrån och från sidan med inställningar för 21 millimeters elektrodspestar.



Figur 43, magasinet framifrån och från sidan med inställningar för 23 millimeters elektrodspestar.

Nedan ses de två åtgärder som motverkar att kylvatten ansamlas i magasinet. På figur 44 ses ett fyrkantigt genomgående hål till höger om den nedre elektrospetsen. På figur 45 ses de två kopplingsdelarna mellan delsystem 1 och 2. Dessa är inte parallella med magasinet topp och bas. På grund av det hamnar magasinet i en vinkel när det monteras ihop med delsystem 1. Det genomgående hålet tillsammans med att magasinet vinklas nedåt gör att inget vatten ansamlas i magasinet vilket bidrar till mindre risk för rost. I det stora hålet mellan styrpinnen och monteringspinnarna på figur 45 ska sensorn som avgör om det finns spetsar kvar i magasinet sitta.

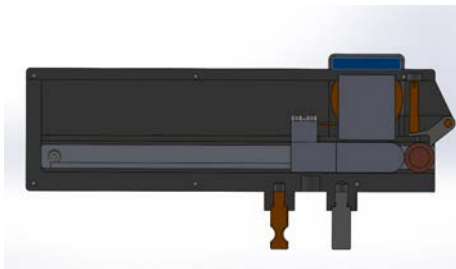


Figur 44, magasinet underifrån.

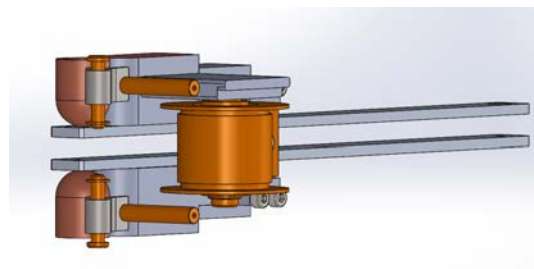


Figur 45, magasinet från sidan som kopplas samman med delsystem 1.

På figur 46 syns en bild ovan prototypen och på figur 47 ses magasinet avskalat. Till höger på figur 46 och till vänster på figur 47 syns vippan som gör att spetsarna stannar kvar i magasinet. Den långa orangea delen som trycker mot vippan är en skruv med en fjäder i botten. Fjädern tillsammans med vippan gör att spetsar kan tryckas in i magasinet medans den statiska fjädern aldrig kan trycka ut spetsarna.



Figur 46, magasinet ovanifrån.



Figur 47, avskalat magasin.

4.6 Test och validering

I detta avsnitt var meningen att beskriva de test som skulle göras för att validera prototypen gentemot kravspecifikationen. Tyvärr ankom delarna till delsystem 1 för sent vilket gjorde att monteringen utav systemet inte var möjligt. Det gjorde att inga test kunde genomföras fysiskt.

I Solidworks gick det dock att validera att somliga krav uppfylldes. Det var storlekskrav, ytfinish och antal spetsar i matningsmodulen. De validerades genom granskning och mätning i programmet.

4.7 Sammanfattande resultat

Sammanfattningsvis resulterade projektet i en fullt utvecklad prototyp i Solidworks där alla funktioner som ursprungligt vis skulle vara med fanns. Vidare resulterade projektet i en fysisk första prototyp utav delsystem 1. Beslutsfattande för projektet på företag A var nöjda med resultatet och menade att projektet var lyckat beträffande den tidsram som tillhandahölls.

5 Diskussion och slutsats

Nedan förs en sammanfattande diskussion om projektets resultat med utgångspunkt i metodval och förväntat resultat. Därefter följer kortfattade rekommendationer för vidare arbete.

5.1 Diskussion

Metoden för projektet är i avsnitt 3 beskriven utförligt. Den tid som avsattes för projektet räckte inte till. Om tidsramen varit längre hade mer tid kunnat ägnas åt att analysera nuvarande lösningar samt utveckla prototypen. Noggrannare analys och framtagande av prototyp hade eventuellt påverkat resultatet i positiv riktning. Produktionen av delarna till prototypen tog mer tid än förväntat vilket medförde att monteringen av prototypen knappt fanns tid till inom tidsramen. Dessutom var de delar som tillverkats delvis felaktigt framtagna. Toleranserna var inte korrekta vilket genererade att passningarna inte fungerade.

Tillgängligheten av nuvarande system att analysera och demontera har vidare påverkat resultatet. Om tillgängligheten varit större kunde fler för- och nackdelar konstateras vilket i sin tur borde genererat fler lösningsförslag. Om fler lösningsförslag varit tillgängliga inför utformning av prototyp kanske den slutgiltiga prototypen blivit annorlunda.

Det faktum att projektet genomfördes på ett företag där merparten arbetare inte talar svenska och relativt dålig engelska försvårade kommunikationen kring projektet. Dessa briser i kommunikationen ledde till missförstånd och annat som dels påverkade tidsramen, men också haft inverkan på resultatet.

Sammanfattningsvis så anses metodvalen generellt lyckade och har positivt inverkat på ett resultat som med vissa brister överensstämmer med det förväntade resultatet.

5.2 Slutsats

Projektets första frågeställning var hur ett system med tre separata funktioner; byta, grada och mata fram spetsar till punktsvetsrobotar kan konstrueras. Utifrån projektet kan konstateras att två delsystem behövs; där det ena systemet drar av och gradar spetsarna medan det andra matar fram spetsarna. Matningsmodulen placeras utanpå det andra systemet i form av ett magasin. Det system, visar projektet, kan byggas upp av axlar och kugghjul som drivs av en elmotor. Systemet är uppbyggt så att motorns rotationshåll bestämmer om det är avdragaren eller gradaren som styrs.

Projektets andra frågeställning var att undersöka hur tillverkningskostnaderna kunde hållas låga samtidigt som systemet blev användarvänligt, hållbart och kompakt.

Tillverkningskostnaderna har sammanfattningsvis konstaterats relativt höga. Däremot kan konstateras att om annan tillverkare valts samt mer tid ägnats åt tillverkning av delarna i Solidworks hade kostnaderna blivit lägre.

Eftersom tidsramen inte räckte till har ingen fysisk prototyp testats utifrån kravspecifikationen. Hur systemet kan testas och valideras var den tredje frågeställningen för projektet. I kravspecifikationen framgår att vissa delar av prototypen testats gentemot mål och krav i Solidworks. Dessa test har genomförts med hjälp av mätningar och visualiseringar. Testerna har validerats och visat på egenskaper som överensstämmer med kraven för prototypen.

5.3 Rekommendationer

Vid fortsatt arbete med prototypen rekommenderas att se över toleranserna så att axlar och lager passar bättre ihop. Om de passar ihop kommer det vara möjligt att funktionstesta avdragaren. Om den i sin tur visar sig fungera önskvärt bör utveckling av en andra prototyp påbörjas. Den andra prototypen bör då vidare fokusera på att hålla tillverkningskostnaderna låga samtidigt som funktionerna bibehålls.

Referenser

- [1] A. Rutqvist, "An investigation of electrode degradation mechanisms to improve the electrode usage when spot welding", examinationsavhandling, Institutionen för material och tillverknings teknik, Chalmers tekniska högskola., Goteborg, 2005.
- [2] O. Andersson, "Process planning of resistance spot welding", Licentiatavhandling, Institution of production engineering, KTH Royal institute of technology, Stockholm, Sverige, 2013 [Online].
Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:603120/FULLTEXT01.pdf>, hämtad: 2018-05-05.
- [3] H. Zhang and J. Senkara, *Resistance welding: fundamentals and applications*, Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis, 2006. [Online].
Tillgänglig: <https://www.advan-kt.com/spotwelding.pdf>, hämtad: 2018-05-05.
- [4] ISO 5821:2009 Resistance welding - Spot welding electrode caps.
- [5] ISO 5182:2016 Resistance welding - Materials for electrodes and ancillary equipment
- [6] *Elektrodmaterial av kopparlegeringar för motståndssvetsning*, Tumba, Sverige: Edstraco AB, u.d. [Online]. Tillgänglig: http://www.edstraco.se/_pdf/elektrod.pdf, hämtad: 2018-05-05.
- [7] M. Mägi, K. Melkersson & M. Evertsson, *Maskinelement*. Lund, Sverige: Studentlitteratur, 2017.
- [8] H. Johannesson, J-G. Persson & D. Pettersson, *Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design*. 2 uppl., Stockholm, Sverige: Liber, 2013.
- [9] KYOKUTOH Europe GmbH, "DH-SVR2: TIP DRESSER & CHANGER WITH SERVOMOTOR," 2018. [Online]. Tillgänglig: <http://www.kyokutoh.de/products/tip-changers/145/dh-svr2-tip-dresser-changer-with-servomotor.html>, hämtad: 2018-05-05.
- [10] RoSen Recisrance Welding, "Spot Welder Tip Dresser," 2018. [Online].
Tillgänglig: <http://www.mfdcspotwelder.com/en/spot-welder-tip-dresser/>, hämtad: 2018-05-05.
- [11] RoSen Recisrance Welding, "Manual Tip Dresser," 2018. [Online].
Tillgänglig: <http://www.mfdcspotwelder.com/en/manual-tip-dresser/>, hämtad: 2018-05-05.
- [12] RoSen Recisrance Welding, "Manual Electrode Dresser Tool," 2018. [Online].
Tillgänglig: <http://www.mfdcspotwelder.com/en/manual-electrode-dresser-tool/>, hämtad: 2018-05-05.

Bilagor

Bilaga 1

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation				
	Projekt	Sammansatt system för automatiskt byte, gradning och matning av spetsar till punktsvetsrobotar.				
Utförare: Henrik Friman		Skapad: 2018-01-24				
		Modifierad:				
Kriterier		Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
Funktion						
	Bytesfunktion		K		Test	Företag A
	Gradningsfunktion		K		Test	Företag A
	Matningsfunktion		K		Test	Företag A
1. Prestanda						
1.1	Byte båda elektroderna	< 55 sekunder	K		Tidtagning	Företag A
1.2	Byte båda elektroderna	< 30 sekunder	Ö	5	Tidtagning	Företag A
1.3	Gradning av båda elektroderna	< 10 sekunder	K		Tidtagning	Företag A
1.4	Antal spetsar i mataren	> 5	K		Test	Företag A
1.5	Antal spetsar i mataren	< 9	Ö	3	Test	Företag A
2. Livslängd						
2.1	Livslängd bytesmodul	> 300 000 byten	K		Utmattningsprov	Företag A
2.2	Livslängd bytesmodul	> 350 000 byten	Ö	4	Utmattningsprov	Företag A
3. Underhåll						
3.1	Enkelt att byta gripklor i fasthållarna	< 6 minuter per byte	K		Tidtagning	Kunder
3.2	Lätt att fylla på spetsar i mataren	< 3 minuter per påfyllning	K		Tidtagning	Kunder
4. Tillverkningskostnad						
4.1	Hela systemet	< 10 000 RMB	K		Test	Företag A
5. Storlek						
5.1	Upptagande plats av systemet	< 650 x 450 x 350 (hxbxd) [mm]	K		Bestäms i solidworks	Företag A
6. Estetik och yttfinish						
6.1	Systmet	Ska se professionellt ut	K		Bedömning från projektledning på företag A	Företag A
7. Kundkrav						
7.1	Valmöjlighet bytesmodul; typ av spets	16 mm, 20 mm och 23 mm (standardspetsar)	K		Test	Företag A
8. Material						
8.1	Drivning	Elmotordrift	K		Test	Företag A
9. Kvalitet och tillförlitlighet						
9.1	Inte haverera i bytesprocessen	< 5 haveri per 10 000 byten	K		Test	Kunder
10. Komplexitet						
10.1	Systemet	Ej för avancerad konstruktion	K		Bedömning från projektledning på företag A	Företag A