

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
Dankbetuiging	4
Abstract	5
Gebruikte symbolen en afkortingen	6
1 Inleiding	7
1.1 Opdeling scriptie	7
1.2 Contactgegevens en informatie	9
1.3 Bedrijfsvoorstelling	10
1.4 Probleemstelling	12
1.5 Haalbaarheidsstudie (Bachelorproef)	14
1.6 Bedrijven met nuttige inbreng in het project	18
1.7 Werkverdeling	21
2 Conceptontwikkeling	22
2.1 Concept 1: Eén robot met universele bedradingstool	23
2.2 Concept 2: Robot + XYZ Tafel + Komax	31
2.3 CC-Matic van Wago	36
2.4 Concept 3: Twee robots + ongekleurde draad	41
2.5 Doel Masterproef	46
3 Voorontwerp	49
3.1 Basistaken bedradingstool	50
3.1.1 De draad voortbewegen	50
3.1.2 De draad knippen	51
3.1.3 De draad vastgrijpen	52
3.1.4 De grijper in positie brengen	53
3.1.5 De draad in de kabelgoot leggen	53
3.1.6 Het tweede uiteinde omkeren	55
3.2 Concept bedradingstool	57
4 Bepaling actuatoren	63
4.1 Draadvoedingssysteem	64
4.1.1 Opstelling	64
4.1.2 Riemschijf, riem en tegendrukwielen	65

4.1.3	Bepaling veren	67
4.1.4	Reductie en motor	69
4.2	Grijpersysteem	74
4.2.1	Formule voor impactkracht	74
4.2.2	Grijper	76
4.2.3	Draaimodule	79
4.2.4	Bepaling lineaire drives.....	83
4.3	Knipunit	85
4.4	Kabelgootunit.....	87
4.5	Omkeerunit.....	88
5	Definitief ontwerp	89
5.1	Mechanisch ontwerp (zie ook Bijlage D).....	89
5.1.1	Basisframe.....	89
5.1.2	Draadvoeding	90
5.1.3	Draadgeleiding	93
5.1.4	Grijperarm.....	95
5.1.5	Knipunit	98
5.1.6	Omkeerunit.....	99
5.1.7	Sturing.....	100
5.1.8	Volledig ontwerp.....	103
5.2	Pneumatische sturing (zie ook Bijlage E)	107
5.2.1	Ventieleiland	107
5.2.2	Sensoren	112
5.3	Elektrische sturing.....	115
5.3.1	Profibus	115
5.3.2	PLC	117
5.3.3	Motion controller	121
5.3.4	Voeding.....	124
5.3.5	Beveiliging en veiligheids categorie (zie ook Bijlage J).....	125
5.3.6	Kastlay-out	129
5.3.7	Volledig elektrisch schema (zie ook Bijlage F)	130
6	Realisatie	131
6.1	Offertes en bestellingen.....	131

6.2	Assemblage	132
6.2.1	Bedradingstool	132
6.2.2	Elektrische sturing.....	138
6.3	Programmeren.....	144
6.3.1	Profibusnetwerk configureren.....	144
6.3.2	Motion controller instellen.....	145
6.3.3	PLC Programmeren.....	147
6.4	Nog te doen	152
7	Besluiten.....	153
7.1	SWOT analyse	153
7.2	Technische conclusie	155
7.3	Persoonlijke conclusie.....	156
8	Bijkomende informatie	157
8.1	Overzicht der bijlagen.....	157
8.2	Literatuurlijst.....	158
8.3	Overzicht cd-rom scriptie.....	159
8.4	Figurenlijst	160

Dankbetuiging

Als eerste willen we P&V en in het bijzonder Ghislain Vanherle (Managing Director van P&V) bedanken voor het prachtige project dat hij ons heeft gegeven als Masterproef. Hoewel het niet vanzelfsprekend is om zo'n groot project door studenten te laten uitvoeren, heeft Ghislain Vanherle ons toch het vertrouwen gegeven om mee te helpen in het project. Hierdoor hebben we het voorbije jaar erg veel geleerd over de vele aspecten die het ingenieursberoep rijk is.

Als volgende willen we graag Gert Vanvuchelen, Algemeen Directeur van IMA, bedanken omdat hij ons met zijn jarenlange technische ervaring heeft bijgestaan tijdens het ontwerpen van alle onderdelen. Hij heeft ons niet alleen op onze fouten gewezen maar ons tevens een nieuwe denkwijze aangeleerd voor het ontwerpen van projecten.

Vervolgens willen we ook Nico De Baerdemaeker (National Operation Manager van EPlan België) bedanken voor de steun aan ons project. In het bijzonder willen we hem bedanken omdat hij ons de kans heeft gegeven om een opleiding van EPlan Electric P8 te volgen. Dit is zeker iets dat we naar de toekomst toe handig kunnen gebruiken.

Ook Joris Huegaerts (Market Manager Industrial Automation Systems van Phoenix Contact Benelux) willen we bedanken voor de steun aan ons project. Hij heeft voor een reis naar de hoofdzetel van Phoenix Contact (in Blomberg, Duitsland) gezorgd, waar we een hoop nieuwe inzichten voor ons project hebben gekregen.

Als laatste willen we ook Festo bedanken voor de steun die ze aan ons project hebben gegeven, dit zowel door een financiële tussenkomst als door technische ondersteuning bij de realisatie van het project.

Abstract

Titel: CONCEPTONTWIKKELING, ONTWERP EN REALISATIE VAN EEN BEDRADINGSTOOL

**Door: Jan Comhair
Bernd Mouchaers**

Promotoren: Ing. C. Hendrickx MSc. XIOS Hogeschool Limburg
Ing. G. Vanherle MSc. P&V Elektrotechniek
Ing. G. Vanvuchelen MSc. IMA

Deze Masterproef is uitgevoerd op P&V Elektrotechniek, een bedrijf uit Heusden-Zolder dat gespecialiseerd is in het ontwerpen en assembleren van elektrische schakelborden voor de industrie. Door middel van innovatie wil P&V de loonkosten drukken en zich onderscheiden van de concurrentie. Het project dat ze voor ogen hebben is een bedradingsmachine die een gedeelte van de draden automatisch kan aansluiten in een schakelkast. Dit zou rechtstreeks vanuit de tekensoftware moeten gebeuren, met zo min mogelijk tussenkomst van de mens. Indien het project succesvol is, wil P&V hier een spin-off van maken.

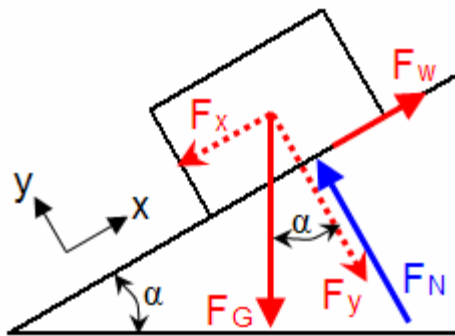
Het eerste deel van de Masterproef bestaat erin een algemeen concept voor de bedradingsmachine uit te denken. Door verschillende methoden naast elkaar te leggen, kan het beste concept voor het project bepaald worden. Het uiteindelijke concept bestaat uit twee robots met speciale tools die samenwerken om de draad aan te sluiten.

Het eigenlijke doel van deze Masterproef is het uitwerken van een deel van de bedradingsmachine. Omdat het totale project erg veel kosten met zich meebrengt, is er gekozen om het meest kritische deel van de machine in de Masterproef te ontwikkelen. Dit is de tool die de draad moet vastnemen en in positie brengen. Deze tool kan men met relatief beperkte kosten ontwikkelen omdat in eerste instantie de aankoop van een robot (met randapparatuur) niet nodig is. Mocht nu uit de Masterproef blijken dat er teveel problemen opduiken bij de ontwikkeling, dan kan men bij P&V alsnog beslissen om het project stil te leggen zonder al te grote financiële verliezen.

Om de bedradingstool te ontwikkelen, is eerst een concept van de tool gemaakt. Vervolgens is onderzocht aan welke voorwaarden de belangrijkste componenten moeten voldoen. Op basis hiervan zijn de juiste onderdelen voor de tool geselecteerd. Deze onderdelen zijn samengevoegd in een mechanisch ontwerp. Naast een mechanisch ontwerp, is er ook een pneumatisch en elektrisch schema van de bedradingstool getekend. De Masterproef houdt echter niet alleen de theoretische uitwerking in van de bedradingstool maar omvat ook de praktische realisatie ervan. Dit houdt in dat alle onderdelen besteld, geassembleerd en getest moeten worden. De realisatie loopt echter verder na de inleverdatum van de scriptie (8 mei 2008). Dit werk bestaat vooral uit het afregelen en instellen van alle componenten zodat zij optimaal samenwerken.

Gebruikte symbolen en afkortingen

In deze scriptie zijn regelmatig berekeningen uitgevoerd. Omdat het hier telkens gaat om andere grootheden en symbolen, is het niet mogelijk een overzichtslIJst van alle symbolen te geven. Een symbool kan in twee formules namelijk een verschillende betekenis hebben. Om deze reden zijn de symbolen en grootheden steeds plaatselijk gedefinieerd. Indien er op een figuur of in een formule verschillende nieuwe symbolen voorkomen, staat onder de figuur of formule een verklarende lijst met alle symbolen. Hieronder is een voorbeeld van zo'n lijst.



Figuur 1: Principe wrijving op helling

Hierin is:

Symbol	Beschrijving	Eenheid
F_G	Zwaartekracht op het lichaam	[N]
F_x	Ontbinding van de zwaartekracht volgens x-richting	[N]
F_y	Ontbinding van de zwaartekracht volgens y-richting	[N]
F_w	Wrijvingskracht	[N]
F_N	Normaalkracht	[N]
α	Hellingshoek	[°]

1 Inleiding

1.1 Opdeling scriptie

De totale scriptie van deze Masterproef bestaat uit twee delen. Het eerste deel is de eigenlijke tekst van de Masterproef en het tweede deel bestaat uit bijlagen. Dit eerste deel heeft een chronologische opbouw en begint met de conceptontwikkeling om te eindigen met de realisatie van het project.

Hoofdstuk 1 geeft algemene informatie over de Masterproef zoals contactgegevens en een bedrijfsvoorstelling. Daarnaast is de probleemstelling geformuleerd en zijn ook de resultaten van de Bachelorproef van vorig academiejaar aangehaald (de Masterproef is hier namelijk een vervolg op).

Hoofdstuk 2 toont hoe het concept van het project tot stand is gekomen. Eerst worden er enkele vroege concepten besproken, gevolgd door het uiteindelijke concept van de bedradingsmachine. Daarnaast bevat dit hoofdstuk ook het exacte doel van de Masterproef (het ontwikkelen van de bedradingstool).

Hoofdstuk 3 geeft opnieuw een soort conceptontwikkeling weer, maar dan slechts van een klein deel van de bedradingsmachine. Eerst staan de basistaken van de bedradingstool uitgelegd om tenslotte tot een volledig concept voor de bedradingstool te komen.

Hoofdstuk 4 behandelt alle berekeningen die gebeurd zijn voor het bepalen van de essentiële componenten van de bedradingstool. Het gaat hier vooral om de mechanische en elektrische actuatoren.

Hoofdstuk 5 beschrijft het uiteindelijke ontwerp en dit zowel op mechanisch, elektrisch als pneumatisch gebied. Het hoofdstuk haalt aan hoe het ontwerp in elkaar zit en welke aandachtspunten er zijn.

Hoofdstuk 6 toont de realisatie van het project. Naast uitleg over de assemblage, staat ook het programmeren en testen van de bedradingstool beschreven. Dit hoofdstuk is echter nog niet volledig omdat niet alle praktische werken afgewerkt zijn voor de inleverdatum van de scriptie (8 mei 2008).

Hoofdstuk 7 geeft de besluiten van deze Masterproef. Dit is zowel een technische conclusie (realisatie van het project) als een persoonlijke conclusie (wat we gedurende de Masterproef hebben geleerd).

Hoofdstuk 8 bevat tenslotte bijkomende informatie zoals een overzicht van de bijlagen in “Deel 2” van de scriptie, een literatuur- en figurenlijst en een overzicht van de bestanden op de cd-rom van de scriptie.

1.2 Contactgegevens en informatie

Algemeen

Titel Masterproef:	Conceptontwikkeling, ontwerp en realisatie van een bedradingstool
Aantal delen scriptie:	2 (Deel 1: Tekst, Deel 2: Bijlagen)
Bedrijf Masterproef:	P&V Elektrotechniek Industrierrein Zolder-Lummen 1514 Industrieweg 10 3550 Heusden-Zolder 013 / 53 90 00
Schooljaar:	2007 – 2008
Richting:	Master Elektromechanica
Instituut:	XIOS Hogeschool Limburg Agoralaan – Gebouw H Universitaire Campus 3590 Diepenbeek 011 / 26 00 46

Studenten

Jan Comhair	Bernd Mouchaers
200400192	200400441 (inschrijvingsnummer)
Rosmeerstraat 40	Droogbroekstraat 54
3740 Bilzen	3730 Hoeselt
0499 / 99 08 06	0472 / 95 94 70
jancomhair@hotmail.com	bernd.mouchaers@gmail.com

Promotoren

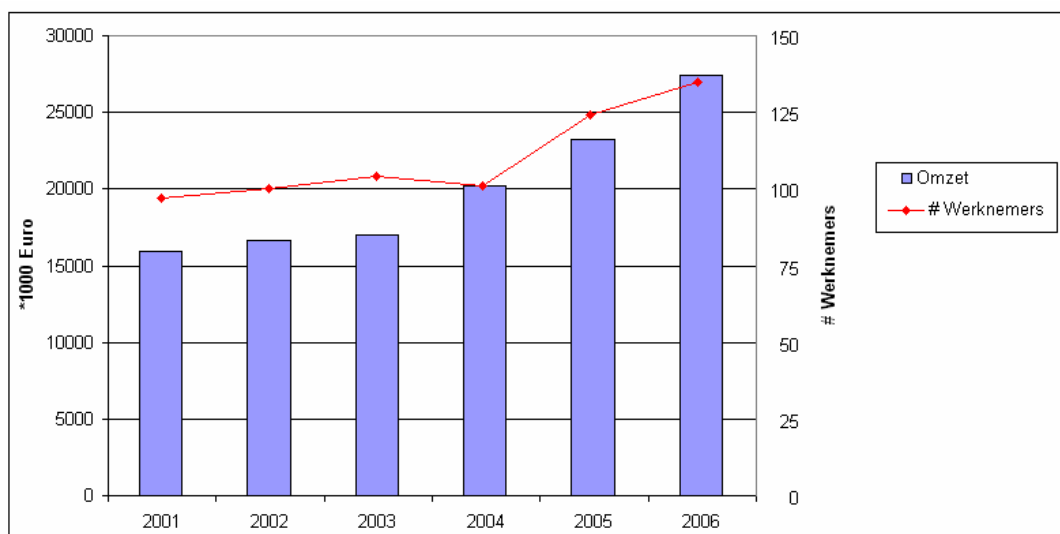
Chris Hendrickx	Ghislain Vanherle	Gert Vanvuchelen
Docent	Managing director	Algemeen directeur
Interne promotor (XIOS)	Externe promotor (P&V)	Externe promotor (IMA)
011 / 26 00 30	013 / 61 11 65	011 / 52 53 70
chris.hendrickx@xios.be	ghislain.vanherle@pnv.be	gert.vanvuchelen@ima-nv.be

1.3 Bedrijfsvoorstelling

P&V Elektrotechniek is een bedrijf gelegen in Heusden-Zolder (Figuur 1.1) dat zich specialiseert in het ontwerpen en het assembleren van elektrische schakelborden. Het bedrijf heeft gekozen om enkel in dat segment van de markt actief te zijn. Net deze sterke specialisatie en de focus op klantgerichtheid hebben ervoor gezorgd dat P&V vandaag zo succesvol is. P&V is opgericht in 1986 en kent sindsdien een constante groei, zowel in omzet als in werknemers. Figuur 1.2 toont de omzet van het fiscaal jaar 2001 tot 2006. Deze omzet overschreed in 2006 voor het eerst de kaap van 25 miljoen euro. Op dit moment zijn er ongeveer 190 mensen tewerkgesteld door P&V (167 met vast contract en 23 op interim-basis).



Figuur 1.1: Luchtfoto P&V Elektrotechniek [P&V]



Figuur 1.2: Grafiek omzet P&V [P&V]

P&V heeft drie grote groepen van klanten (Business Units). Figuur 1.3 en Figuur 1.4 tonen twee voorbeelden van schakelborden die op P&V gebouwd zijn.

OEM (Original Equipment Manufacturing) & Integratoren

Referenties: Alfa Laval, Tyco, Emerson, Bovema

Industrie & Nutsbedrijven

Referenties: Sidmar Arcelor Group, Opel Belgium, N.M.B.S., Belgacom

Installateurs

Referenties: GTI Fabricom, Imtech, Spie



Figuur 1.3: Voorbeeld van schakelbord 1 [P&V]



Figuur 1.4: Voorbeeld van schakelbord 2 [P&V]

1.4 Probleemstelling

De stijgende loonkost in België en de “dreiging” van goedkopere arbeiders uit Oost-Europa zijn een probleem voor de Belgische economie. Het is voor veel bedrijven erg aantrekkelijk om eenvoudige activiteiten te laten verrichten door goedkopere arbeiders uit bijvoorbeeld Roemenië of Slowakije. Ook P&V heeft reeds een deel van zijn seriematige activiteiten moeten uitbesteden naar het buitenland, meerbepaald naar Slowakije. Het bedrijf PVMA maakt daar bepaalde voorassemblages die men later op P&V moet inbouwen in elektrische schakelborden.

Door deze simpele taken uit te besteden, kunnen de arbeiders op P&V meer tijd besteden aan de moeilijkere taken. Dit is belangrijk omdat de medewerkers op die manier nuttiger worden ingezet en dus ook een grotere meerwaarde zijn voor het bedrijf. Ghislain Vanherle (Managing Director van P&V) wilt echter zoveel mogelijk intellectuele arbeid in België houden en wilt liefst zo weinig mogelijk uitbesteden naar het buitenland. Om nu toch meer rendement te halen uit de medewerkers, moet men naar automatisering overgaan. Door simpele taken automatisch uit te voeren (bv. door een robot), kan de medewerker zich met de complexere taken bezighouden.

De assemblage van schakelborden is echter een ingewikkeld proces waar op het eerste zicht weinig automatisering mogelijk is. Toch bekijkt P&V constant methodes om hun productie te automatiseren. Figuur 1.5 toont een voorbeeld hiervan: de Perforex. Deze machine is in 2004 aangekocht en bevat een frees-, boor- en tapinstallatie die men kan sturen aan de hand van CAD tekeningen. De machine voorziet de montageplaten van de nodige gaten en schroefdraad voor het monteren van DIN rails, kabelgoten en andere toestellen. Ook de wanden van de schakelkast kunnen voorzien worden van ventilatiegaten, gaten voor schakelaars en dergelijke meer. Vroeger gebeurde het boren, tappen en frezen volledig handmatig, wat niet alleen meer tijd en inspanningen van de medewerkers vergde maar tevens veel meer lawaai produceerde (en dus een minder goede werksfeer creëerde).



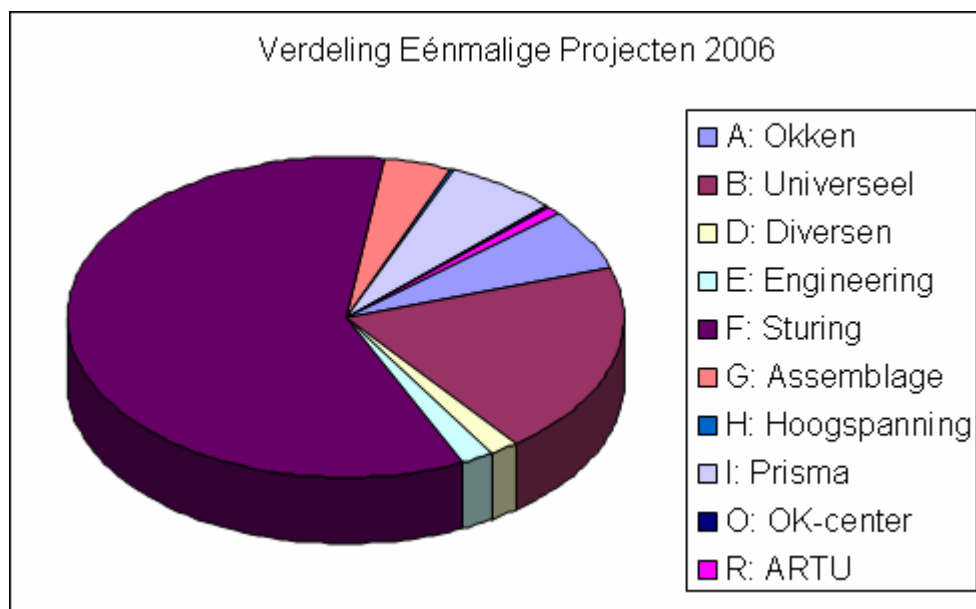
Figuur 1.5: Perforex frees- en boormachine

Ghislain Vanherle heeft echter nog een ander, veel groter, automatiseringsproject in gedachten. Het idee is om een machine te maken die een gedeelte van de draden in een schakelkast kan aansluiten met zo weinig mogelijk tussenkomst van de mens. Naast een economische overweging is dit project voor Ghislain Vanherle echter ook een prestigieuze project. Het ontwikkelen van een automatische bedradingsmachine is zeer moeilijk (een volwaardige machine bestaat nog niet) en net daarom wil Ghislain Vanherle de eerste zijn om P&V te onderscheiden van de concurrenten en om een spin-off van het project te maken. De Masterproef bestaat erin een klein gedeelte van dit project te ontwikkelen. Welk dat juist is, kan pas vastgelegd worden eens er een concreet concept is ontwikkeld. Hoofdstuk 2 van de scriptie bespreekt dit proces.

1.5 Haalbaarheidsstudie (Bachelorproef)

Eer het nuttig is met concrete plannen voor een bedradingsmachine te maken, moet men eerst onderzoeken of het project aantrekkelijk is om te ontwikkelen. Het heeft immers geen zin iets technologisch hoogstaand te ontwikkelen, dat geen toepassingen kan vinden in de industrie. Om die reden moet men eerst een soort haalbaarheidsstudie uitvoeren. Deze studie was het onderwerp van de Bachelorproef die we op het einde van de opleiding Academische Bachelor moesten doen. De volledige haalbaarheidsstudie is te vinden op de cd-rom van deze scriptie, onder “*Bachelorproef / Portfolio.pdf*”. Hieronder staan kort enkele belangrijke resultaten opgesomd van de studie.

Figuur 1.6 toont de verdeling van de omzet tussen de verschillende types van projecten. Merk op dat het hier enkel de éénmalige projecten betreft, de seriematige activiteiten zijn buiten beschouwing gelaten omdat deze in principe niet tot het bereik van de bedradingsmachine horen. Er is duidelijk te merken dat het merendeel van de projecten bestaat uit sturborden (F) en universele borden (B). Dit laatste slaat op borden die dienen voor vermogendistributie.



Figuur 1.6: Verdeling omzet éénmalige projecten 2006

Tijdens de haalbaarheidsstudie is gesteld dat het deze types van borden zijn welke het grootste toepassingsgebied voor de bedradingsmachine vormen. Andere types van

projecten (zoals bv. Okken of OK-center) komen niet in aanmerking omdat dit vaak speciale borden zijn waarbij automatisatie zo goed als onmogelijk is. Figuur 1.7 toont dat op lange termijn (als de bedradingsmachine voldoende functies krijgt), bij ongeveer de helft van de projecten sprake kan zijn van automatisatie. Het gaat hier om de stuurborden en de helft van de universele borden (de andere helft betreft het verdelen van grote vermogens waar de bedradingsmachine niet voor in aanmerking komt). Merk echter op dat het hier gaat om gedeeltelijke automatisatie, bij de helft van de projecten kan een gedeelte door de bedradingsmachine gebeuren maar er moet nog steeds een deel met de hand gebeuren.



Figuur 1.7: Omzet waarbij gedeeltelijke automatisatie mogelijk is

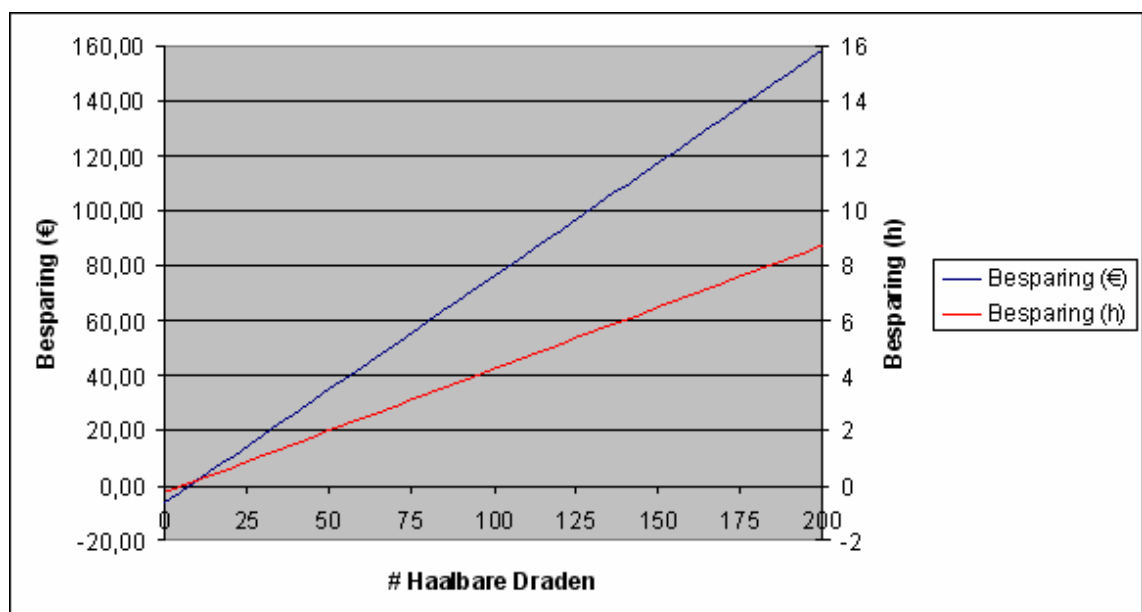
Het exacte gedeelte van een project dat automatisch bedraad kan worden door de bedradingsmachine is sterk afhankelijk van verschillende factoren. Ten eerste is er de draadsectie, draden van meer dan 2.5mm² zijn vaak te stijf om machinaal te leggen. Daarnaast zijn ook de eindhulzen belangrijk, gewone draadbusjes monteren gaat vrij simpel, een oog of vork aansluiten is waarschijnlijk veel moeilijker (of onmogelijk) voor de bedradingstool, toch zeker in het begin.

Op basis van deze (en enkele andere) criteria is tijdens de haalbaarheidsstudie onderzocht hoeveel draden ongeveer per bord kunnen geautomatiseerd worden. Hiervoor zijn willekeurige schema's op P&V geselecteerd waarvan de draadlijst en stuklijst van geëxporteerd is. Door deze in te voegen in een Excel applicatie, kan men een schatting doen van het aantal draden dat de bedradingsmachine kan aansluiten.

In totaal zijn 19 projecten geanalyseerd. Gemiddeld kunnen er 78 draden per bord geautomatiseerd worden, wat ongeveer neerkomt op 25% van de verbindingen. Om nu

te bepalen welke besparingen dit oplevert, moet men schatten welke tijd een robot nodig heeft om een draad volledig aan te sluiten en dit vergelijken met de tijd die een mens nodig heeft.

Uit ervaring blijkt dat een persoon ongeveer 4.8 minuten nodig heeft voor één draad aan te sluiten. Dit is het volledige proces en omvat niet alleen het aansluiten zelf maar ook het plan lezen, op maat knippen, labelen, ... van de draad. De geschatte tijd die de robot nodig heeft om hetzelfde te doen, wordt geschat op 2.1 minuten. Figuur 1.8 toont de besparingen in functie van het aantal draden dat men automatisch kan bedraden. Uit de figuur blijkt dat het vooral voor grotere projecten interessant is om te automatiseren (wat ook logisch is).



Figuur 1.8: Besparingen bij het gebruiken van bedradingsmachine

In het volgende deel van de Bachelorproef is gekeken naar de mogelijke investeringskosten en de terugverdientermijn van de bedradingsmachine maar dit gedeelte is in feite gedateerd. Tijdens de Bachelorproef is er namelijk vanuit gegaan dat de bedradingsmachine enkel voor P&V moest ontwikkeld worden. Op dit moment is het uitgangspunt echter een spin-off: indien de bedradingsmachine succesvol ontwikkeld kan worden, kan P&V (eventueel samen met andere partners) een dochteronderneming starten die zich specifiek richt op het ontwikkelen en verkopen van de bedradingsmachine.

Ten slotte is er ook een SWOT analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities & Threats) van de bedradingsmachine gemaakt. Een SWOT analyse evalueert de sterktes en zwaktes van een product, zowel op intern als extern gebied. Door een SWOT analyse te doen, kan men bepalen welke de voornaamste troeven van een product zijn (hier kan men mee uitpakken) en welke de belangrijkste aandachtspunten zijn. Een normale analyse bestaat uit twee delen. Eerst is er een brainstormsessie waarin alle sterktes en zwaktes worden opgesomd. Vervolgens moet men van elke categorie de twee of drie voornaamste selecteren en in een SWOT matrix plaatsen, deze is opgenomen in Figuur 1.9. De lijst van de brainstormsessie is niet in deze scriptie opgenomen, maar is terug te vinden in het portfolio van de Bachelorproef.

	Positief	Negatief
Intern	<p style="text-align: center;"><u>Sterktes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 24 h / dag werken • Maakt minder fouten • Lange termijn → veel te automatiseren 	<p style="text-align: center;"><u>Zwaktes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas rendabel op lange termijn • Complex vanwege grote variëteit • Foutcontrole valt weg
Extern	<p style="text-align: center;"><u>Kansen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Minder offertes weigeren • Innovatief project → subsidies • Nieuwe markt aanboren 	<p style="text-align: center;"><u>Bedreigingen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lage loonarbeiders • Installateurs niet happig op geleverde schakelkasten • Andere investeerders nodig

Figuur 1.9: SWOT matrix bedradingsmachine

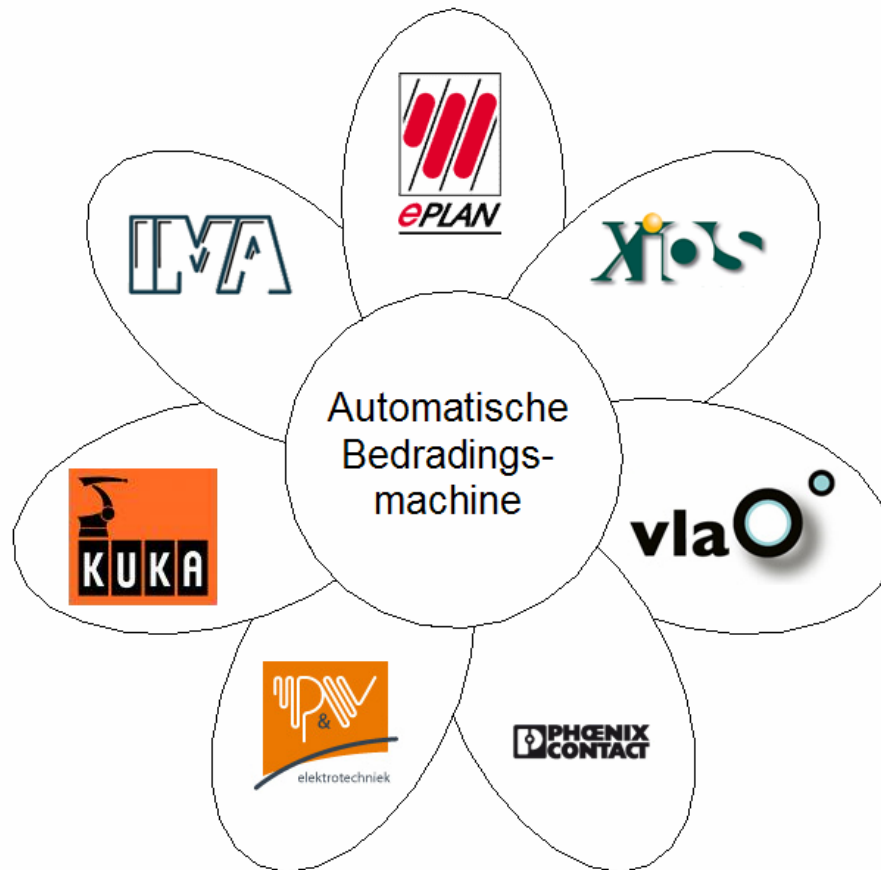
1.6 Bedrijven met nuttige inbreng in het project

Het ontwikkelen van een machine die een gedeelte van de draden in een schakelkast kan aansluiten is een erg groot project. Om die reden is P&V gaan zoeken naar mogelijke partners die konden meestappen in het project. Op deze manier kan men gemakkelijk de specifieke kennis van de verschillende bedrijven uitwisselen (robotica, pneumatica, informatica, ...). Duurzaam succes is dan ook in functie van de graad van samenwerking tussen de verschillende partijen. Zeker vanwege de complexiteit van de bedradingsmachine is het belangrijk om een cluster rond het project op te richten.

Daarom heeft P&V toenadering gezocht tot andere bedrijven die de specifieke kennis hebben om het project tot een goed einde te brengen. Gedurende de zomer van 2007 zijn er verschillende gesprekken geweest met bedrijven die een technische bijdrage kunnen leveren. Figuur 1.10 toont de verschillende bedrijven/partijen die mogelijk een nuttige inbreng in het project kunnen hebben. De lijst op de volgende pagina geeft ook weer op welke manier de bedrijven hun inbreng kunnen leveren.

Uiteindelijk is het de bedoeling om met die verschillende bedrijven een IWT project op te starten in samenwerking met het VLAO (Vlaams Agentschap Ondernemen). Door een IWT project op te starten, kan men subsidies krijgen van de Vlaamse overheid. Afhankelijk van de grootte van het bedrijf en de grootte van het project, bestaan er verschillende formules voor de subsidies. In totaal kunnen deze tot 60% van de kosten dekken. Om in aanmerking te komen moet men eerst een dossier indienen bij het IWT waarin het project duidelijk staat omschreven.

Een project moet namelijk aan enkele vereisten voldoen eer men voor subsidies in aanmerking komt. Allereerst moet het gaan om een innovatief project dat haalbaar is om te realiseren. Technische innovatie is echter niet het enige belangrijke, ook het economische aspect van het project moet in orde zijn. Het IWT hecht er veel belang aan dat het resultaat van het project de Belgische economie bevordert. Men moet dan ook duidelijk vermelden wat er concreet met het project gebeurt nadat het is afgerond. Gewoon een project opstarten om te kijken of het technisch haalbaar is en er verder niets mee doen is dan ook geen optie.



Figuur 1.10: Partijen met een bijdrage in het project

P&V Elektrotechniek:

Als bordenbouwer zijn zij de initiatiefnemer voor het project. Daarenboven heeft P&V ook de kennis in huis omtrent het ontwerpen en assembleren van elektrische schakelborden.

EPlan:

Het EPlan P8 elektrisch tekenpakket is zeer veel gebruikt in de industrie. Dit is tevens het programma dat men op P&V gebruikt. Het bedrijf kan dus zeer nuttige ondersteuning geven naar het interface gedeelte van het project.

IMA:

Als machinebouwer heeft IMA zeer veel ervaring met zowel het ontwerpen als het bouwen van automatiseringsprojecten. Omdat IMA zich specifiek toelegt op eenmalige innovatieve projecten weten ze als geen ander welke factoren belangrijk zijn in de ontwikkeling van het project.

Kuka:

Omdat robotica een belangrijk onderdeel van het project is, kan Kuka een belangrijke inbreng leveren in het project. Als robotbouwer weten zij het beste welke mogelijkheden en problemen kunnen opduiken.

Phoenix Contact:

Phoenix Contact is niet alleen leverancier van schakelmateriaal (klemmen, relais, ...) maar legt zich ook steeds meer toe op automatisering. Daarnaast doen ze in beperkte mate ook aan machinebouw: de hoofdzetel van Phoenix Contact ontwerpt namelijk zijn eigen productiemachines.

VLAO:

Het Vlaams Agentschap Ondernemen, ondersteunt bedrijven die met innovatieve projecten bezig zijn. Ze doen dit onder andere onder de vorm van financiële steun. Omdat een automatische bedradingsmachine zeker een innovatief project is, kan ook VLAO een belangrijke rol spelen naar de uiteindelijke realisatie van het project.

XIOS:

Naast de Masterproef die een deel van het project moet realiseren, kan XIOS ook nog andere nuttige inbreng voor het project hebben. De onderzoeksgroep EMAP van de hogeschool heeft namelijk een project lopen rond visiesystemen, iets wat ook belangrijk is voor het project.

Welke rol ieder bedrijf uiteindelijk in het project gaat vervullen, ligt op dit moment nog niet vast. De eerste verkennende gesprekken waren er dan ook vooral om te kijken of naast P&V ook andere bedrijven interesse toonden in het ontwikkelen van een automatische bedradingsmachine. Het enige bedrijf waar nog regelmatig contacten mee zijn voor de Masterproef is IMA. Aangezien de Masterproef de ontwikkeling van een gedeelte van het project omvat, is het handig dat een bedrijf met kennis van zaken de nodige feedback kan geven. Om die reden is er ook een extra externe promotor aangesteld. In het begin van het project was dit enkel Ghislain Vanherle van P&V maar toen het project concreter werd (het ontwerpen en bepalen van alle onderdelen), is hier ook nog Gert Vanvuchelen (Algemeen Directeur van IMA) bijgekomen.

1.7 Werkverdeling

Om de werken zo goed mogelijk te kunnen opvolgen, is er geprobeerd een planning van alle activiteiten te maken. De geplande tijdstippen voor elke taak staan in het blauw. De rode balken tonen aan wanneer de taak werkelijk is uitgevoerd. Deze planning is opgenomen in Bijlage G. Naast een tijdsverdeling is er ook een RASCI Matrix opgesteld (zie Figuur 1.11). Deze matrix geeft weer wie welke verantwoordelijkheden heeft binnen het project. Aan vele onderdelen is er echter samen gewerkt, daarom dat er vaak twee keer RA (Responsible en Accountable) staat. Onder de figuur staat de uitleg met de verschillende afkortingen.

Taken	Betrokkenen	Jan Comhair	Bernd Mouchaers
Conceptontwikkeling		RA	RA
Voorontwerp bedradingstool		S	RA
Bepalen componenten		RA	RA
Ontwerp mechanisch		S	RA
Ontwerp pneumatisch		RA	S
Ontwerp elektrisch		RA	S
Offertes en bestelling plaatsen		RA	S
Assemblage bedradingstool		RA	RA
Assemblage stuurkast		RA	RA
PLC programmeren		S	RA
Testen bedradingstool		RA	RA
Scriptie schrijven		S	RA
Verdediging voor jury		RA	RA

Figuur 1.11: RASCI Matrix

R = Responsible: wie voert de actie uit; vaak is dit ook degene die accountable is.

A = Accountable: wie wordt afgerekend op het resultaat.

S = Supported: wie werkt er mee aan de taak.

C = Conculted: wie moet men voor het nemen van een beslissing raadplegen.

I = Informed: wie moet van een bepaalde actie op de hoogte worden gebracht.

2 Conceptontwikkeling

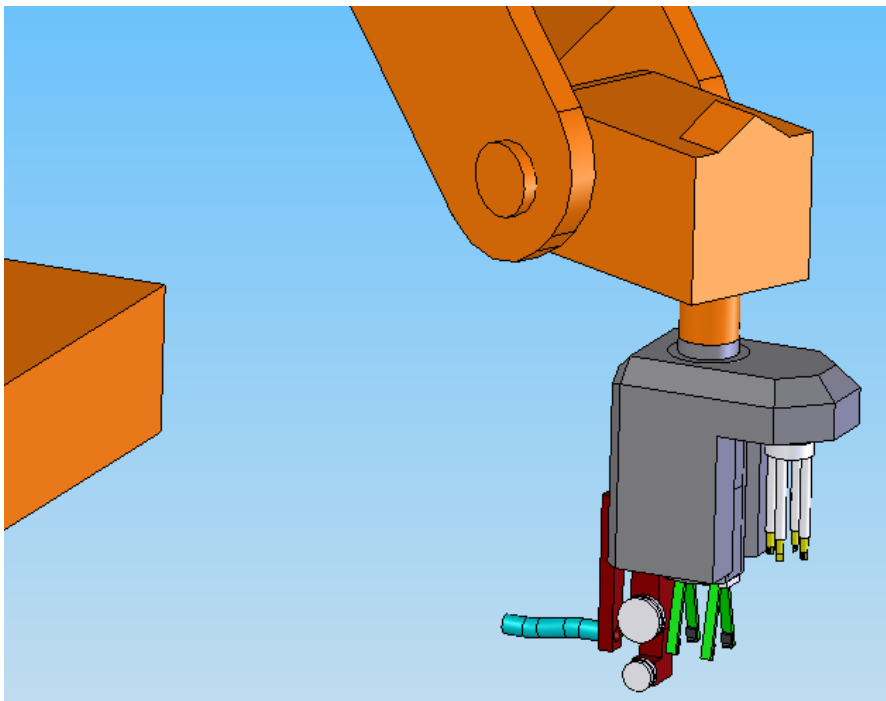
Dit hoofdstuk heeft als doel de grove krijtlijnen van het project te bepalen. Het concept van de machine bepalen, is reeds begonnen na de Bachelorproef in mei 2007 maar op dat moment waren de ideeën nog erg vaag. Gedurende de volgende maanden werd het concept steeds bijgestuurd (de gedachtegang is een paar keer grondig veranderd) en kreeg het een concretere vorm. Dit hoofdstuk begint van de allereerste ideeën om uiteindelijk tot het totaalconcept van de automatische bedradingsmachine te komen. Alles is echter niet tot in het detail uitgelegd omdat dit zinloos is, veel oudere ideeën zijn nu achterhaald (of gewoonweg verkeerd).

Het hoofdstuk geeft dan ook veel meer de weg aan die gevolgd is om tot het totaalconcept te komen. Merk op dat enkel het mechanische concept is besproken. In principe is ook de informatie van het tekenpakket EPlan (en de verwerking ervan) zeer belangrijk. Na gesprekken met EPlan bleek echter dat alle nodige informatie reeds rechtstreeks of onrechtstreeks beschikbaar is. Hoewel het volledig ontwerpen van een interface tussen EPlan en de bedradingsmachine zeer omvangrijk is, zullen er dus waarschijnlijk geen onoplosbare problemen opduiken.

Nadat het uiteindelijke concept vastligt, kan men ook bepalen wat het doel van deze Masterproef precies is. Het totale project is namelijk veel te groot om als Masterproef uit te werken. Welk deel precies gerealiseerd moet worden, is beschreven in punt 2.5.

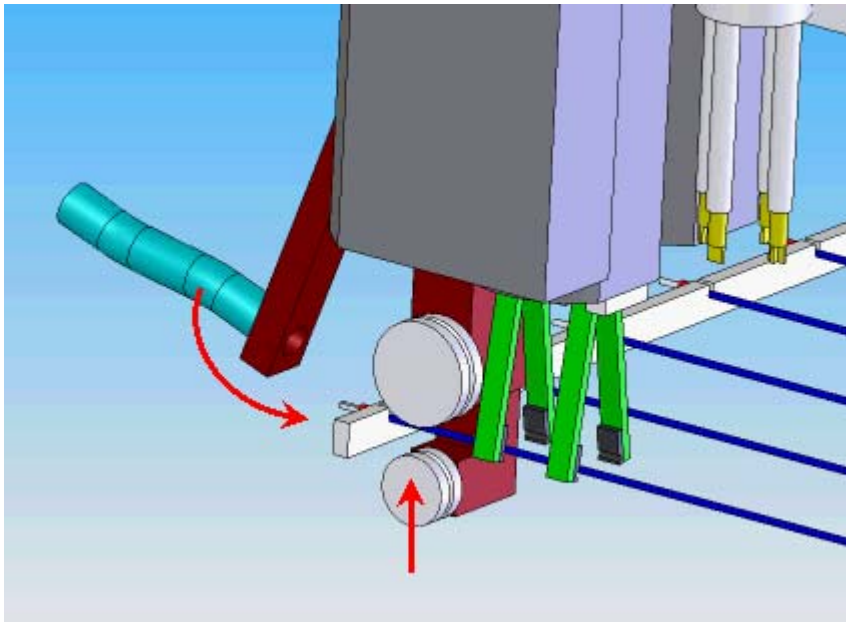
2.1 Concept 1: Eén robot met universele bedradingstool

Figuur 2.1 toont het eerste uitgewerkte concept. De bedradingsmachine bestaat uit een robot met daarop een gespecialiseerde bedradingstool die de draad kan aansluiten. De bedradingstool kan zowel de draad vastnemen, tijdelijk opslaan en aansluiten. Onderstaande tekst geeft de werking in het kort weer. De nodige figuren moeten de tekst verduidelijken maar omdat sommige dingen moeilijk voor te stellen zijn door alleen maar figuren, bevat de cd-rom met deze scriptie ook een geanimeerde video van het concept. Deze is te vinden onder “Videos / Concept_1.avi”.

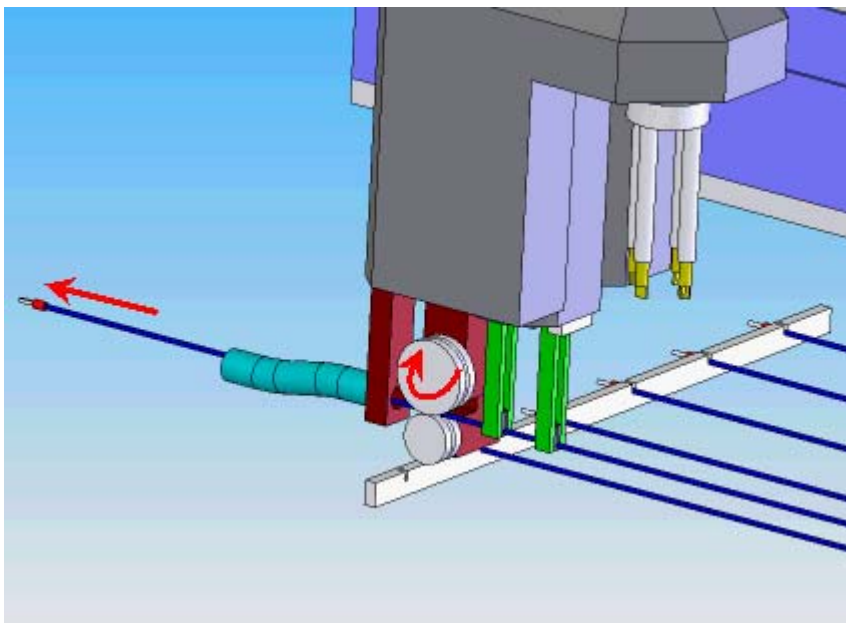


Figuur 2.1: Eerste uitgewerkte concept

De draden zijn op voorhand gemaakt en zijn opgeslagen in een rek. De robot met tool grijpt het uiteinde van de draad en haalt deze uit het rek (Figuur 2.2). Omdat de draad erg flexibel is, kan deze niet blijven loshangen. De draad moet dus tijdelijk worden opgeslagen op de robot, dit gebeurt in een flexibele buis die langs de arm van de robot wordt geplaatst. Om de draad in de buis te krijgen heeft de bedradingstool een kleine arm met twee rollen. Eén van de rollen is aangedreven door een motor die hierdoor de draad in de buis kan rollen. Figuur 2.3 toont dit principe (de flexibele buis in het lichtblauw is slechts gedeeltelijk weergegeven voor de duidelijkheid).

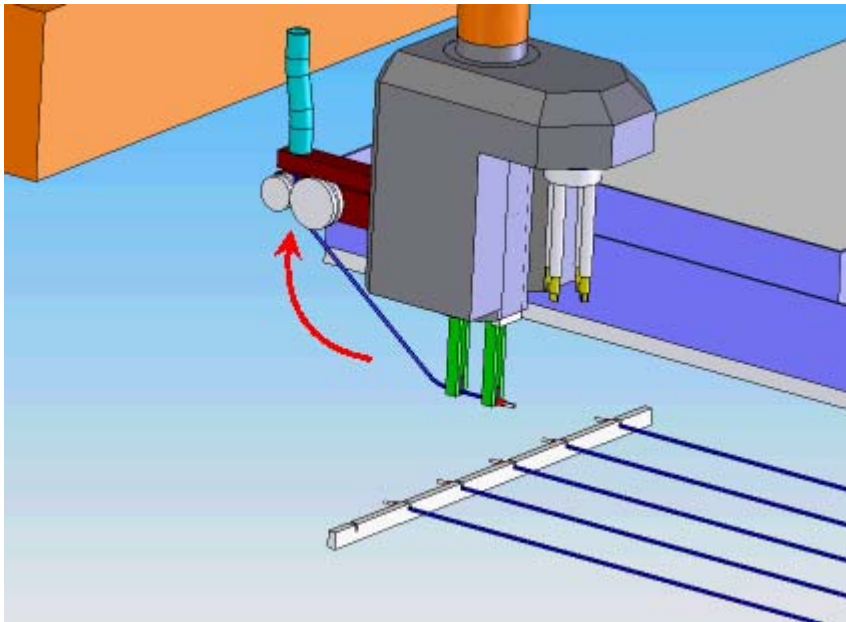


Figuur 2.2: Draad uit het rek halen



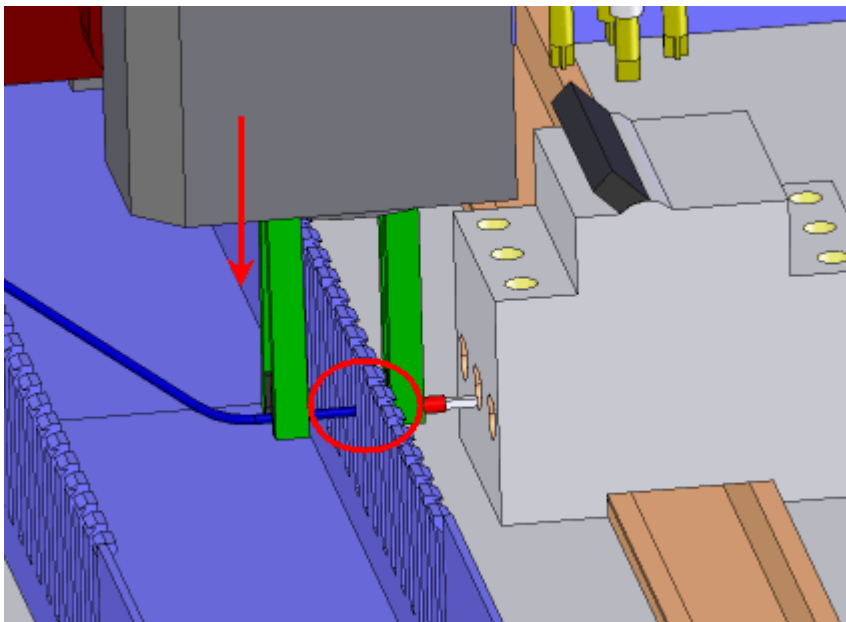
Figuur 2.3: Draad oprollen in flexibele buis

Nadat de draad in de buis ligt, bestaat er geen kans meer dat deze verstrikt geraakt tijdens het proces. Op het einde grijpen twee grijpers de draad stevig vast en gaat de arm met twee rollen op weer naar boven (zie Figuur 2.4). Door twee grijpers te gebruiken, kan men zeer makkelijk en betrouwbaar de draad in de kabelgoot aanbrenge. Beide grijpers kunnen volledig afzonderlijk van elkaar bewegen. Ze kunnen niet alleen afzonderlijk open of dicht gaan maar ook een translatie naar boven uitvoeren.



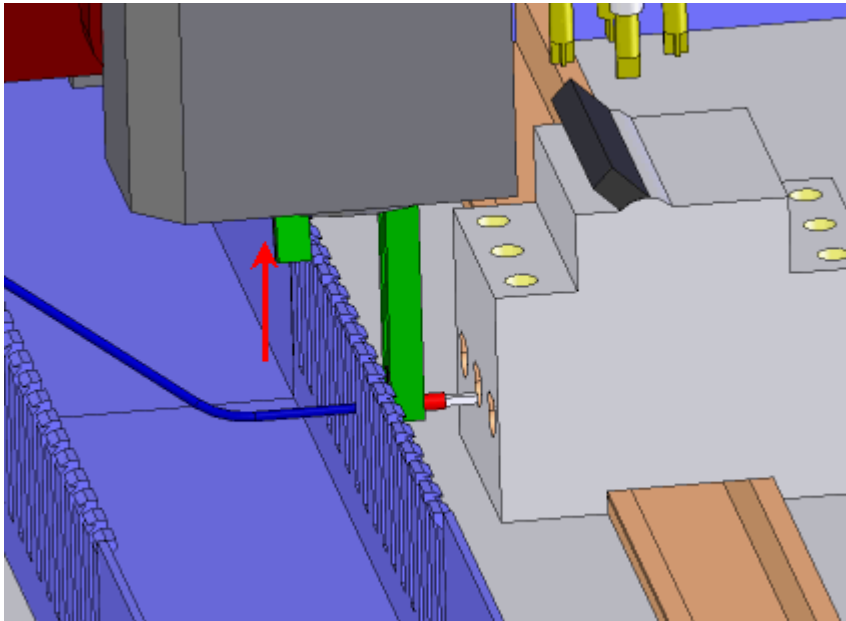
Figuur 2.4: Twee grijpers nemen de draad

Nu de grijpers de draad vasthebben, beweegt de robot naar de positie van de eerste aansluiting. Eerst positioneert hij zich in het horizontale vlak en vervolgens beweegt de arm naar beneden. In eerste instantie is echter niet de positie van de aansluiting belangrijk maar wel de positie van de kabelgoot (Figuur 2.5).



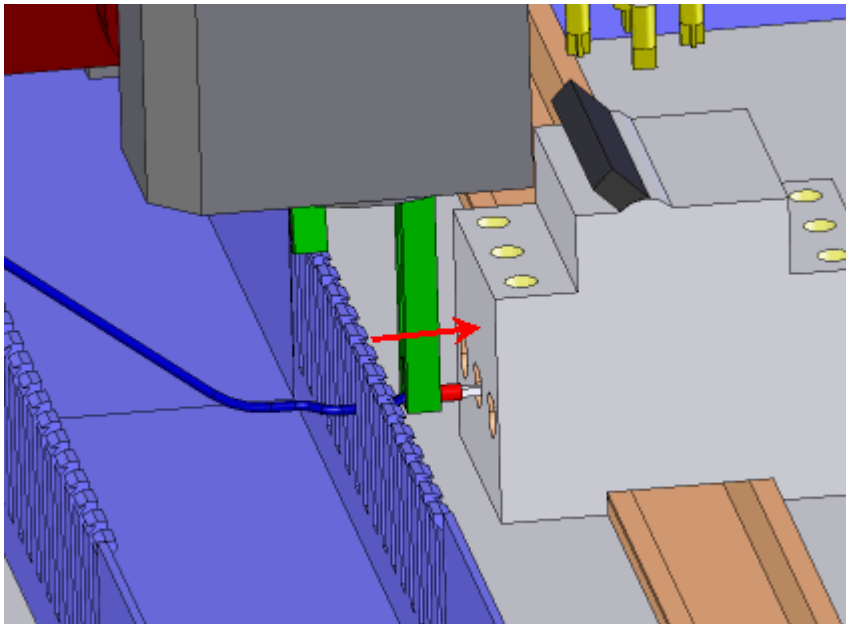
Figuur 2.5: Draad tussen ribben kabelgoot leggen

Vooraf de ribben van de kabelgoot en de gaten ertussen spelen een cruciale rol. De draad moet namelijk steeds eerst tussen de ribben in geplaatst worden alvorens men de draad aansluit. De robot moet zichzelf daarom eerst uitlijnen met een opening in de kabelgoot alvorens naar beneden te bewegen. Indien dit niet gebeurt, kan men ofwel de draad ofwel de ribben beschadigen. De dubbele grijper zorgt ervoor dat het naar beneden bewegen in de kabelgoot optimaal gaat.

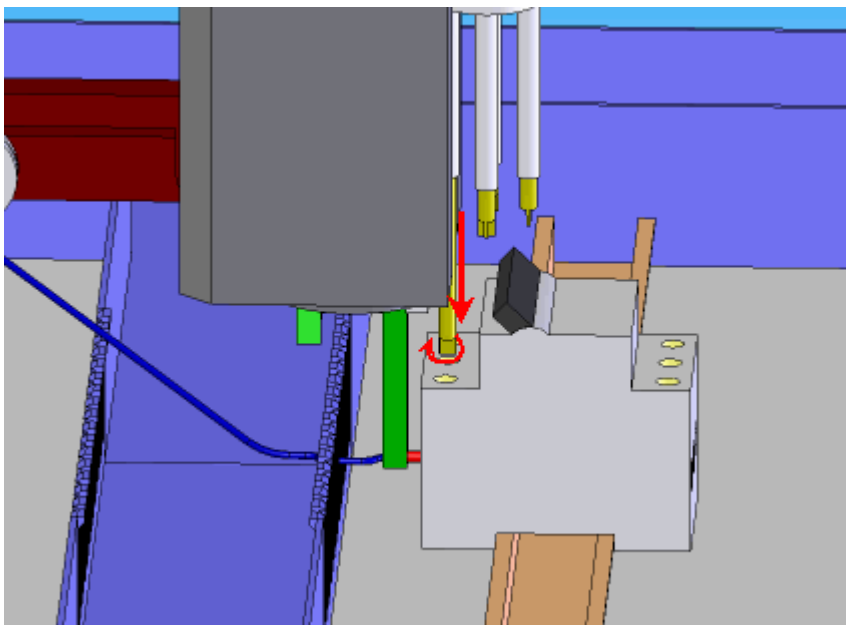


Figuur 2.6: Achterste grijper omhoog

Eenmaal de draad tussen de ribben van de kabelgoot zit, moet de achterste grijper opengaan en naar boven bewegen (zie Figuur 2.6). Vervolgens moet de robot zich nog exact positioneren ten opzichte van de aansluiting, waarna men het eerste uiteinde van de draad in de aansluiting kan brengen (zie Figuur 2.7). Om de aansluiting vast te draaien, bevindt er zich een revolversysteem op de bedradingstool met daarin verschillende soorten schroefbits. Niet alleen hebben toestellen vaak een verschillende vorm van aansluiting (kruis of plat), ook de grootte van de aansluiting is belangrijk. Het revolversysteem van Figuur 2.8 bevat vier verschillende bits. Afhankelijk van het toestel, wordt de juiste bit geselecteerd en komt deze bit naar beneden om de schroef van de aansluiting vast te draaien.

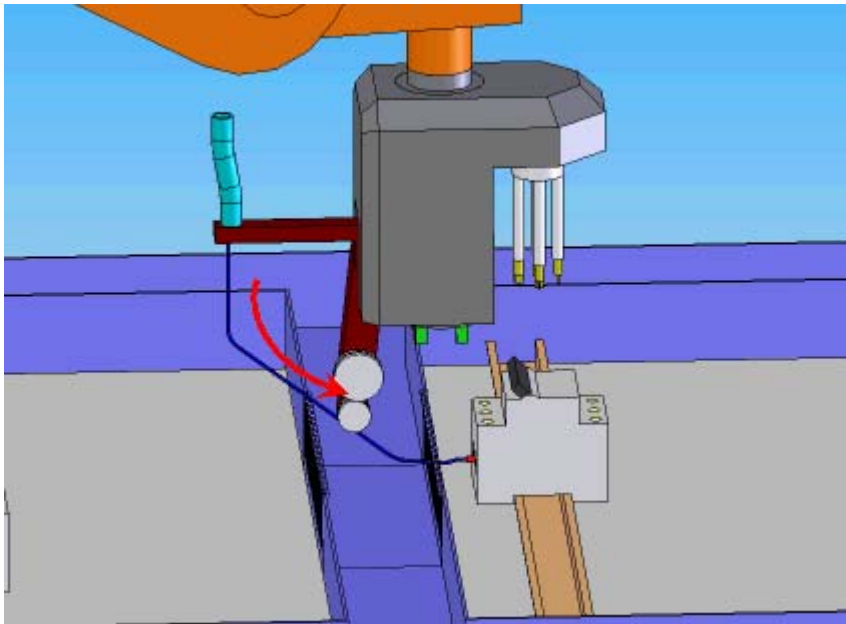


Figuur 2.7: Draad in aansluiting brengen

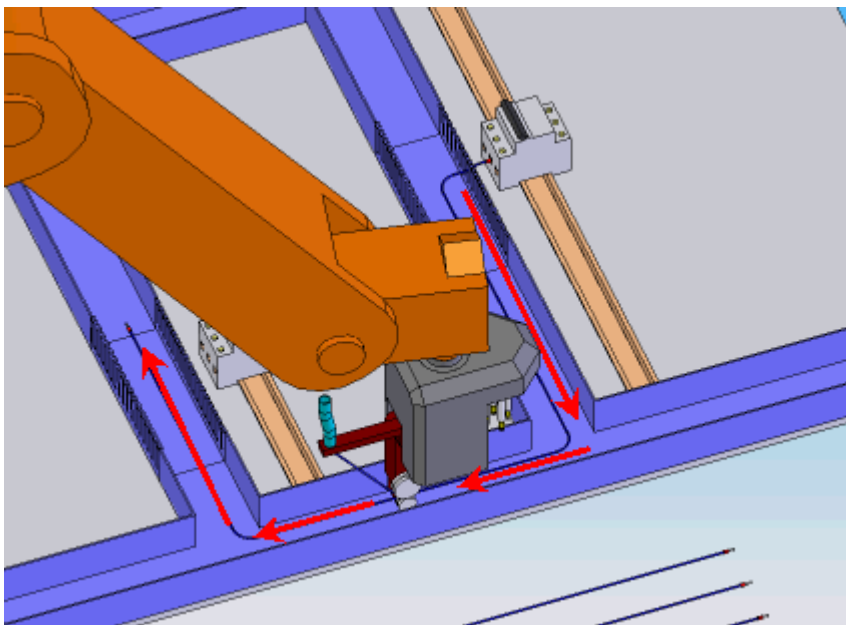


Figuur 2.8: Revolversysteem met vier bits

Op dit moment ligt het eerste uiteinde van de draad volledig vast en moet de bedradingstool de draad afrollen in de kabelgoot. Hiervoor komt de arm die de draad in de flexibele buis heeft gerold terug naar beneden (Figuur 2.9). De motor draait nu echter andersom waardoor de draad wordt afgerold in de kabelgoot. De robot volgt de juiste weg in de kabelgoten (zie Figuur 2.10) en komt na een tijd aan bij zijn eindpositie.



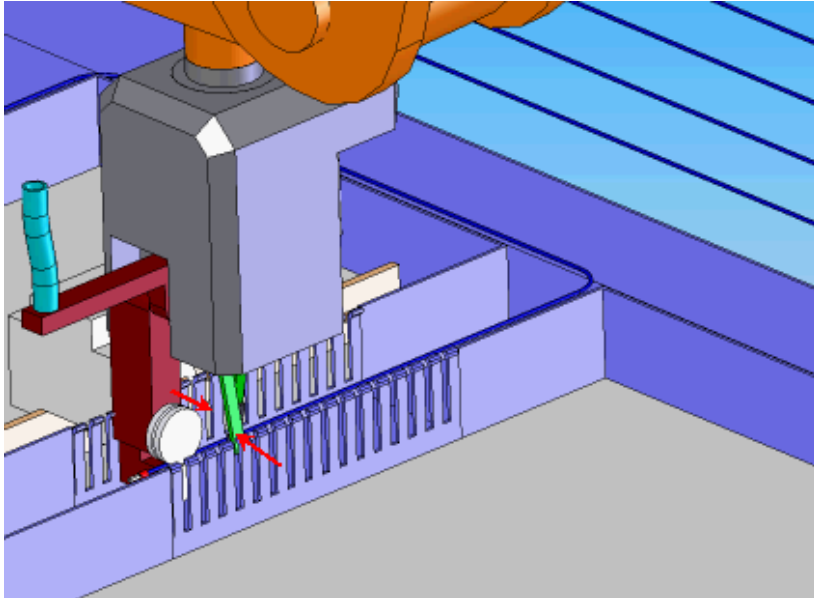
Figuur 2.9: Klaarmaken om draad af te rollen



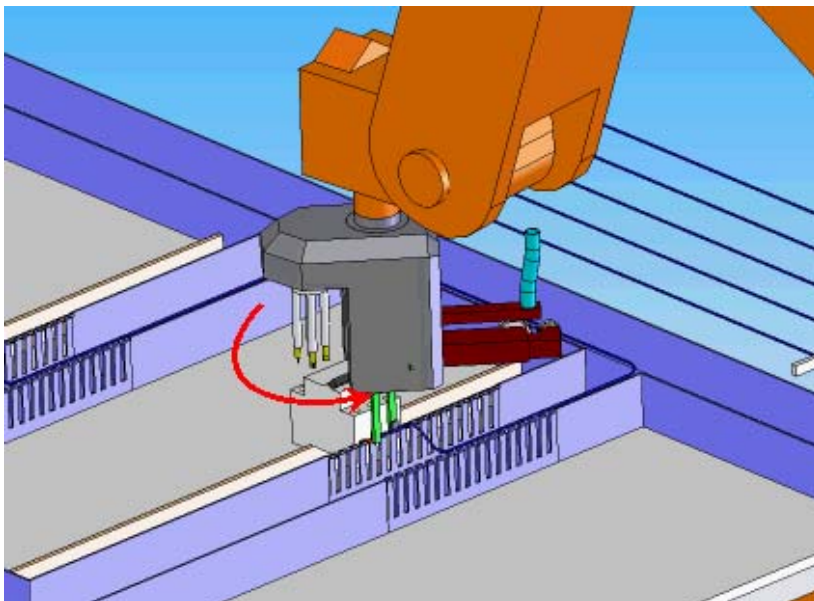
Figuur 2.10: Draad afrollen in de kabelgoot

De twee grijpers komen op dit punt terug naar beneden om de draad vast te grijpen (zie Figuur 2.11). Hierna moet de bedradingstool het tweede draadeinde aansluiten. Het probleem is echter dat het tweede uiteinde naar de andere richting wijst. Om dit op te lossen moet het buitenste gedeelte van de bedradingstool om zijn as draaien zodat het revolverstelsel met de schroefbits terug boven het juiste uiteinde van de draad staat (zie Figuur 2.12). Op dit moment moet de bedradingstool dezelfde handelingen volgen

dan bij het aansluiten van het eerste uiteinde. Nadat ook het tweede uiteinde is aangesloten, haalt de bedradingstool een nieuwe draad uit het rek en begint de cyclus opnieuw.



Figuur 2.11: Vastgrijpen tweede uiteinde



Figuur 2.12: Omdraaien bedradingstool

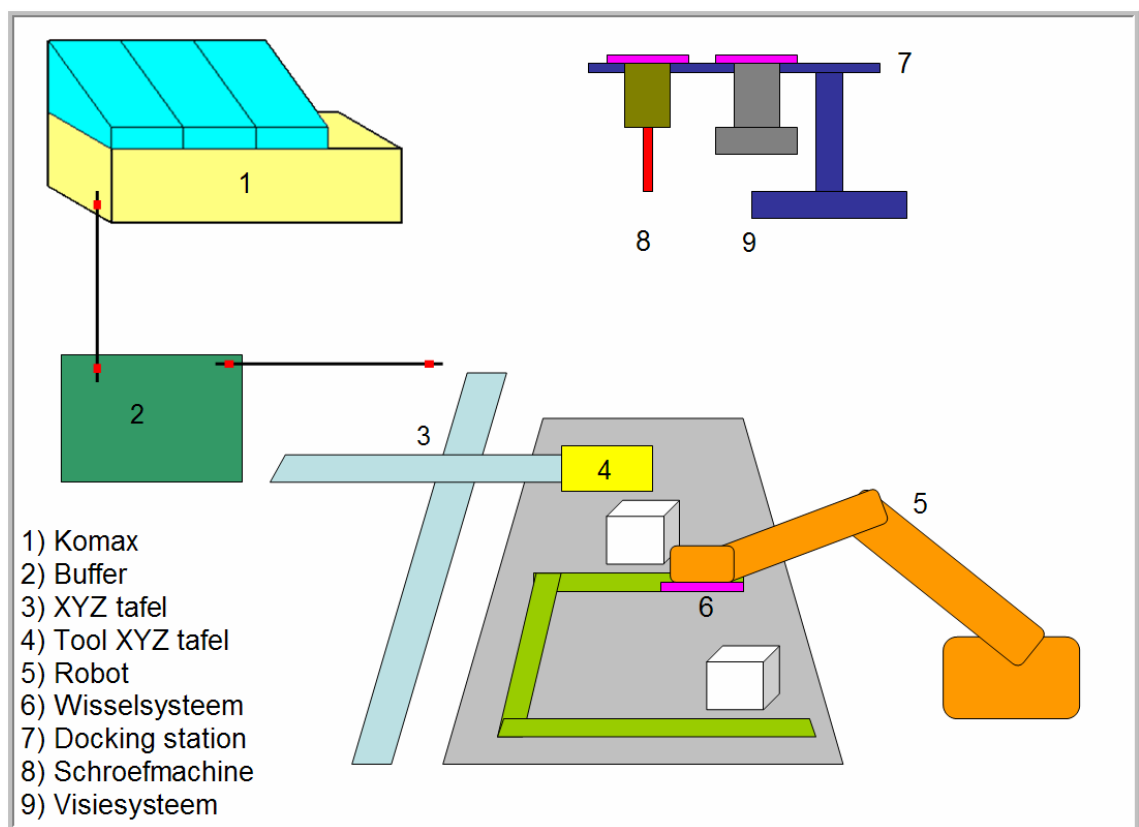
Als student is het echter erg moeilijk om het concept te beoordelen op haalbaarheid omdat dit inzicht vooral komt door jarenlange ervaring in de industrie. Om die reden had Joris Huegaerts (Market Manager Industrial Automation Systems van Phoenix

Contact Benelux) een meeting voorzien met enkele ingenieurs van de hoofdzetel van Phoenix Contact (in Blomberg te Duitsland) in september 2007. Dit bezoek is er gekomen omdat er vanuit Phoenix Contact interesse bestond in het project en men er technische assistentie wou verlenen. De fabriek in Blomberg heeft namelijk een gespecialiseerde afdeling voor het ontwikkelen van automatiseringsprojecten. Sinds enkele jaren ontwikkelt men de machines voor de productie op Phoenix Contact zelf. De ingenieurs die er werken hebben dan ook de ervaring die nodig is om het concept van de bedradingstool te beoordelen.

Na een gesprek bleek dat het eerste concept veel te ingewikkeld was. De tool die op de robot staat moet veel te veel bewegingen doen. Voor iedere beweging moet niet alleen een actuator voorzien zijn (zei het pneumatisch of elektrisch) maar er moeten tevens sensoren voorzien zijn en alles moet bekabeld zijn. Het is dan ook onmogelijk om alle bewegingen van het eerste concept samen te proppen op een kleine ruimte. Men kan veel beter de tool zo simpel mogelijk houden door het aantal bewegingen te beperken. Bij Phoenix Contact raadde men echter ook aan om niet meteen in detail te werken. In eerste instantie moet men in het concept nog niet bezig zijn met alle specifieke bewegingen van de tool, het is veel belangrijker om in het begin de grote lijnen uit te zetten om vervolgens alles specifiek uit te werken.

2.2 Concept 2: Robot + XYZ Tafel + Komax

Omdat bij het initiële concept de robottool te veel bewegingen moest doen, zijn de taken van de bedradingsmachine opgesplitst in meerdere delen (Figuur 2.13). Linksboven op de figuur staat de Komax Zeta 633 (1). Deze machine, die ook duidelijker te zien is in Figuur 2.14, kan volledig afgewerkte draden maken aan de hand van een draadlijst. In het begin van de machine staan bobijnen met draad opgesteld (verschillende kleur en sectie) die vervolgens in verschillende stations een behandeling ondergaan. De Komax kan de draad op lengte knippen, strippen, voorzien van verschillende soorten eindhulzen (oog, vork, bus) en kan tevens labeling aanbrengen op de draad. Van het moment dat de draad de Komax verlaat, is deze dus volledig afgewerkt.



Figuur 2.13: Concept met robot en XYZ tafel



Figuur 2.14: Komax Zeta 633 [KOM]

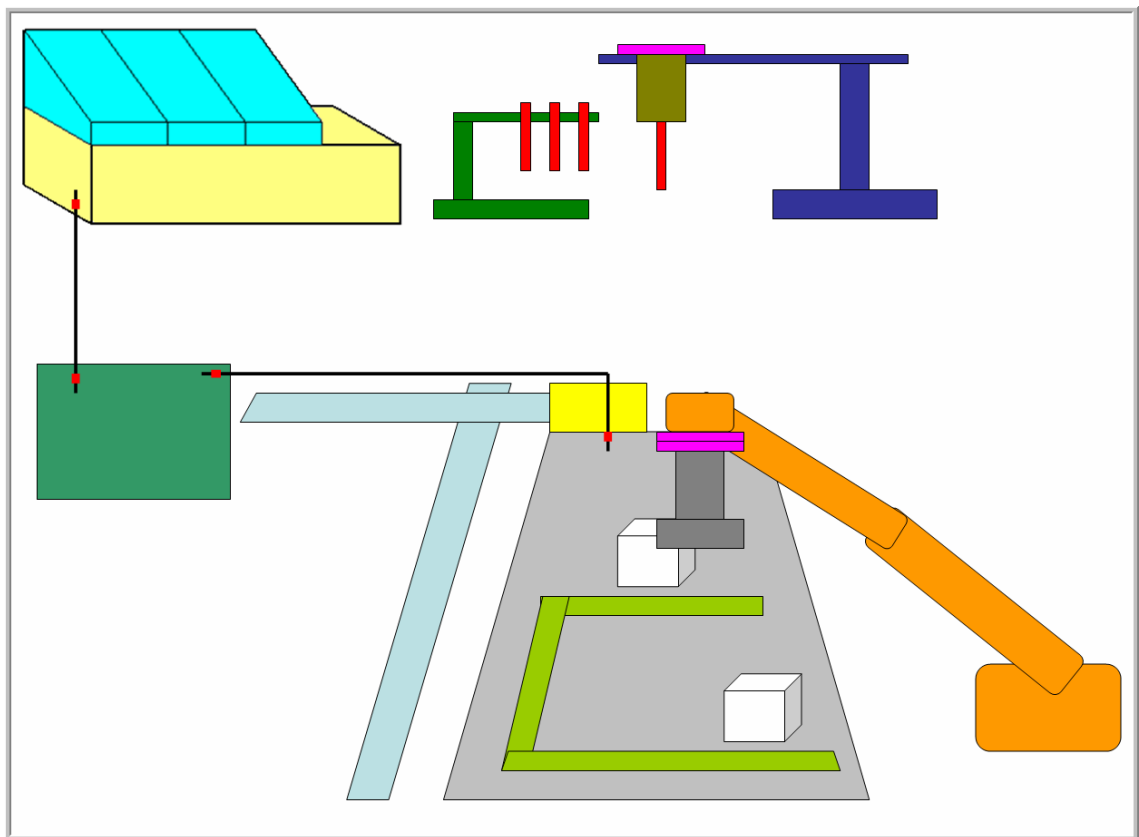
Omdat de Komax de draden veel sneller maakt dan de rest van het systeem ze kan aansluiten, moet men een tijdelijke buffer voorzien (2). De Komax kan hierdoor aan volle snelheid de draadlijst produceren en moet niet wachten op de rest van het systeem. Dit systeem bestaat uit twee grote delen. Enerzijds is er een XYZ tafel (3) die de aan te sluiten draad uit de buffer haalt. Een tool op het uiteinde van de XYZ tafel (4) grijpt de draad vast zodat men deze kan aansluiten.

Het tweede grote deel van de machine is een robot (5) met daarop een gereedschapswisselsysteem (6). Figuur 2.15 geeft dit duidelijker weer. Dit wisselsysteem kan men uitrusten met verschillende tools. De tools die de robot niet gebruikt, worden opgeslagen in het docking station (7). Enkele tools die zeker nodig zijn voor het functioneren zijn: een schroefmachine om de aansluitingen te maken (8) en een visiesysteem om de exacte positie van elke component te bepalen (9). Later kan men dit systeem zeer makkelijk uitbreiden door nieuwe tools toe te voegen (bv. om speciale soorten klemmen aan te sluiten).



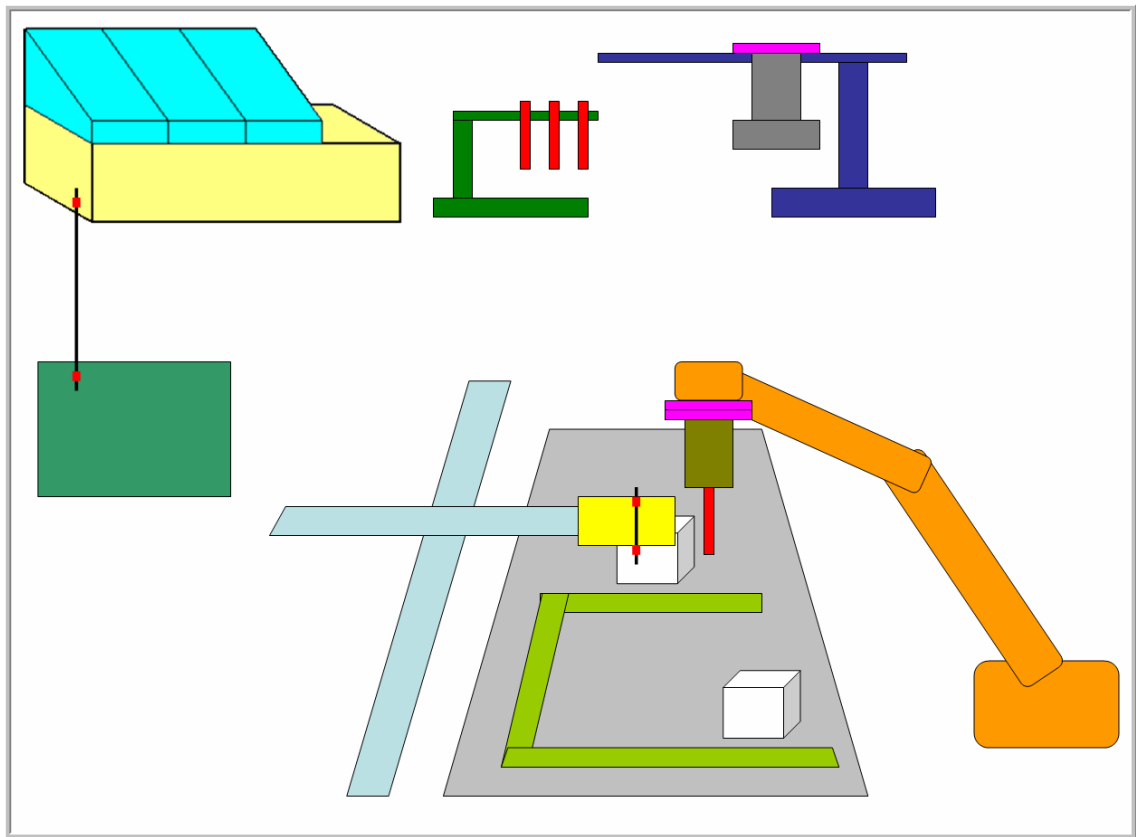
Figuur 2.15: Gereedschapswisselsysteem [SCHU]

De werkcyclus van de bedradingsmachine ziet er als volgt uit: als eerste grijpt de robot het visiesysteem en scant deze de hele montageplaat in. Zo weet de machine de exacte positie van alle toestellen, deze kan namelijk licht afwijken van de positie op plan (Figuur 2.16). Wanneer dit gedaan is, grijpt de XYZ tafel met zijn tool een draad uit de buffer (er van uitgaande dat de Komax reeds enkele draden heeft gemaakt).

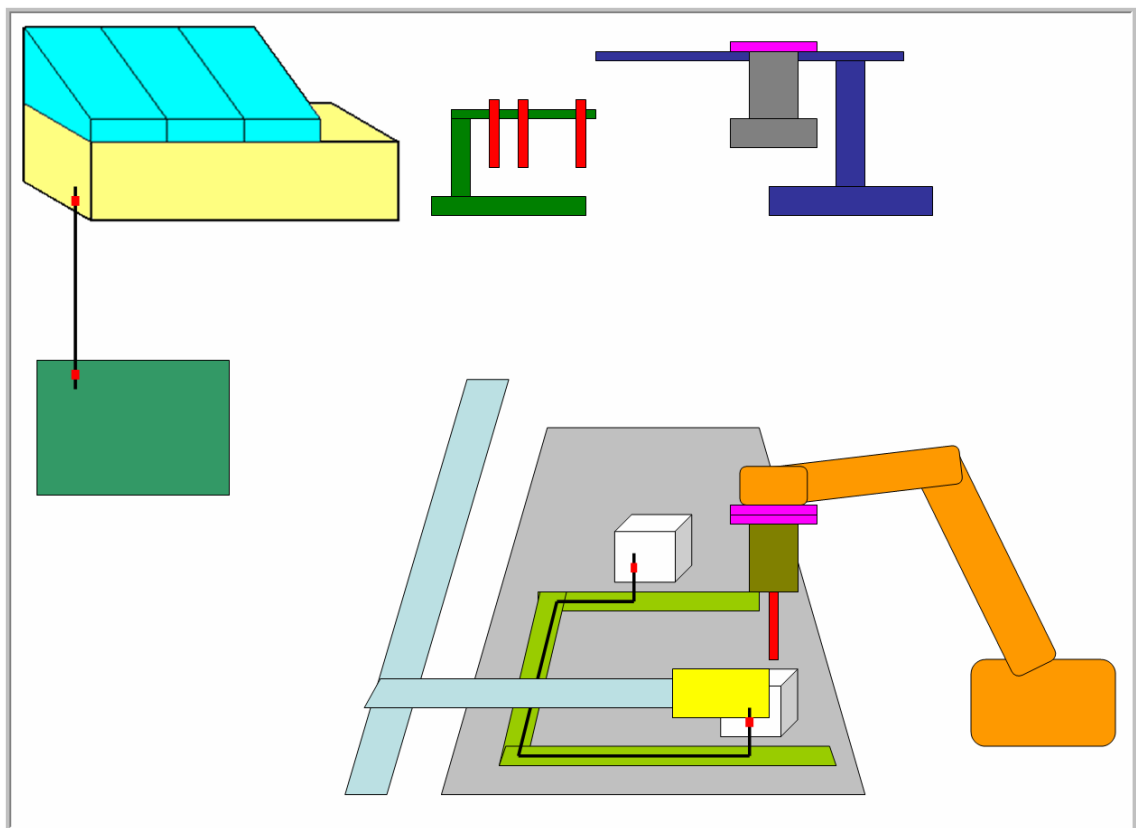


Figuur 2.16: Halen van de draad en scannen eindpunten

Vervolgens beweegt de XYZ tafel naar het eerste aansluitpunt van de draad. De robot gaat naar het docking station en haalt er de schroefmachine met de juiste bit om de aansluiting te maken uit (Figuur 2.17). Daarna legt de XYZ tafel de draad in de kabelgoot. Tijdens deze beweging kan de robot eventueel een andere bit selecteren (mocht de tweede aansluiting van een ander type zijn). Eenmaal de draad in de juiste positie is, kan de robot deze aansluiten met zijn schroefmachine (Figuur 2.18). Op dit moment is de draad volledig aangesloten en kan de cyclus terug van voor beginnen.



Figuur 2.17: Aansluiten eerste uiteinde



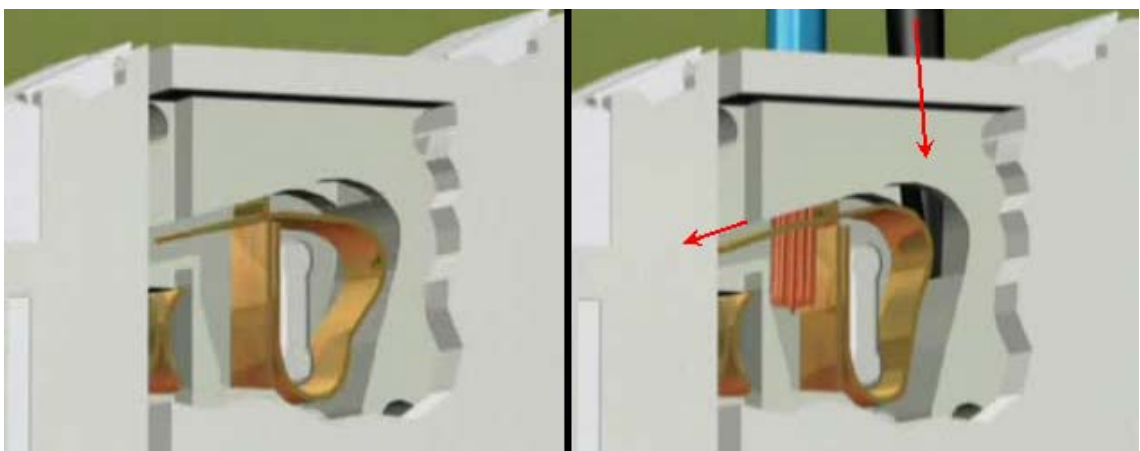
Figuur 2.18: Aansluiten tweede uiteinde

Hoewel men bij dit concept veel minder complexe tooling op de robot en XYZ tafel nodig heeft, heeft ook dit concept nog serieuze gebreken. Een eerste nadeel is het gebruik van de Komax. De machine zoals P&V deze graag wilt aankopen kost al snel 250 000 euro, een serieuze investering, zeker als men ook de randapparatuur in rekening brengt. Het aankopen van de Komax is namelijk niet voldoende, men moet tevens een buffersysteem ontwerpen die de afgewerkte draden kan opvangen. Ook dat laatste is een serieuze investering.

Daarnaast is de XYZ tafel ook geen ideale oplossing. Hoewel de lineaire bewegingen beter te voorspellen zijn dan deze van een robot, is een XYZ tafel over het algemeen erg duur, zeker als men grotere afstanden dient te overbruggen. Het concept biedt dan ook een haalbare maar erg dure oplossing. Men moet dit concept verder verfijnen en oplossingen zoeken om de dure gedeeltes uit het project te vervangen. Om het concept nog te verbeteren, is er gekeken naar een reeds bestaande oplossing. Hoewel men bij P&V eerst dacht dat een bedradingsmachine nog niet bestond, bleek er toch een bedrijf te zijn dat een soortgelijk project (zij het primitiever) had uitgevoerd.

2.3 CC-Matic van Wago

Wago, een fabrikant van klemmen en ander elektrisch materiaal heeft in 1999 reeds een robot ontwikkeld om schakelkasten automatisch te bedraden. Het ontwikkelde systeem noemt de CC-Matic. Het bedrijf vertrekt echter van een heel andere basis dan P&V. Wago heeft de CC-Matic namelijk specifiek ontworpen voor hun eigen klemmensysteem, de zogenaamde “Cage Clamp” technologie (zie Figuur 2.19). Dit is een speciaal klemmensysteem waarbij geen adereindhulzen nodig zijn. Hierdoor kan men de bedradingsmachine redelijk simpel houden.



Figuur 2.19: Cage clamp technologie Wago [YOU]

Hieronder is de werking van de CC-Matic kort uitgelegd. Voor een meer gedetailleerde uitleg kan men de promotievideo bekijken die Wago voor hun systeem heeft gemaakt. Deze is terug te vinden op onderstaande website, alsook op de cd-rom van de scriptie onder “*Videos / Wago_CC_Matic.avi*”.

<http://www.youtube.com/watch?v=Usgnbb1qmsg>

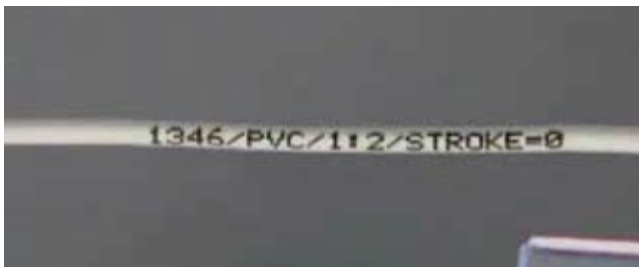
De CC-Matic bestaat uit een robot met daarop een gespecialiseerde tool (Figuur 2.20) en een voorbehandeling van de draad. Het systeem vertrekt namelijk van slechts één bobijn met ongekleurde draad. Deze ondergaat enkele behandelingen alvorens hij naar de tool op de robot gaat. Als eerste wordt de draad volledig gekleurd in de juiste kleur (Figuur 2.21). Vervolgens print de volgende unit het juiste label op de draad zoals te zien is in Figuur 2.22.



Figuur 2.20: Opbouw CC-Matic [YOU]



Figuur 2.21: De draad de juiste kleur geven [YOU]

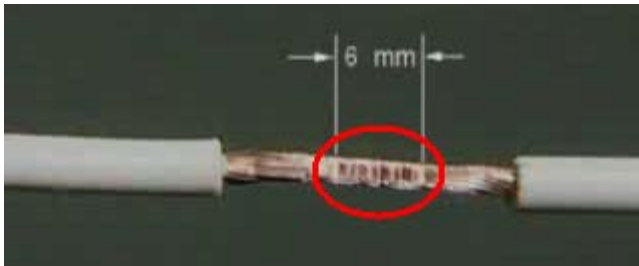


Figuur 2.22: Aanbrengen label op de draad [YOU]

Eenmaal de draad gekleurd is en voorzien van het juiste label, ontdoet het volgende station een deel van de isolatie. Dit gebeurt telkens wanneer één draad overgaat in de volgende (Figuur 2.23). Merk op dat men de draad niet volledig doorknipt, de draad blijft met zijn uiteindes steeds gekoppeld aan de vorige en volgende draad. Na het strippen, perst het volgende station een middelste deel van de draad samen. (Figuur 2.24). Dit zorgt ervoor dat de draad niet gaat rafelen eenmaal deze geknipt is.



Figuur 2.23: Gedeeltelijk strippen van de draad [YOU]

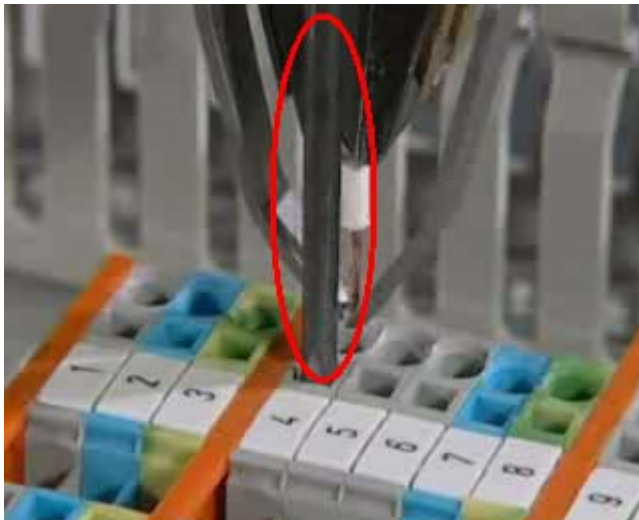


Figuur 2.24: Samenpersen draad [YOU]

Nu de draad volledig op maat is gemaakt, stuurt men deze via een doorvoersysteem naar de tool op de robot. Op de tool bevindt zich een knipsysteem dat de draad op de juiste plaats moet doorknippen (Figuur 2.25). Op dit moment heeft de tool het eerste uiteinde vast en kan de CC-Matic dit aansluiten. Om dit te doen, komt een pin uit de tool geschoten, die de Cage Clamp opendruwt zodat de CC-Matic het eerste uiteinde in de klem kan steken (Figuur 2.26).



Figuur 2.25: Knipsysteem CC-Matic [YOU]



Figuur 2.26: Aansluiten eerste draadeinde [YOU]

Enmaal het eerste uiteinde vastligt, volgt de robot de draadweg doorheen de kabelgoot. Enmaal aangekomen bij de eindpositie moet de tool het tweede uiteinde van de draad omkeren (het losse einde wijst immers naar boven). Dit gebeurt via het systeem dat te zien is in Figuur 2.27. Enmaal het uiteinde van de draad is omgekeerd, kan men ook het tweede uiteinde van de draad aansluiten waardoor de cyclus compleet is. De robot moet zich dan naar het startpunt van de volgende draad begeven waarna de cyclus opnieuw kan beginnen.



Figuur 2.27: Omkeren van de draad [YOU]

Hoewel het CC-Matic systeem bewijst dat het mogelijk is om een automatische bedradingsmachine te maken, heeft de machine van Wago ook een groot nadeel. De CC-Matic kan namelijk enkel klemmen met de Cage Clamp technologie aansluiten waardoor de machine uit puur commercieel standpunt niet zo interessant is. Veel bedrijven willen immers geen speciale klemmen in hun schakelkasten (uit principe of uit kostoverwegingen). Voor Wago is dat van minder belang, de CC-Matic is in de eerste plaats een prestigeproject en moet daarnaast ook hun klemmentechnologie promoten.

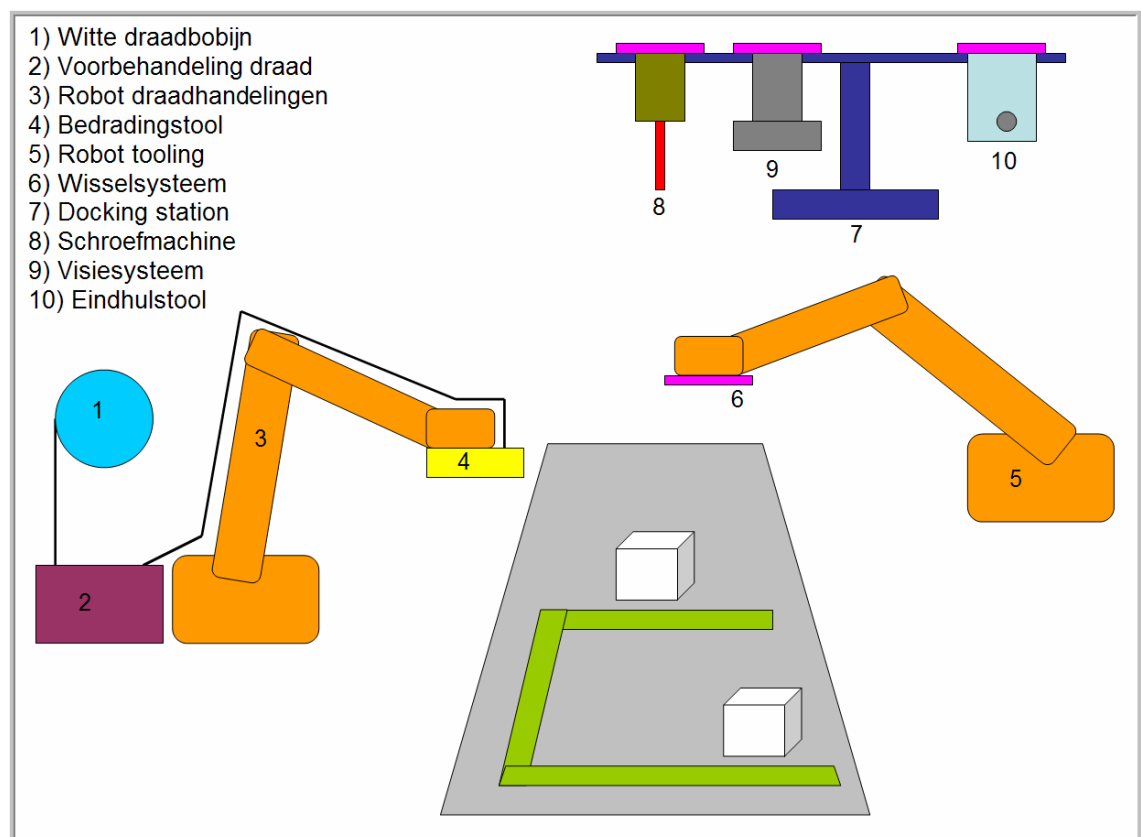
Voor P&V is dit concept echter niet voldoende, als klanten liever schroefklemmen of andere aansluitingen willen, kan P&V hun niet verplichten om toch voor de Cage Clamp technologie te kiezen. De bedradingsmachine die P&V nodig heeft, moet dan ook breder toepasbaar zijn. Toch heeft de CC-Matic enkele goede punten die mogelijk bruikbaar zijn voor dit project. Na een zoektocht op internet bleek dat er geen patenten bestaan op de CC-Matic en dat het dus mogelijk is delen van het concept over te nemen.

De draadtoevoer van de CC-Matic is namelijk zeer gemakkelijk. In de vorige concepten van het project ging men er telkens van uit dat de machine de draad reeds volledig afgewerkt moest aansluiten. Het gebruiken van een witte draad die vervolgens gekleurd, gelabeld en gestript wordt, is echter veel gemakkelijker. Dit idee is ook tijdens eerdere stadia van het project al eens ter sprake gekomen, maar het was toen van de hand gedaan omdat men op P&V niet wist dat het ook mogelijk is om een draad volledig te kleuren.

2.4 Concept 3: Twee robots + ongekleurde draad

Door een gedeelte van het CC-Matic systeem over te nemen en te combineren met de vorige concepten, bekomt men het uiteindelijke concept voor de bedradingsmachine. Dit nieuwe concept heeft de voordelen van de CC-Matic (gemakkelijke draadtoevoer) en werkt het belangrijkste nadeel weg. Dit concept is namelijk veel flexibeler, men is niet meer verplicht om Cage Clamp aansluitingen te gebruiken, ook andere verbindingen moeten mogelijk worden (zoals schroefaansluitingen).

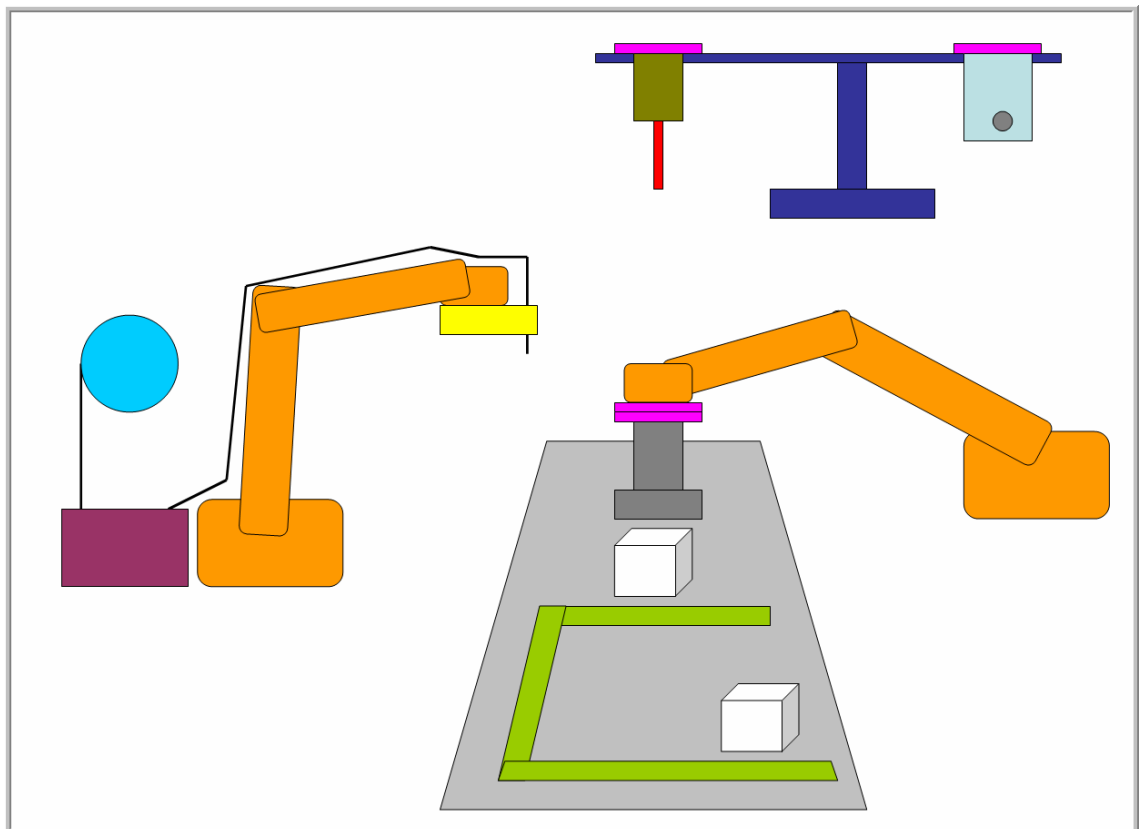
Figuur 2.28 toont het uiteindelijke concept, merk op dat dit grotendeels hetzelfde is als Figuur 2.13. Zo is de machine nog steeds opgesplitst in twee grote delen. Het linkse deel bestaat uit een robot voor draadhandelingen (3) met op het einde een gespecialiseerde bedradingstool (4). De draadtoevoer gebeurt via een draadbobijn met witte draad (1) die eerst wordt voorbehandeld in (2). Dit komt overeen met het CC-Matic systeem van Wago.



Figuur 2.28: Overzicht uiteindelijke concept

De tweede robot zorgt voor de tooling (5). Het wisselsysteem (6), docking station (7) en de tools (8) en (9) zijn hetzelfde als in het tweede concept. Er is echter nog een extra eindhulstool toegevoegd (10). Deze moet de juiste eindhuls op de draad aanbrengen (de toegevoerde draad is namelijk gewoon gestript). Merk op dat door deze tool het systeem zeer makkelijk uitbreidbaar is. In het begin kan men enkel een tool ontwikkelen om draadbusjes te bevestigen (de meest voorkomende verbinding). Hierdoor is de bedradingsmachine in het begin redelijk beperkt maar op latere tijdstippen kan men nog andere tools (voor vorken of ogen) ontwikkelen. Deze zorgen ervoor dat de machine steeds meer draden in een kast kan aansluiten.

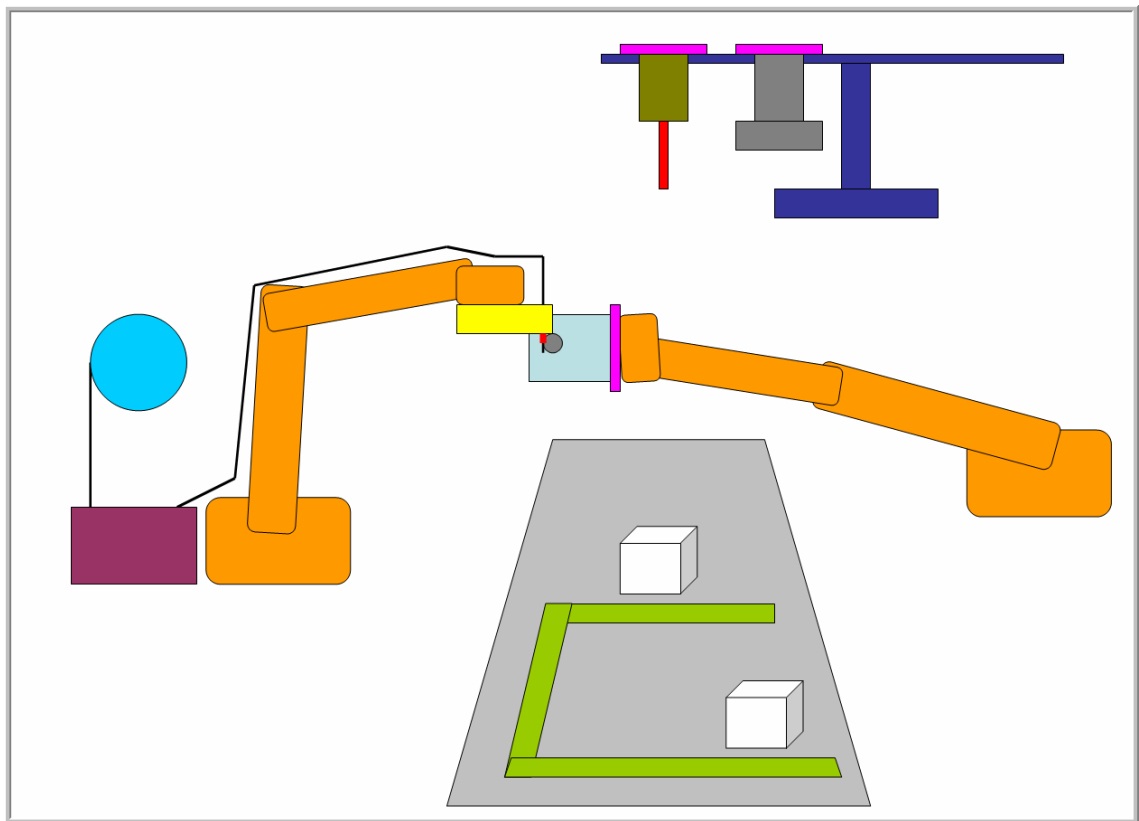
Het werkingsprincipe is grotendeels hetzelfde als het tweede concept. Eerst moet het visiesysteem alle toestellen scannen om de exacte plaats van de aansluitingen te kennen (Figuur 2.29). Eenmaal dit is gebeurd, neemt de rechtse robot de eindhulstool en brengt deze de juiste eindhuls aan op het gestripte einde van de draad (Figuur 2.30).



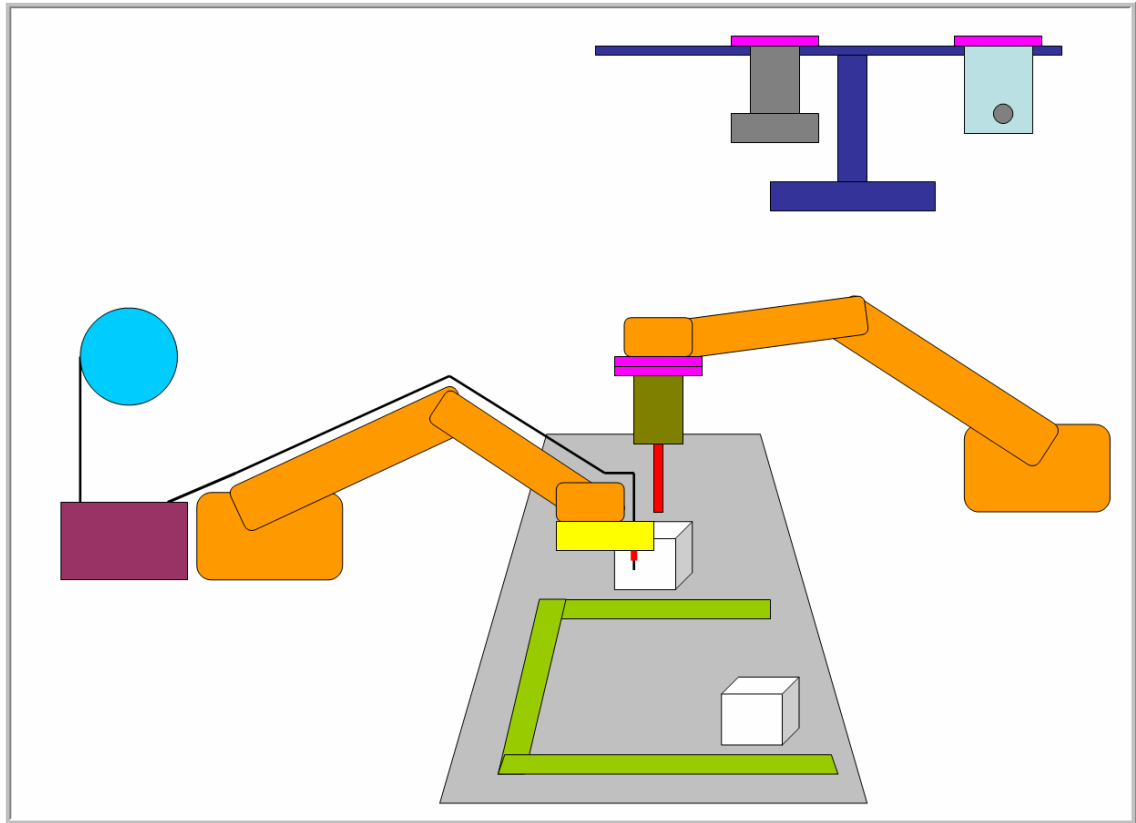
Figuur 2.29: Scannen toestellen

Vervolgens beweegt de linkse robot naar de plaats van de eerste aansluiting. Tegelijkertijd gaat de tooling robot naar het docking station om de schroevendraaier van de juiste grootte te halen. Eenmaal het eerste draadeinde in de aansluiting zit, kan de tooling robot dit aansluiten (Figuur 2.31).

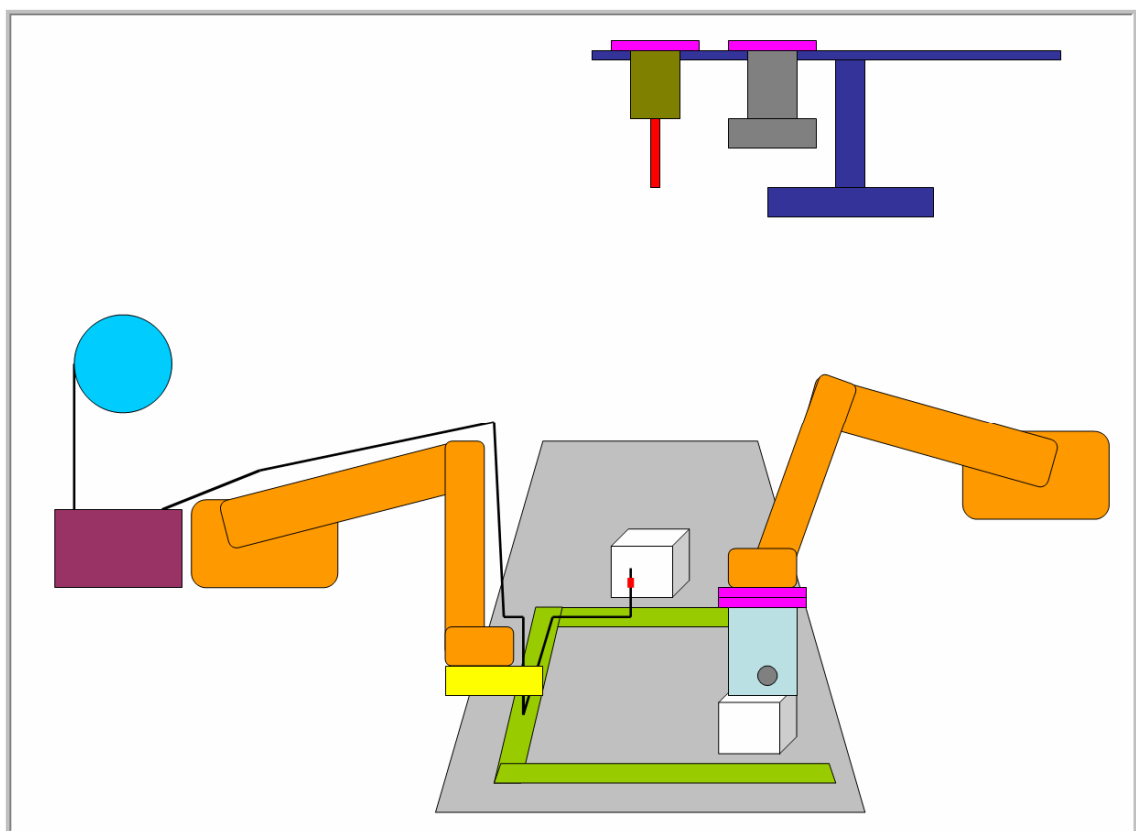
Als volgende stap moet de rechtse robot de draad via de juiste draadweg in de kabelgoot leggen. De tooling robot kan ondertussen opnieuw de eindhulstool aankoppelen om ook het tweede draadeinde van een eindhuls te voorzien (Figuur 2.32). Als laatste moet de tooling robot ook het tweede uiteinde aansluiten (Figuur 2.33). De draad is nu volledig aangesloten en de cyclus kan opnieuw beginnen.



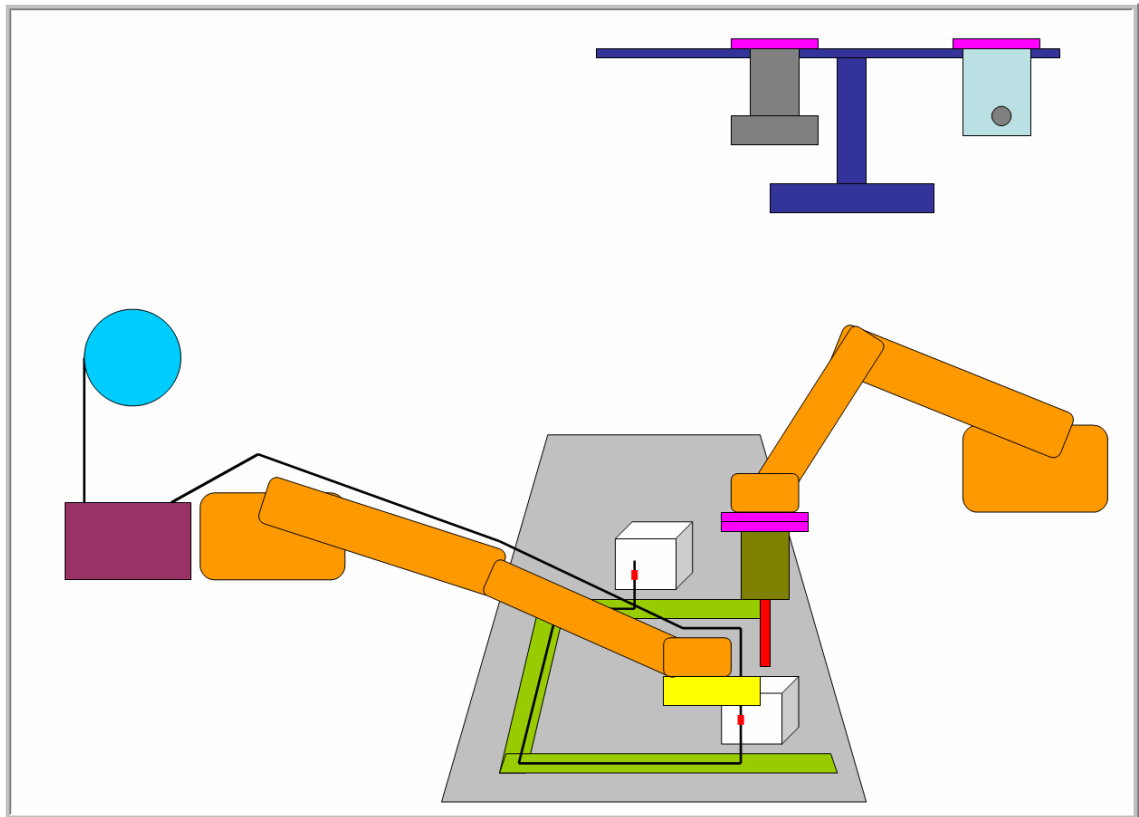
Figuur 2.30: Bevestigen eindhuls



Figuur 2.31: Aansluiten eerste draadeinde



Figuur 2.32: Draad in de kabelgoot leggen



Figuur 2.33: Tweede uiteinde aansluiten

Dit is het uiteindelijke concept voor de bedradingsmachine en combineert het eenvoudige draadvoedingssysteem van Wago met een grotere flexibiliteit wat betreft het type van aansluitingen. Zoals eerder vermeld, is dit laatste een belangrijke vereiste voor P&V. Maar ook indien men een spin-off van het project wil maken, is het zeer belangrijk dat de bedradingsmachine zo flexibel mogelijk is. Bedrijven die een bedradingsmachine kopen, willen dat de machine zich kan aanpassen aan de normen in het bedrijf en niet andersom.

2.5 Doel Masterproef

Nu het uiteindelijke concept vastligt, is het doel van deze Masterproef om een deel hiervan uit te werken. Omdat het totale project een grote investering is en er een kans bestaat dat de bedradingsmachine niet de verwachte doelstellingen haalt, is het belangrijk de investeringsrisico's zoveel mogelijk te minimaliseren. Om die reden is gekozen om de bedradingstool (4 op Figuur 2.28) uit te werken voor de Masterproef.

Dit is namelijk het meest kritische gedeelte van het project. Het ontwikkelen van de voorbehandeling van de draad neemt ook tijd en werk in beslag, maar de CC-Matic van Wago toont dat dit technisch haalbaar is. Ook het ontwikkelen van de tooling robot levert normaal niet zoveel problemen aangezien dit gewoon bestaat uit het samenvoegen van enkele standaard toepassingen (schroevendraaier, visiesysteem, wisselsysteem, ...).

Men kan dan ook concluderen dat, als het ontwikkelen van de bedradingstool lukt, ook de rest van het project grote slaagkansen heeft. Daar komt nog eens bij dat het ontwikkelen van de bedradingstool waarschijnlijk geen zeer hoge kosten met zich meebrengt. Indien de Masterproef bijvoorbeeld het ontwikkelen van de tooling robot inhield, moet men minstens al €50 000 in rekening brengen voor het aankopen van een robot. Het ontwikkelen van de bedradingstool kan met een veel kleiner budget. Mocht na de Masterproef blijken dat de bedradingstool niet werkt, dan kan het totale project nog steeds stopgezet worden zonder grote financiële verliezen. Al bij al is het risico dus relatief laag.

Vanwege de lage ontwikkelingskosten van de Masterproef, is er op P&V voor gekozen om op dit moment nog geen dossier in te dienen bij het IWT. Dit wordt gedaan op het moment dat de bedradingstool werkt en men de rest van het project moet ontwikkelen. Het is dan dat men grote investeringen moet doen en dat financiële ondersteuning handig is.

De Masterproef heeft dus als doel het ontwikkelen van de bedradingstool. In een eerste fase houdt dit in een volledig ontwerp te maken van de tool (zowel op mechanisch, elektrisch als pneumatisch gebied). Indien mogelijk hoort ook een gedeeltelijke

realisatie van de bedradingstool tot de Masterproef. In welke mate het project ook wel degelijk gerealiseerd wordt tijdens de Masterproef is echter moeilijk te zeggen. Er zit bijvoorbeeld een bepaalde onzekerheid op de levertijden van bepaalde bedrijven. Levertijden van drie weken zijn helemaal niet abnormaal, maar daardoor kan wel veel kostbare tijd verloren gaan. Om die reden ligt nog niet vast wat precies kan klaar zijn op het einde van de Masterproef. Het doel is gewoon zoveel mogelijk gerealiseerd te krijgen binnen de tijd van de Masterproef.

Alvorens aan het eigenlijke ontwerp van de bedradingstool te beginnen, zijn er eerst specificaties opgesteld. In deze specificaties staat eerst het concept kort uitgelegd en vervolgens zijn voor verschillende onderdelen (de draad, de kabelgoten,...) restricties opgelegd. Zo kunnen enkel draden tot 2.5mm² aangesloten worden en moeten de kabelgoten aan bepaalde minimum- en maximumafmetingen voldoen. Deze specificaties (te vinden onder Bijlage A) zijn opgesteld om misverstanden te voorkomen. Er staat immers duidelijk in beschreven welke zaken de bedradingstool nog moet kunnen en welke buiten het bereik vallen.

In het laatste deel van de specificaties wordt de cyclustijd voor de bedradingsmachine aangehaald. De berekening van cyclustijd is opgenomen in Bijlage H. Hiervoor is de cyclus van de bedradingsmachine opgesplitst in zijn twee hoofdelementen. De robot met de bedradingstool en de robot met tooling. Voor iedere robot zijn de belangrijkste handelingen genoteerd en is er een tijd op de handeling geplakt. Merk op dat het scannen van de toestellen niet in de tijdsmeting is opgenomen. Het scannen van de montageplaat gebeurt namelijk op voorhand en behoort dus niet tot de cyclus.

Om de tijden en snelheden te bepalen, zijn er verschillende video's van automatiseringstoepassingen bekeken, ondermeer via de website van YouTube. Door deze te bekijken, kan men namelijk schatten tegen welke snelheid robots kunnen werken, hoeveel tijd nodig is om een gereedschapswissel uit te voeren en tegen welke snelheid pneumatische componenten kunnen werken.

Een belangrijke waarde die hieruit volgt, is de snelheid die de robots moeten halen. In de berekening van de cyclustijd zijn er twee verschillende snelheden gebruikt. Indien de

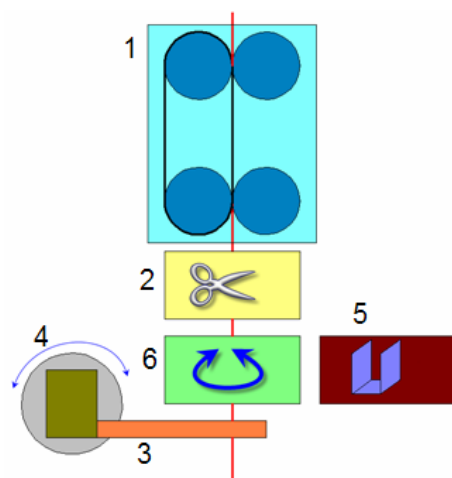
robot vrij moet bewegen (er is weinig kans op botsingen), dan is hiervoor een snelheid van 0.5m/s genomen. Indien de kans op botsingen groter is (bijvoorbeeld bij het uitlijnen van beide robots of het in de aansluiting brengen van het draadeinde), is gewerkt met een “veilige” snelheid van 0.25m/s. De totale cyclustijd volgens de berekening bedraagt 59 seconden. Merk echter op dat hier veel variatie op zit, de bepalende factoren voor de cyclustijd zijn namelijk de afstanden die de robots moeten afleggen.

Deze zijn ondermeer afhankelijk van de draadlengte: hoe langer de draad is die de robot moet aansluiten, hoe langer dit duurt. Maar ook de plaats van de draad is belangrijk. Indien beide aansluiting dicht bij het tooling station liggen, moet de tooling robot maar korte afstanden afleggen en is de cyclustijd een stuk korter. De waarden in de berekening zijn dan ook gemiddelde waarden. Omdat de werkelijke cyclustijd enorm kan variëren, is in de specificaties gesteld dat deze 90 seconden bedraagt.

3 Voorontwerp

Het doel van het voorontwerp is een basis te maken voor het uiteindelijke ontwerp. Het heeft in het begin geen nut een zeer gedetailleerd ontwerp te maken aangezien er nog te weinig is geweten over de exacte samenstelling van de bedradingstool. Men moet dan ook eerst bepalen wat de basistaken van de bedradingstool zijn. Het is hier nog niet belangrijk hoe dit gebeurt maar er moet een duidelijke opsomming van de verschillende taken zijn. Na een kleine brainstormsessie is onderstaande lijst opgesteld.

1. De draad doorheen het systeem voortbewegen
2. De draad knippen
3. De draad vastgrijpen
4. De grijper in positie brengen zodat de aansluiting kan gemaakt worden
5. De draad in de kabelgoot leggen
6. Het tweede uiteinde van de draad omkeren



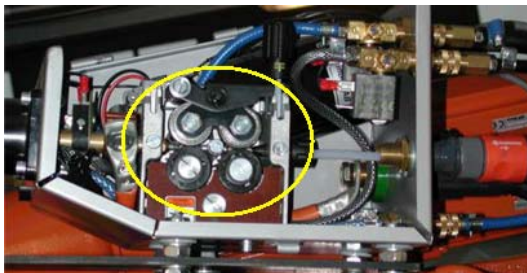
Figuur 3.1: Basistaken bedradingstool

Figuur 3.1 geeft een schematische voorstelling van de verschillende taken (de nummering komt overeen met bovenstaande lijst). Iedere taak wordt vervuld door een specifieke “unit”. Vervolgens kan men nu voor elke unit bepalen hoe deze er moet uitzien. Indien er meerdere mogelijkheden zijn, moet men overwegen welke structuur de meeste voordelen biedt (complexiteit, kost, efficiëntie, ...). De volgende delen gaan elk iets dieper in op de verschillende taken die de bedradingstool moet uitvoeren.

3.1 *Basistaken bedradingstool*

3.1.1 De draad voortbewegen

De draad moet op de juiste manier door het systeem bewegen, dit wil zeggen aan de juiste snelheid en zonder de draad te beschadigen. Hiervoor kan men het principe van een lasrobot toepassen. Het voedingsysteem van een lasrobot trekt de lasdraad van de bobijn tot de robothand door middel van tegen elkaar klemmende rollen. Op Figuur 3.2 zijn deze in het geel omcirkeld (twee paar rollen).



Figuur 3.2: Voeding lasrobot [ROT]

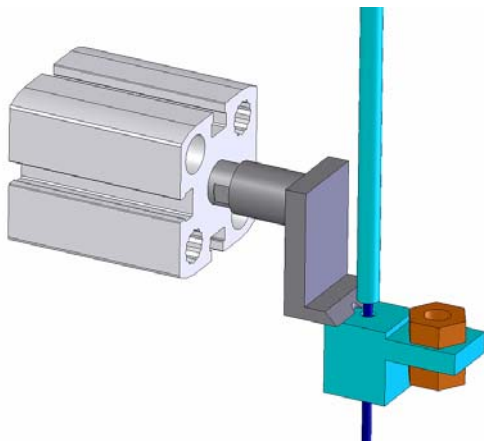
Hoewel dit systeem erg degelijk is, kan het – mits een aanpassing – veel beter werken, dit komt overeen met het systeem dat ook Wago bij zijn bedradingstool gebruikt. Figuur 3.3 toont de opstelling van het systeem. De draad klemt niet tussen twee rollen maar wel tussen een riem en meerdere spanrollen. Op deze manier worden de krachten beter verdeeld over de draad. Indien men gewoon twee rollen gebruikt, moeten de klemkrachten veel groter zijn, waardoor er mogelijk beschadiging van de draad optreedt. Door een riem te gebruiken, kan men de drukkrachten verdelen (bij Figuur 3.3 in drie delen) zodat ondanks de kleinere klemkrachten, de draad toch op een goede manier wordt voortbewogen.



Figuur 3.3: Draadvoedingssysteem Wago [YOU]

3.1.2 De draad knippen

De draad die toekomt in de bedradingstool, bestaat nog uit één lange geleider. Deze wordt pas geknipt in de tool zelf. Men moet de bedradingstool dan ook uitrusten met een automatische knipunit die voldoende sterk is om de koperen geleider door te knippen. Zelf een systeem ontwikkelen met een goedkope cilinder zoals in Figuur 3.4 is een mogelijkheid maar deze is sterk af te raden. Het ontwerpen met de juiste toleranties is een moeilijke zaak en zelfs als het ontwerp correct is, is het nog maar de vraag welke levensduur de knipunit heeft. Men kan daarom best zoeken naar kant-en-klaar knipsysteem zoals Figuur 3.5. Niet alleen is er geen ontwikkeling nodig aan dit systeem (wat veel tijd en geld vraagt), maar ook op termijn zijn de kosten lager aangezien deze systemen minder snel defect geraken.



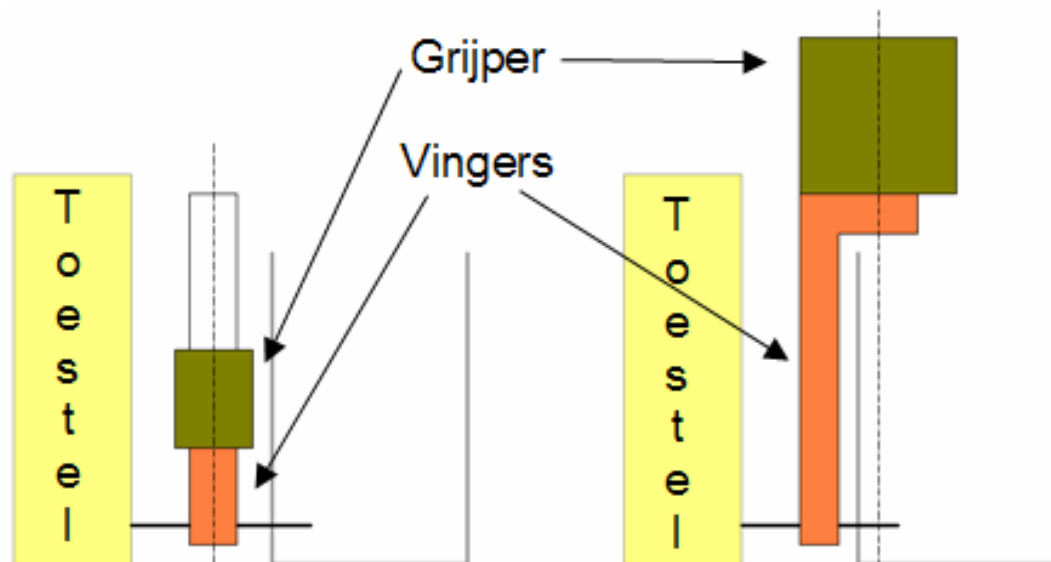
Figuur 3.4: Ontwikkeling knipsysteem



Figuur 3.5: Kant-en-klaar knipsysteem [VES p7]

3.1.3 De draad vastgrijpen

De bedradingstool moet voorzien zijn van een grijper die de draad op de juiste manier vastgrijpt. De grijper moet voldoende kracht hebben zodat hij de draad steeds stevig vastgrijpt maar mag ook niet te veel drukken omdat anders de isolatie beschadigd kan raken wat men absoluut moet vermijden. Naast de kracht van de grijper is ook zijn vingerlengte zeer belangrijk. De bedradingstool moet namelijk in de ruimte tussen de kabelgoot en het aan te sluiten toestel kunnen bewegen. Men kan hiervoor een zeer kleine grijper nemen die tussen het toestel en de kabelgoot kan, zoals getoond op het linkse deel van Figuur 3.6. Het nadeel hiervan is dat dan ook persluchtleidingen of eventueel kabels voor sensoren tussen toestel en kabelgoot komen en de kans is reëel dat deze ergens achter blijven hangen.

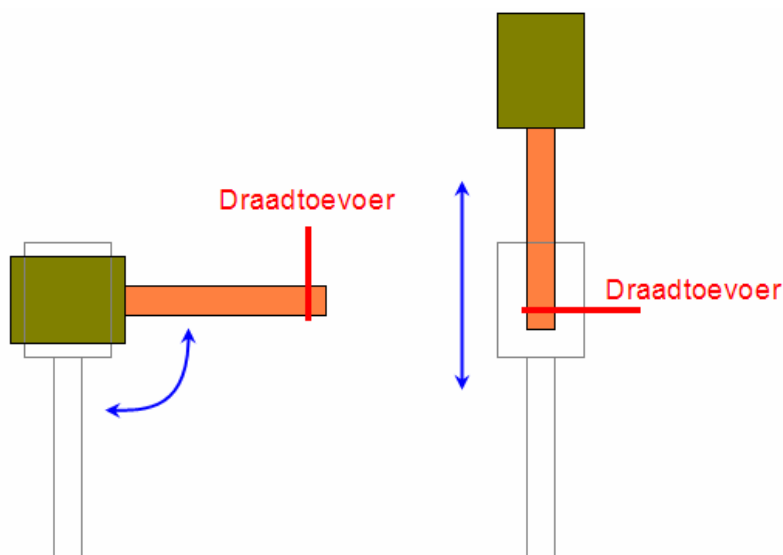


Figuur 3.6: Kleine en grote grijper

Een tweede mogelijkheid is dan ook een grijper te nemen met voldoende grote vingerlengte zodat enkel de vingers tussen het toestel en de kabelgoot komen (zie het rechtse deel van Figuur 3.6). Nadeel hiervan is dat de vingers uit het center moeten staan om de draad vast te grijpen waardoor eventuele rotaties bemoeilijkt worden. Toch is deze optie te verkiezen boven een kleine grijper vanwege de mindere complexiteit en de kleinere kans op fouten.

3.1.4 De grijper in positie brengen

De grijper moet eerst een draadeinde vastnemen en moet vervolgens voldoende afstand van de bedradingstool nemen zodat de vingers zonder hindering tussen de kabelgoot en het toestel kunnen. Dit kan gebeuren op basis van rotatie of translatie (zie Figuur 3.7). Een translatie heeft als voordeel dat het – op pneumatisch gebied – een zeer eenvoudige beweging is, rotaties zijn veel complexer. Een groot probleem bij rotaties is bijvoorbeeld de manier waarop men de persluchtleidingen legt, deze kunnen snel verwrongen raken. Toch is er voor een rotatie gekozen vanwege de goede draadtoevoer. Bij een translaterende beweging moet de bedradingstool de draad horizontaal toevoeren. Hoewel dit voor het grijpen geen probleem vormt, levert het wel moeilijkheden op als de draad in de kabelgoot moet gelegd worden. Dan is net een verticale toevoer optimaal. Ook een combinatie van zowel rotatie als translatie is mogelijk.

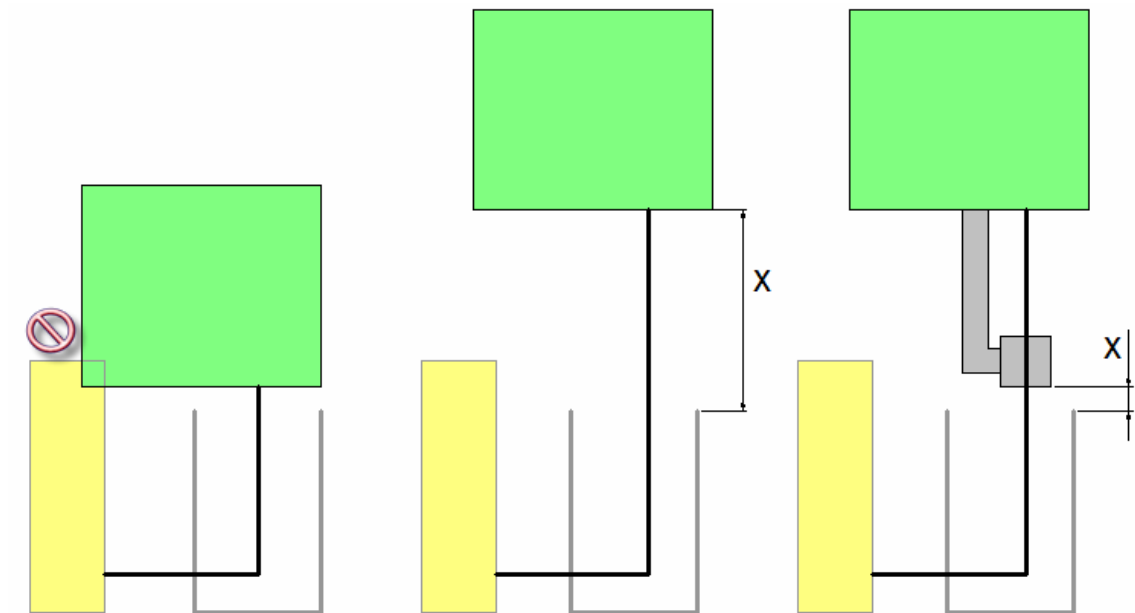


Figuur 3.7: Grijper in positie via rotatie of translatie

3.1.5 De draad in de kabelgoot leggen

De bedradingstool heeft een bepaalde omvang en dit is nadelig als hij de draad in de kabelgoot moet leggen. Indien de bedradingstool te laag over de montageplaat beweegt, bestaat er namelijk een kans op botsing met één van de toestellen (zie Figuur 3.8, linkse tekening). Om dit te vermijden moet de bedradingstool op voldoende hoogte boven de montageplaat bewegen. Er is dan echter een zeer grote vrije ruimte tussen de bedradingstool en de kabelgoot (zie x op de middelste tekening van Figuur 3.8). De kans dat de draad niet in maar langs de kabelgoot terechtkomt en zo verstrikt geraakt is

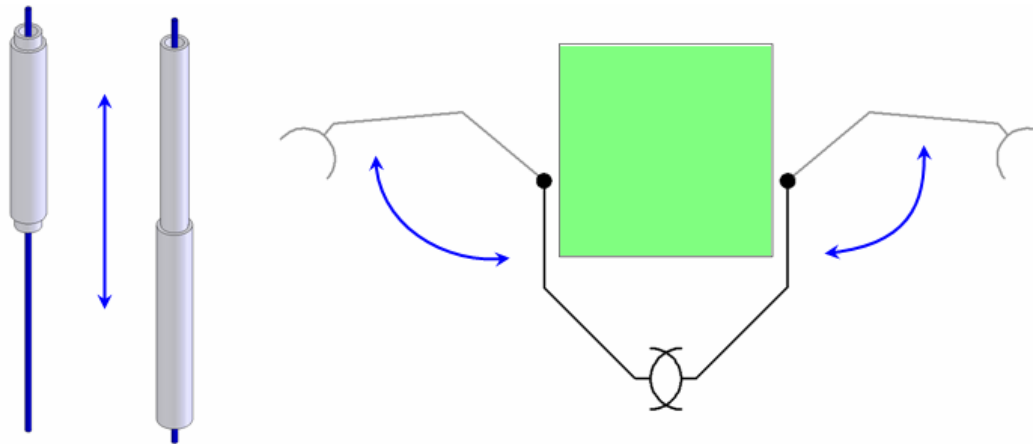
hier enorm groot. Om die reden moet de draad ondersteund worden zoals op de rechtse tekening van Figuur 3.8, de afstand x is daar opmerkelijk kleiner waardoor men de kans op fouten aanzienlijk vermindert.



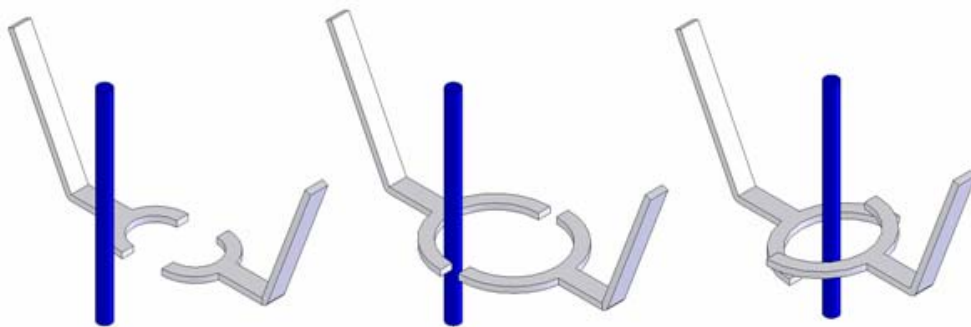
Figuur 3.8: Problemen bij het leggen van de draad in de kabelgoot

Om een verkleining van de afstand x te krijgen kan men van verschillende principes uitgaan. Een eerste mogelijkheid is het gebruiken van telescopische arm (zie linkse tekening op Figuur 3.9). Dit systeem bestaat uit twee buizen die over elkaar geschoven zijn waarvan één vast is opgesteld. De tweede buis kan naar beneden bewegen (bijvoorbeeld met een kleine persluchtcilinder) waardoor de vrije afstand van de draad verkleint. Dit is een zeer eenvoudig systeem met weinig kans op fouten dat bovendien simpel is in te bouwen op de bedradingstool.

Men kan echter ook twee armen nemen die de draad omsluiten zoals op de rechtse tekening van Figuur 3.9. Een probleem dat hierbij opduikt is de mogelijkheid dat armen naast de draad grijpen omdat deze licht verplaatst is (zie linkse tekening van Figuur 3.10). Dit kan men echter oplossen door de uiteindes van de armen groot genoeg te maken. Deze hebben hierdoor corrigerend effect: ook als de draad een licht verplaatst is, wordt deze uiteindelijk nog omsloten zoals Figuur 3.10 duidelijk maakt. Dit systeem maakt echter complexere bewegingen en is daardoor minder geschikt.



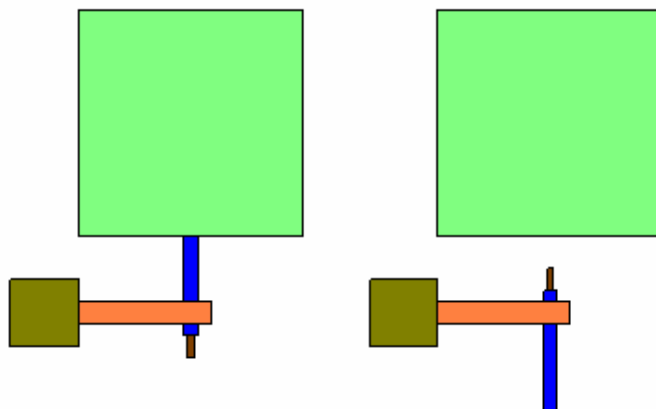
Figuur 3.9: Systemen om draad in kabelgoot te leggen



Figuur 3.10: Corrigerend effect grote grijparmen

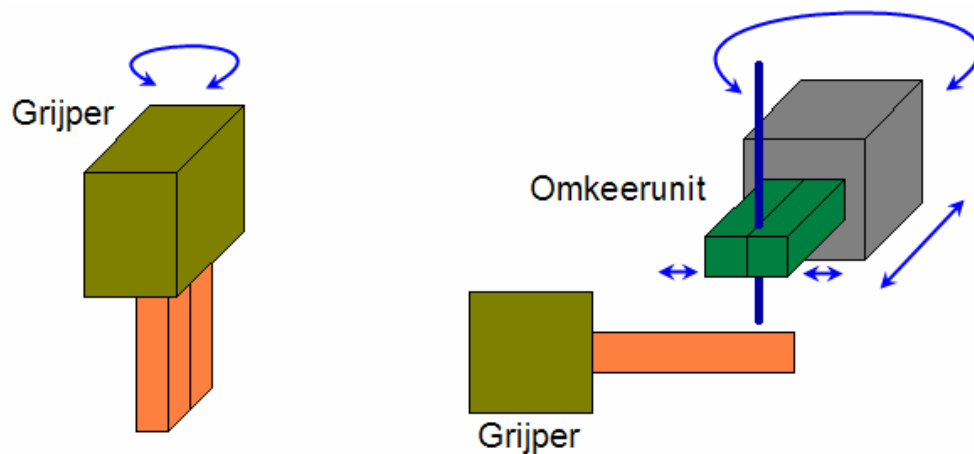
3.1.6 Het tweede uiteinde omkeren

Het eerste uiteinde van de draad komt uit de bedradingstool met het gestripte deel dat naar onderen wijst, het tweede uiteinde van de draad staat echter net omgekeerd (zie Figuur 3.11). Het is dan ook noodzakelijk dat de bedradingstool het tweede uiteinde omkeert anders kan dit niet aangesloten worden.



Figuur 3.11: Omgekeerd uiteinde draad

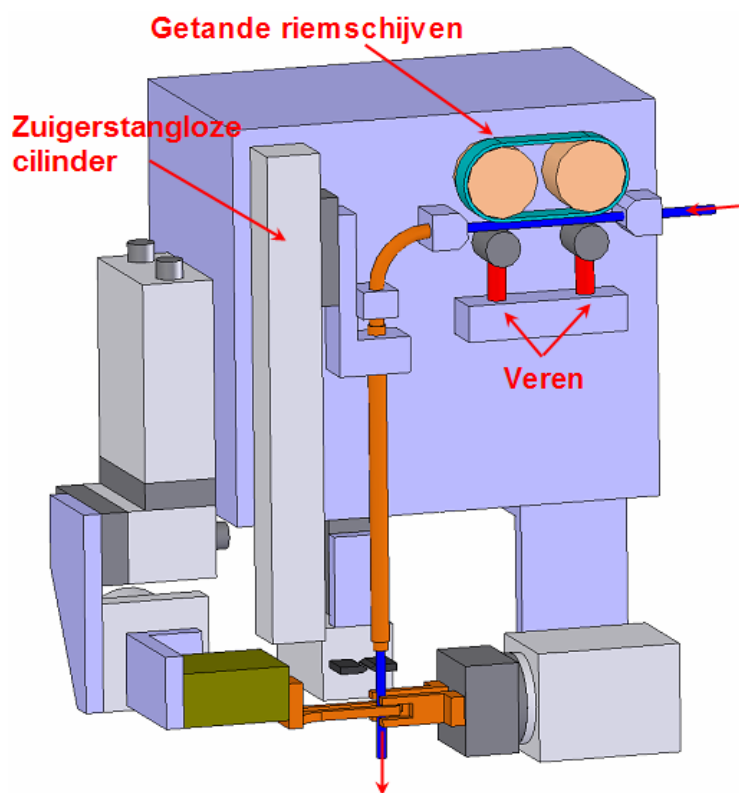
Er zijn twee manieren waarop men de draad kan omkeren. Ofwel kan de grijper in zijn geheel rond zijn as draaien zoals op de linkse tekening van Figuur 3.12 ofwel kan men een aparte omkeerunit maken (rechtse figuur). Door de grijper in zijn geheel rond te draaien maakt deze een complexe beweging (zeker als men punt 3.1.4 in beschouwing neemt). Het voordeel is wel dat er slechts één extra beweging bijkomt. Een aparte unit moet de draad kunnen grijpen, omkeren en moet mogelijk nog een translatie kunnen maken omdat hij anders de grijper hindert (zie de rechters tekening van Figuur 3.12).



Figuur 3.12: Mogelijkheden om draad om te draaien

3.2 Concept bedradingstool

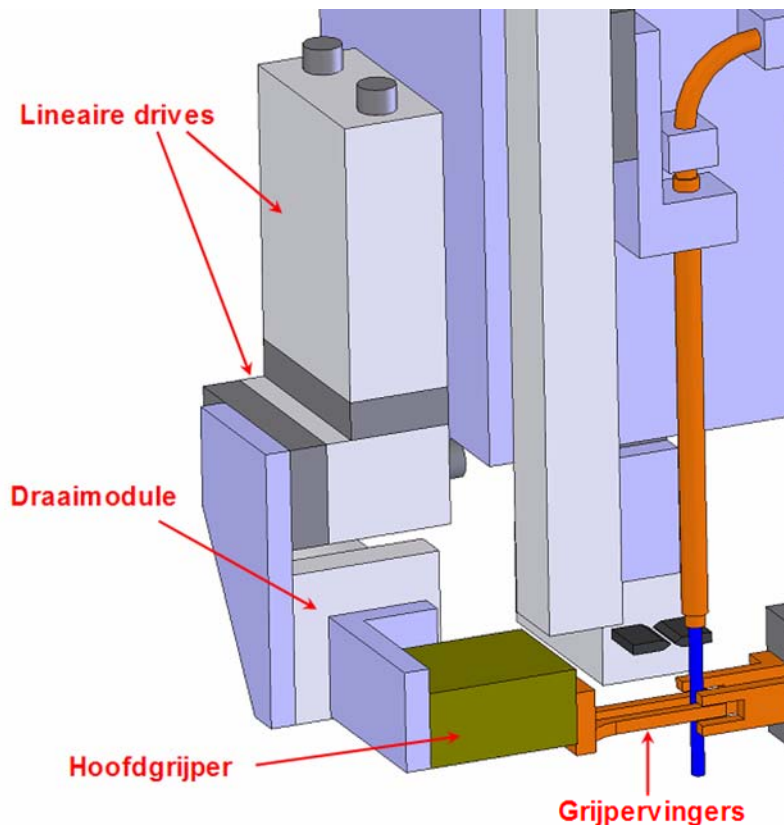
Uit de verschillende mogelijkheden van de basisunits, zijn telkens de beste gekozen en dit is samen gegoten tot een ruw ontwerp. De basis voor de bedradingstool is een frame bestaande uit aluminium platen, te zien op Figuur 3.13. De draad komt binnen langs de linkerkant en passeert het draadvoedingssysteem. Dit bestaat uit twee getande riemschijven met bijhorende riem. Veren drukken de twee kleine rollen onder de riemschijven tegen de draad aan, dit zorgt voor voldoende wrijving tussen de draad en de riem.



Figuur 3.13: Basisframe en draadgeleiding

Na het draadvoedingssysteem maakt de draad een bocht naar beneden en loopt deze door een dunne buis naar de rest van de tool. Deze buis is eigenlijk telescopisch en het buitenste gedeelte is bevestigd aan de zuigerstangloze cilinder. Deze dient om de draad in de kabelgoot te leggen.

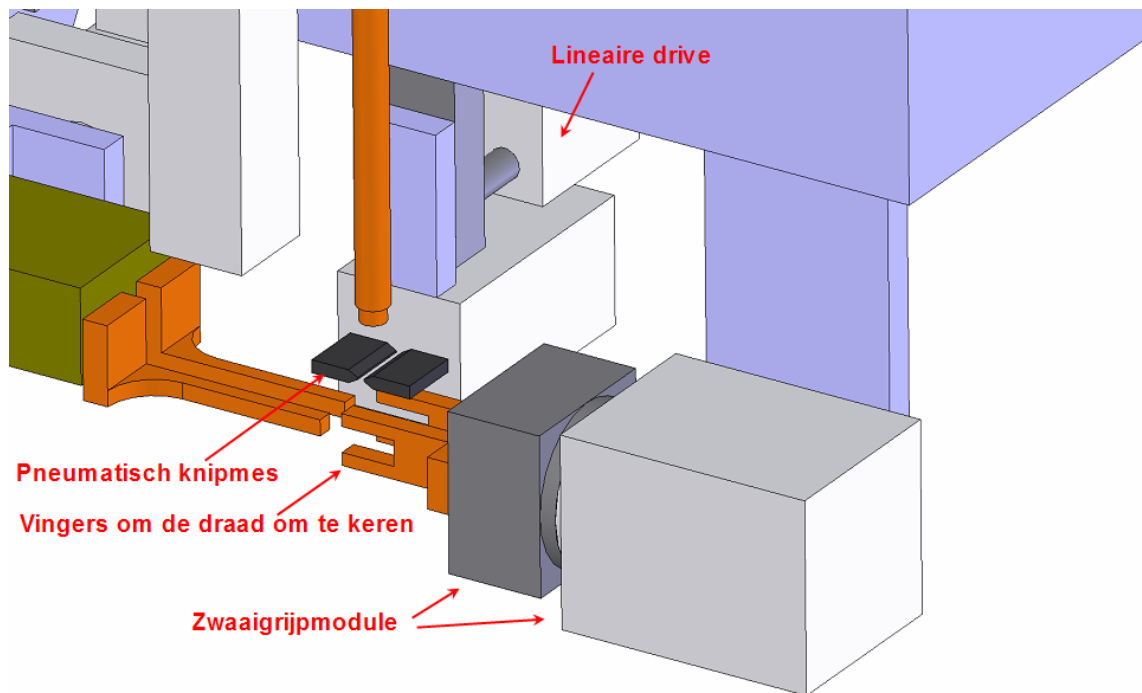
Figuur 3.14 toont de volledige grijperarm. Deze bestaat uit twee lineaire drives die de cilinder horizontaal en verticaal kunnen bewegen. Het nut van de drives wordt duidelijk wanneer men de cyclus van de bedradingstool bekijkt (iets verder in dit punt uitgelegd). Gewone cilinders komen hiervoor niet in aanmerking aangezien de zuigerstang van een gewone cilinder rond zijn as kan draaien en dit is niet gewenst. Bij een lineaire drive wordt dit verhinderd door bijvoorbeeld het gebruik van geleidingsstaven.



Figuur 3.14: Componenten grijperarm

Onder de tweede lineaire drive is een draaimodule bevestigd. Deze kan de hoofdgrijper 90° draaien. Dit is nodig aangezien de draad verticaal aankomt uit de dunne telescopische buis. De meeste aansluitingen op een schakelbord staan echter horizontaal dus de bedradingstool moet de draad dus kunnen draaien. Op de hoofdgrijpers staan twee lange vingers die ideaal zijn om in de kleine ruimte tussen een toestel en de kabelgoot te bewegen.

Onderaan de dunne buis waar de draad uitkomt, bevindt zich een pneumatisch knipmes dat de draad kan doorknippen (Figuur 3.15). Merk op dat deze bevestigd is op een lineaire drive die het volledige mes vooruit en achteruit kan bewegen. Dit is nodig omdat de messen van de meeste pneumatische knipsystemen niet ver genoeg open kunnen gaan om de telescopische buis door te laten.

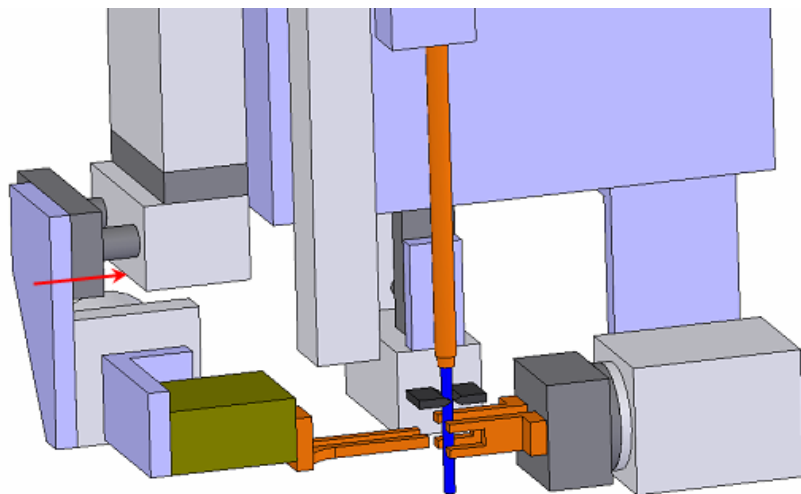


Figuur 3.15: Knipunit en omkeerunit

Net onder het pneumatische knipmes staat de omkeerunit. Deze bestaat uit een zwaai grijpmodule met aangepaste vingers. Deze module combineert een draai beweging van 180° met een pneumatische grijper. Dit is een stuk compacter dan het gebruiken van een afzonderlijke grijper en draaimodule.

De cyclus die de bedradingstool afloopt, is als volgt: de riemschijven drijven de binnenkomende draad aan tot de juiste positie waarna het pneumatische knipmes de draad op de juiste plaats doorknipt. Vervolgens wordt de draad nog iets verder gedreven totdat de grijpers van de omkeerunit hem vastgrijpen. Op dit moment maakt de hoofd grijper een horizontale beweging (de lineaire drive stond eerst uitgeschoven), waardoor de hoofd grijper de draad kan vastnemen (Figuur 3.16).

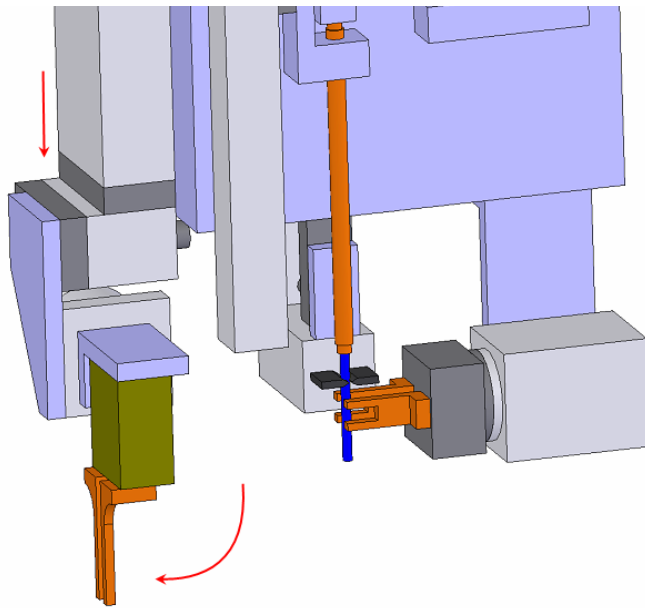
De reden waarom eerst de grijper van de omkeerunit de draad vast neemt, is de volgende: de hoofdgrijper mag maar een zeer beperkte slag hebben omdat bijvoorbeeld bij klemmenstroken de aansluitingen heel dicht op elkaar liggen en de hoofdgrijper deze niet mag beschadigen tijdens het opengaan. Maar men kan ook verwachten dat de draad die uit de telescopische buis komt licht kan afbuigen bij het naar beneden bewegen. Indien deze krulling te groot is, zou de hoofdgrijper naast het losse uiteinde van de draad grijpen. Om dit te voorkomen neemt eerst de ander grijper (met een veel grotere slag) de draad klemvast zodat de hoofdgrijper de draad altijd juist vast neemt.



Figuur 3.16: Vastgrijpen eerste uiteinde

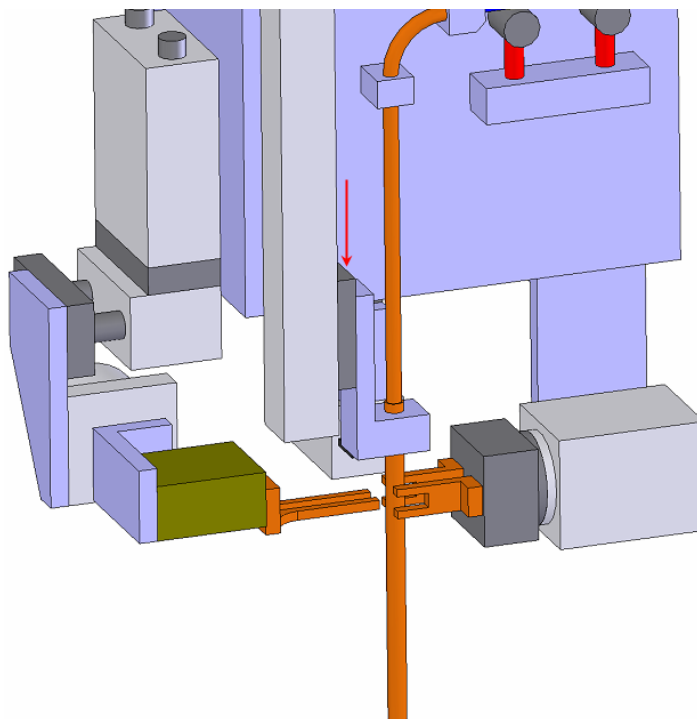
Vervolgens moet de hoofdgrijper in positie bewegen om de aansluiting te maken. Allereerst draait hiervoor de draaimodule 90° naar beneden (Figuur 3.17). Op dit moment moet tevens de andere robot komen om het gepaste adereinde op de draad te bevestigen (zie het concept in punt 2.4 voor meer uitleg)

Dit is echter nog niet voldoende. Er kunnen immers hoge toestellen op een schakelbord staan en deze kan men niet zo aansluiten. De verticale afstand tussen het losse draadeinde en de omkeerunit is namelijk veel te klein. Indien de bedradingstool het draadeinde in de aansluiting wilt brengen, is de kans reëel dat de omkeerunit andere toestellen op het bord raakt. Om die reden is de verticale lineaire drive toegevoegd, deze moet botsingen voorkomen. Eenmaal de lineaire drive is uitgeschoven, kan de tweede robot het eerste uiteinde aansluiten.



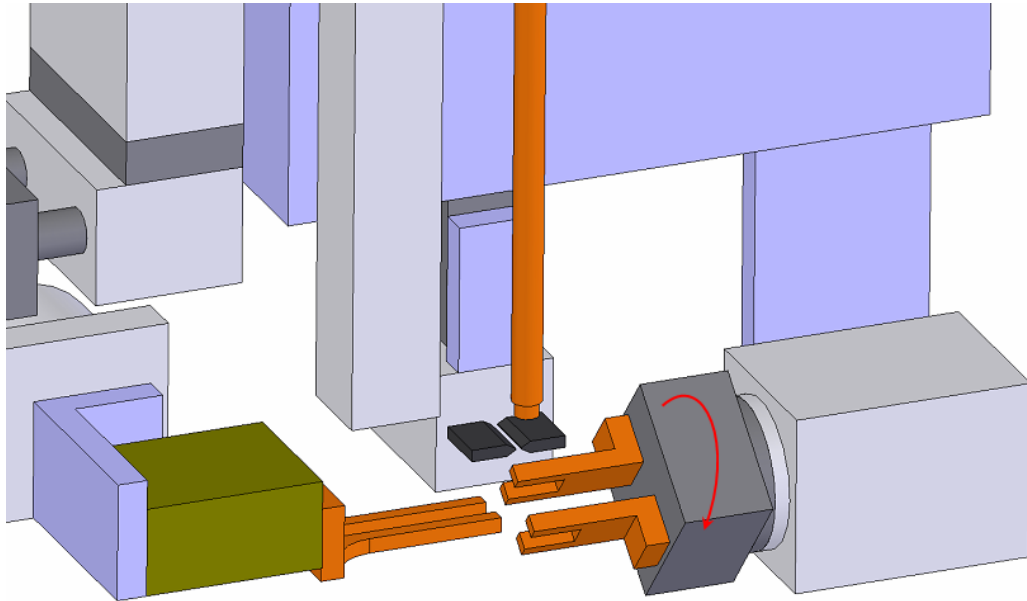
Figuur 3.17: In positie brengen eerste uiteinde

Als het eerste uiteinde aangesloten is, beweegt de grijperarm zich terug naar boven. Vervolgens komt de zuigerstangloze cilinder met telescopische buis op naar beneden om de draad in de kabelgoot te leggen. Het nut van deze telescopische buis staat beschreven in punt 3.1.5.



Figuur 3.18: Draad in de kabelgoot leggen

Enmaal de bedradingstool zijn eindbestemming heeft bereikt, komt de telescopische buis terug naar beneden. Nadat de omkeerunit de draad heeft vastgegrepen, kan het pneumatische knipmes de draad doorknippen. Op dit moment is de draad die in de kabelgoot ligt, gescheiden van de draad in de telescopische buis en kan de omkeerunit het uiteinde omkeren (Figuur 3.19). Vervolgens kan de hoofdgrijper het uiteinde weer vastgrijpen en kan de bedradingstool ook het tweede uiteinde aansluiten.



Figuur 3.19: Draadeinde omkeren

Merk op dat er ook een animatievideo van de werkcyclus te vinden is op de cd-rom van de scriptie onder “*Videos / Finaal_Ontwerp_Werkcyclus.avi*”. Deze video is echter wel gemaakt met het gedetailleerde ontwerp en niet met dit ruwe ontwerp.

4 Bepaling actuatoren

Nu het voorontwerp van de bedradingstool klaar is, moet men bepalen welke componenten (meer precies de actuatoren) allemaal nodig zijn. Pas als dit gedaan is, kan men met het definitieve ontwerp beginnen. Om het juiste type en grootte van de componenten te bepalen, is gekeken naar de belangrijkste parameters van iedere onderdeel (welke krachten kunnen optreden, welke snelheden moet men halen, ...)

Als leverancier voor de actuatoren is Festo als enige leverancier gekozen. Hoewel dit niet altijd de meest logische keuze lijkt (zeker voor elektrische componenten bestaan er logischere alternatieven dan Festo), is het voor de Masterproef toch handig dat alles van dezelfde leverancier is. Dit is gedaan om meerdere redenen.

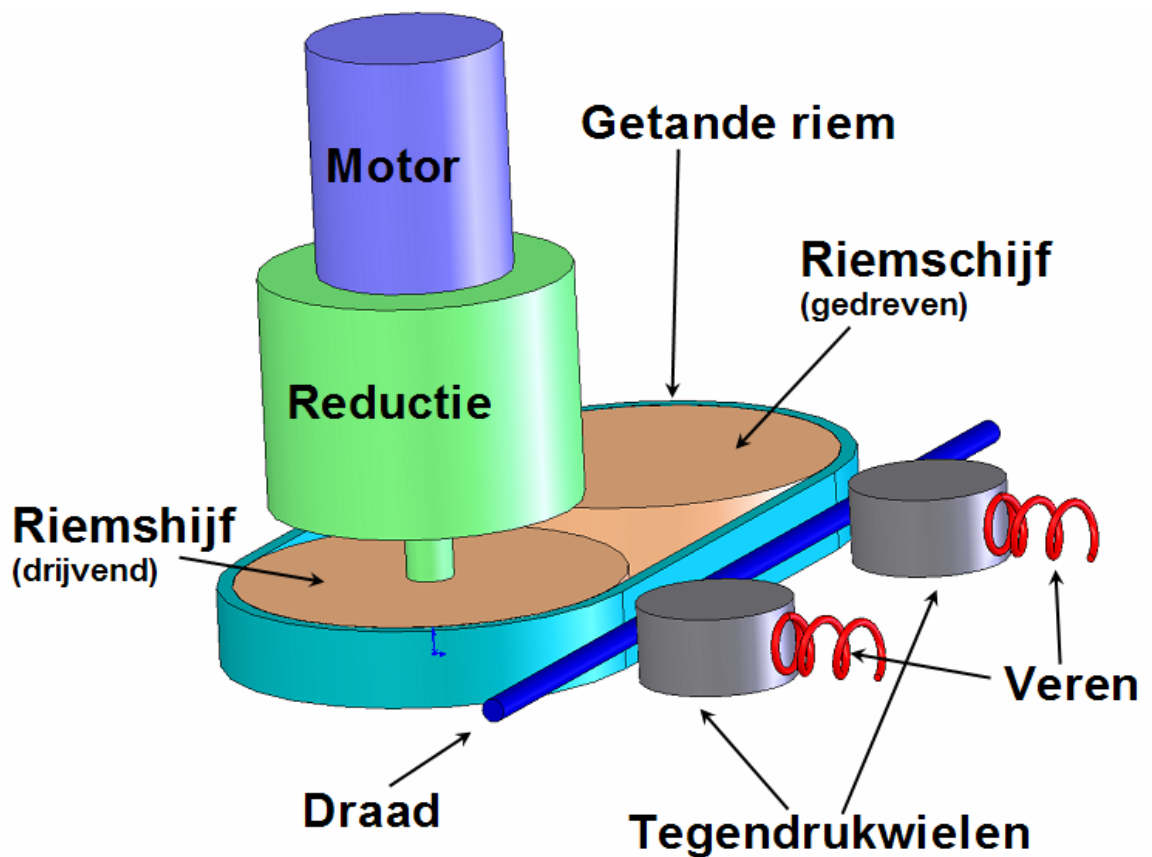
- Festo wereldwijd bekend voor hun degelijke pneumatische toestellen.
- Door alle componenten van één leverancier te kiezen, is het veel gemakkelijker om alles samen te doen werken. Dit is zeker belangrijk naar het sturingsgedeelte toe.
- Indien er problemen opduiken, hoeft men slechts met één leverancier contact op te nemen.

De datasheets van alle componenten zijn opgenomen op de cd-rom van deze scriptie onder de map "*Documentatie*". Alle datasheets als bijlage invoegen zou de scriptie teveel verzwaren aangezien dit in totaal enkele honderden pagina's zijn. Niet alleen van de actuatoren maar ook van de rest van de pneumatische en elektrische componenten zijn de datasheets opgenomen op de cd-rom.

4.1 Draadvoedingssysteem

4.1.1 Opstelling

De draad moet doorheen het systeem voortgestuwd worden. Dit gebeurt door middel van een riem die op een getande riemschijf loopt. Een kleine gelijkstroommotor, met bijhorende reductie, drijft de riemschijf aan met daarop de getande riem. De twee tegendrukwielen (voor elke riemschijf één), drukken de draad tegen de riem aan. Hierdoor ontstaat wrijving tussen de riem en de draad. De optredende wrijvingskracht zorgt ervoor dat de draad meebeweegt met de bewegende riem. Figuur 4.1 toont de schematische opstelling van de belangrijkste componenten.

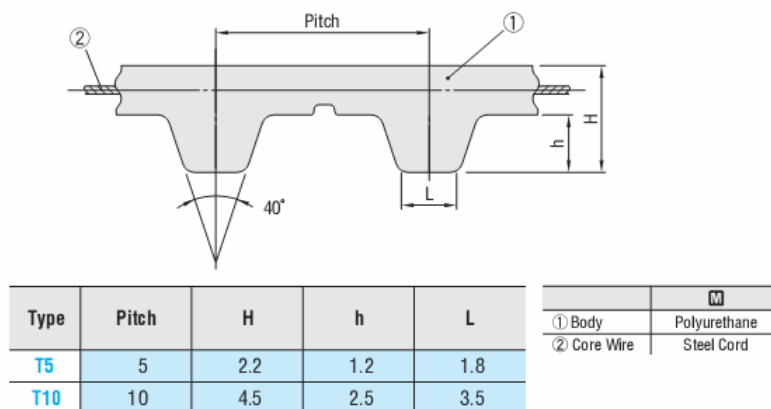


Figuur 4.1: Schematische opstelling draadvoedingssysteem

4.1.2 Riemschijf, riem en tegendrukwielen

Als leverancier van de riemschijven en bijhorende riem is voor Misumi gekozen. Dat bedrijf heeft een uitgebreid gamma aan producten met betrekking tot synchrone aandrijvingen en ander klein mechanisch materiaal. Als eerste moet het overbrengingssysteem gekozen worden. Hoewel sommige leveranciers speciale riemen kunnen leveren met een coating (die voor extra wrijving zorgt), heeft Misumi deze optie niet. Dit is echter niet nodig omdat de wrijvingscoëfficiënt tussen een standaardriem en een draad hoog genoeg is (zie proefopstelling in Bijlage B1). Het systeem kan dus perfect werken met een gewone getande riem voor vermogenoverdracht.

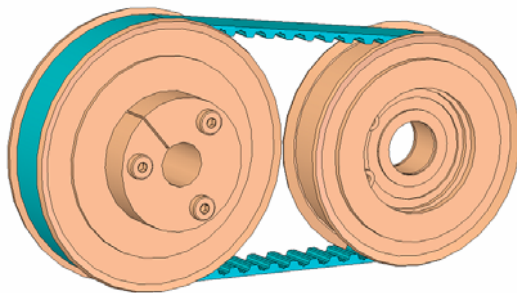
De dimensies van de tanden bepalen de verschillende componenten in het systeem, er is gekozen voor tandtype T5. Figuur 4.2 toont de dimensies van de tanden (alle waarden zijn in millimeter). Dit is een standaardprofiel, gebruikt voor het overbrengen van kleine vermogens. Hoewel de exacte riemlengte nog niet vastligt, gaan beide riemschijven redelijk dicht bij elkaar liggen om tot een kleinere constructie te komen. Uit de catalogus van Misumi blijkt dat er voldoende standaardlengtes beschikbaar zijn om dit te verwezenlijken.



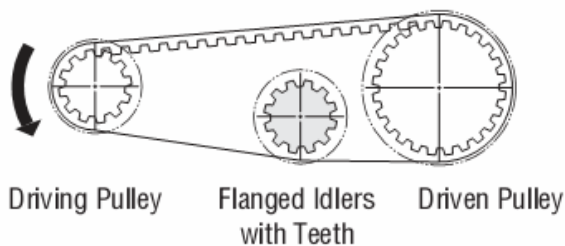
Figuur 4.2: Dimensies T5 [MIS p1527]

De drijvende riemschijf in het systeem is tevens van het type T5 en heeft 36 tanden. Dit zorgt voor een kopdiameter (plaats waar de riem ingrijpt) van 56.45mm. Om de drijvende riemschijf op de as van de reductie te bevestigen, is een klembus gebruikt. Dit klemsysteem is standaard verkrijgbaar op de riemschijven van Misumi. De gedreven riemschijf heeft 30 tanden en bevat een lager waardoor men geen aparte lager moet

kopen en inbouwen. Beide riemschijven hebben een flens zodat de riem niet van de riemschijven kan aflopen in axiale richting. Hoewel het voor kleine installaties voldoende is om slechts één riemschijf van een flens te voorzien, behoren deze tot het standaardgamma, vandaar dat voor twee riemschijven met flens is gekozen. Figuur 4.3 toont de opstelling. Merk op dat er geen spanrol is aangebracht die voor spanning in de riem zorgt. Omdat beide riemschijven erg dicht bij elkaar liggen en deze getand zijn, is er geen kans op slip, het aanbrengen van een spanrol, zoals gedaan in Figuur 4.4, is dus niet nodig.

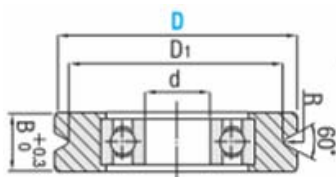


Figuur 4.3: Opstelling riemschijven



Figuur 4.4: Riemschijven met spanrol [MIS p1518]

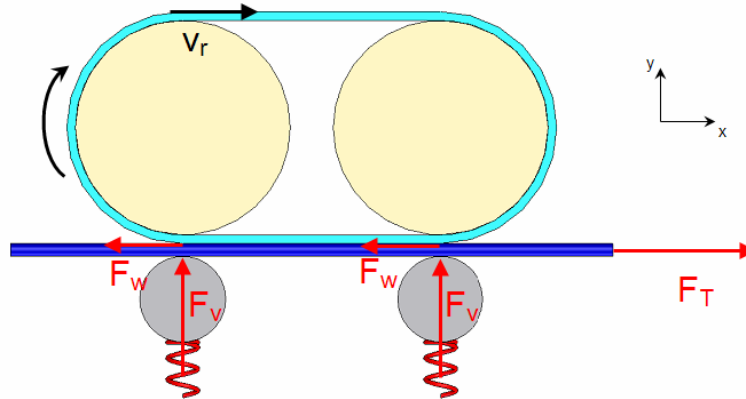
Het laatste deel van de overbrenging zijn de tegendrukwielen die de draad tegen de riem moeten drukken. Hiervoor zijn kleine lagers van Misumi gekozen van het type EVB 30. Deze hebben een groef in het midden wat voor een betere draadgeleiding zorgt. Figuur 4.5 toont de gegroefde lagers van Misumi.



Figuur 4.5: Gegroefde lagers Misumi [MIS p1776]

4.1.3 Bepaling veren

De krachten die optreden tijdens het voorstuwten van de draad zijn belangrijk bij de berekening van de veren (voor de tegendrukwielen), de motor en de reductie. Figuur 4.6 toont de verschillende krachten die op de draad staan wanneer deze beweegt in het systeem.

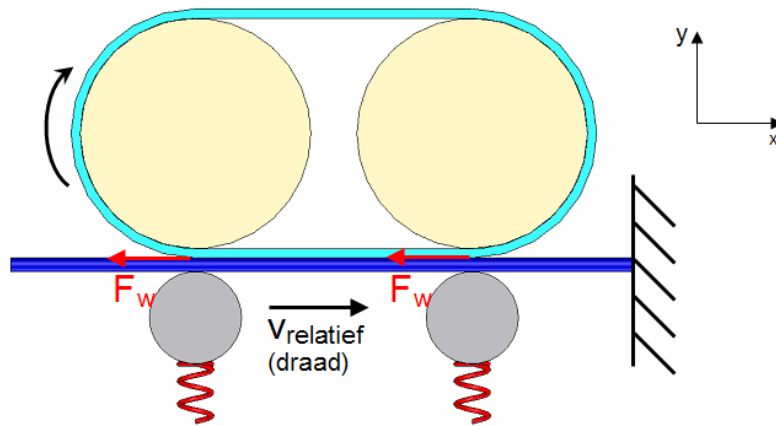


Figuur 4.6: Krachten op draad in voedingsysteem

Hierin is:

<i>Symbol</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
$F_T =$	<i>Trekkraft die de draad ondervindt (leidingen, bochten, ...)</i>	$[N]$
$F_v =$	<i>Veerkracht</i>	$[N]$
$F_w =$	<i>Wrijvingskracht op de draad (t.g.v. veerkracht)</i>	$[N]$
$v_r =$	<i>Omtrekssnelheid van de riem</i>	$[m/s]$

De richting van de wrijvingskracht wordt bepaald door de relatieve beweging tussen de draad en de riemschijf. Indien alles goed verloopt, is de relatieve snelheid nul (draad en riem lopen synchroon). Als de draad onvoorziene obstakels tegenkomt of ergens klemt, ontstaat er wel een relatieve beweging (de draad slipt door), zie hiervoor ook Figuur 4.7. De relatieve snelheid van de draad is nu naar links gericht, waardoor de wrijvingskrachten volgens de positieve x-richting moeten liggen (tegen de relatieve beweging in).



Figuur 4.7: Richting wrijvingskrachten op draad

De installatie moet de draad zo nauwkeurig mogelijk voortbewegen. Het is dan ook belangrijk dat de draad niet over de riem kan slippen, met andere woorden: de relatieve beweging tussen draad en riem moet steeds nul zijn. De totale wrijvingskracht moet dus groter zijn dan de trekkracht die de draad ondervindt van voorgaande bochten, leidingen en overgangen. Via de wrijvingscoëfficiënt μ kan vervolgens de veerkracht berekend worden. Zie Figuur 4.7 voor de richting en benaming van de verschillende krachten.

$$2 * F_w \geq F_T \quad \text{Formule 4.1}$$

$$F_w = \mu * F_v \quad \text{Formule 4.2}$$

Formule 4.2 in Formule 4.1 substitueren en uitwerken naar F_v :

$$F_v \geq \frac{F_T}{2 * \mu} \quad \text{Formule 4.3}$$

Om de waarde van F_T en μ te bepalen zijn enkele proeven gedaan, de volledige uitwerking hiervan staat beschreven in Bijlage B2. De bekomen waardes invullen geeft een minimumwaarde voor de veerkracht.

$$F_v \geq \frac{50N}{2 * 0.67}$$

$$F_v \geq 37.31N$$

Via de wet van Hooke (Formule 4.4) kan men nu de veerconstante k bepalen en het juiste type veer selecteren aan de hand van de indrukking. Om constructieve redenen moet de indrukking tussen de 5 en 10mm zijn.

$$F_v = k * x$$

Formule 4.4

Hierin is:

<i>Symbol</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
$F_v =$	<i>Veerkracht</i>	$[N]$
$k =$	<i>Veerconstante (bepaalt de stijfheid van de veer)</i>	$[N/mm]$
$x =$	<i>De indrukking van de veer</i>	$[mm]$

Als leverancier voor de veren is Misumi gekozen, type SWL6-30. Deze veer heeft een originele lengte van 30mm en een k waarde van 6.5N/mm. Een indrukking van 7.5mm (25% vervorming) zorgt dan voor volgende veerkracht (Formule 4.4) en bijhorende wrijvingskracht (Formule 4.2)

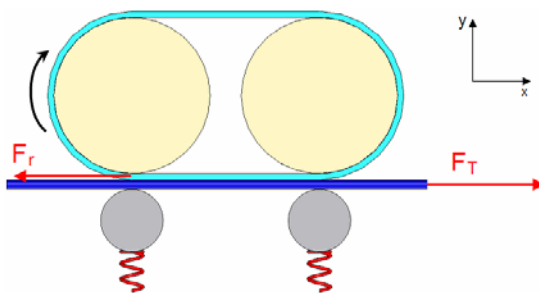
$$F_v = k * x = 6.5N/mm * 7.5mm = 49N$$

$$F_w = \mu * F_v = 0.67 * 49N = 32.8N$$

Dit is de wrijvingskracht die één veer kan leveren. De totale wrijvingskracht is tweemaal groter (65.6N), aan de voorwaarde van Formule 4.3 is dus voldaan.

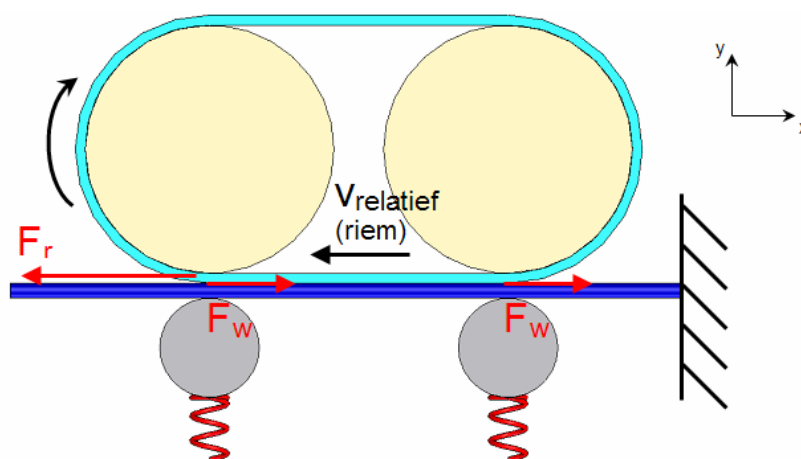
4.1.4 Reductie en motor

Om de motor en reductie te bepalen, is F_r - de kracht in de getande riem - belangrijk. F_r moet namelijk steeds groter zijn dan F_T want enkel dan zal de draad vooruit getrokken worden door het systeem (zie Figuur 4.8).



Figuur 4.8: Krachten op getande riem

Indien alles onder normale omstandigheden werkt, is het voldoende te stellen dat F_r groter moet zijn dan F_T . Dit houdt echter geen rekening met mogelijke fouten of storingen. Wanneer de draad gehinderd wordt (of in het uiterste geval volledig blokkeert), kan F_T fors stijgen. De motor moet echter zo gedimensioneerd zijn dat deze niet defect geraakt bij een kleine storing. Figuur 4.9 toont de krachten die optreden op de riem indien de draad volledig blokkeert in de installatie. Merk op dat de wrijvingskracht hier naar links gericht is, in tegenstelling tot Figuur 4.7. De reden hiervoor is dat ditmaal de beweging van de riem t.o.v. de draad belangrijk is en niet omgekeerd.



Figuur 4.9: Richting wrijvingskrachten op getande riem

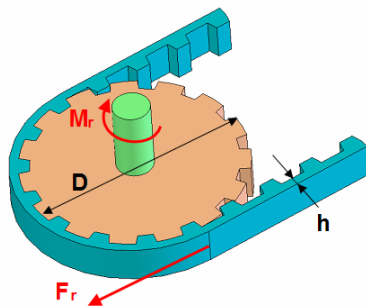
Indien F_r niet groot genoeg is, kan deze de wrijving niet overwinnen en blijven de riemschijven stilstaan. Hierdoor blokkeert de motor, waardoor deze zeer hoge stromen gaat vragen. Als gevolg hiervan kunnen de wikkelingen doorbranden wat natuurlijk niet gewenst is. Om dit te voorkomen, moet de motor zo gedimensioneerd worden dat F_r steeds groter is dan de wrijvingskrachten. In geval van draadblokkering kan de riem dan slippen over de draad zodat de motor gevrijwaard blijft van schade. Aangezien de wrijvingskrachten gekend zijn, kan men ook de minimale F_r bepalen.

$$F_r \geq 2 * F_w$$

Formule 4.5

$$F_r \geq 65.6N$$

Voor de verdere berekeningen is gesteld dat F_r steeds groter dan 80N moet zijn. Deze marge is genomen omdat de bepaling van F_r en μ experimenteel gebeurd zijn en deze waarden dan ook alles behalve exact zijn. Door voldoende marge te nemen, is het zeker dat de motor nooit het zwakste punt in de schakel is. Formule 4.6 bepaalt het moment dat nodig is op de as om de kracht van 80N te verkrijgen. Figuur 4.10 toont de opstelling met de verschillende afmetingen. Voor de bepaling van de diameter en de riemdikte, zie 4.1.2.



Figuur 4.10: Moment bij getande riem

Hierin is:

<i>Symbol</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
$M_r =$	<i>Moment op de as van de riemschijf</i>	<i>[Nm]</i>
$F_r =$	<i>Trekracht in de riem</i>	<i>[N]</i>
$D =$	<i>Diameter van de riemschijf</i>	<i>[mm]</i>
$h =$	<i>Riemhoogte</i>	<i>[mm]</i>

$$M_r = F_r * \left(\frac{D}{2} + h \right)$$

Formule 4.6

$$M_r = 80N * \left(\frac{56.45\text{mm}}{2} + 1\text{mm} \right) * \frac{1}{1000\text{mm/m}}$$

$$M_r = 2.34\text{Nm}$$

Naast het moment is ook het toerental van de uitgaande as belangrijk. In de berekening van de cyclustijd (zie ook punt 2.5) is gesteld dat de draad minimum tegen 0.25m/s moet kunnen voortbewegen, het is echter verstandig om hier een kleine marge op te nemen zodat men de snelheid van de robot in een later stadium nog kan verhogen (de

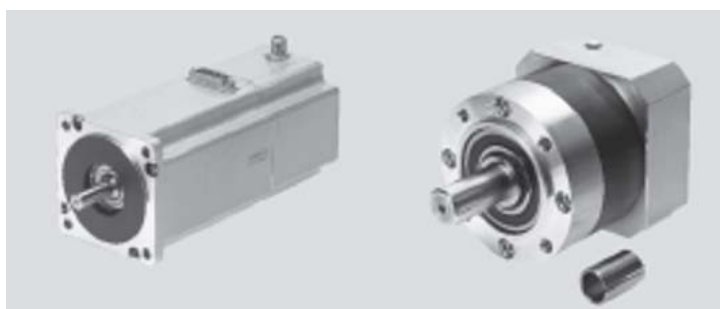
draad moet een snelheid van 0.35m/s kunnen halen). Via Formule 4.8 kan men het minimum toerental berekenen.

$$v_r = \frac{\pi * (D + 2 * h) * n_{\text{riemschijf}}}{60 * 1000} \quad \text{Formule 4.7}$$

$$n_{\text{riemschijf}} = \frac{60 * 1000 * v_r}{\pi * (D + 2 * h)} \quad \text{Formule 4.8}$$

$$n_{\text{riemschijf}} = \frac{60\text{s/min} * 1000\text{mm/m} * 0.35\text{m/s}}{\pi * (56.45\text{mm} + 2 * 1\text{mm})} = 117 / \text{min}$$

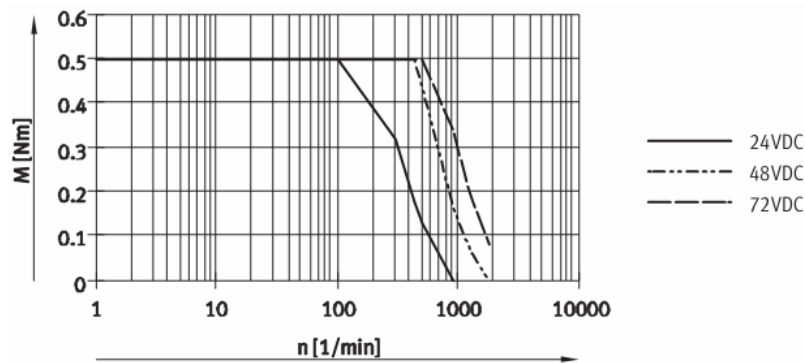
De motor en reductie komen beide van het merk Festo. Er is voor een stappenmotor gekozen omdat dit type motoren enkele belangrijke voordelen heeft ten opzichte van conventionele gelijkstroommotoren. Stappenmotoren hebben namelijk het hoogste koppel bij lage toerentallen en kunnen ook continue aan zeer lage toerentallen draaien. Dit heeft als voordeel dat de overbrengingsverhouding van de reductie erg klein kan zijn. Uit de catalogus van Festo is de stappenmotor EMMS-ST-42 (Figuur 4.11, links) gekozen met bijhorende reductie EMGA-40-P-G-5 met een overbrengingsverhouding van 1:5 (Figuur 4.11, rechts). Het nominale koppel van de stappenmotor (0.5Nm), wordt dus vijf maal verhoogd door de reductie wat een totaal uitgaand moment van ongeveer 2.5Nm oplevert, dit ligt boven de 2.34Nm die nodig is voor de toepassing.



Figuur 4.11: Stappenmotor en reductie [FES p5/2.2-19 en -23]

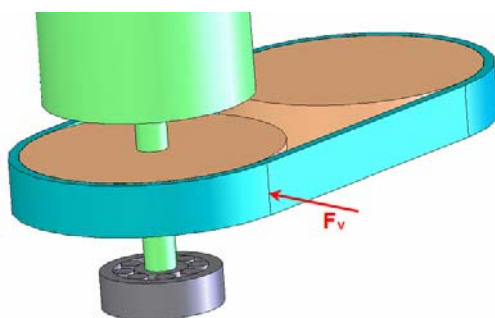
De koppel-toerental karakteristiek van de EMMS-ST-42 (Figuur 4.12) toont dat het koppel voor lage toerentallen constant blijft en pas vanaf 450omw/min begint te dalen (voor een voeding van 48V). Voor de bedradingstool moet de motor een toerental van 585/min kunnen halen (vijfmaal hoger dan het uitgaande toerental van de reductie).

Hoewel dit toerental reeds op het dalende deel van de curve ligt, is dit niet zo erg. Het koppel van 2.34Nm is namelijk enkel nodig om de draad in beweging te zetten. Eenmaal er beweging is, is enkel nog de dynamische wrijving van belang (deze is beduidend lager dan de statische wrijving). De combinatie van motor en reductie voldoet dus zeker als draadvoeding voor het systeem.



Figuur 4.12: Koppel-toerental karakteristiek EMMS-ST-42 [FES p5/2.2-19]

Ook de krachten die op de uitgaande as van de reductie staan zijn belangrijk. Indien er teveel krachten op de as staan, moet deze ondersteund worden door een extra lagering. Dit is echter af te raden omdat het moeilijk is de lager en reductie juist uit te lijnen (zie Figuur 4.13). De reductie moet dus steeds alle krachten zelf kunnen opvangen. In de opstelling zijn enkel de radiale krachten van belang, axiale krachten treden niet op. De reductie moet dus een radiale kracht van 49N kunnen opvangen (drukkracht geleverd door de veer). De trekkracht in de riem is te verwaarlozen omdat men de gedreven as niet belast. Hoewel er in de datasheets van de reductie geen specifieke waarden staan voor de maximale radiale belasting, verzekerde men bij Festo dat de EMGA-40-P-G-5 een kracht van 49N zeker aankan.



Figuur 4.13: Radiale krachten op reductie

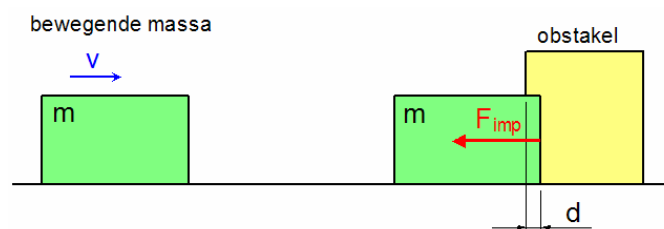
4.2 Grippersysteem

4.2.1 Formule voor impactkracht

Het is belangrijk dat het grippersysteem kleine botsingen kan doorstaan. De kans is immers reëel dat deze optreden omdat de montageplaat iedere keer andere toestellen bevat met verschillende afmetingen. Indien één van de toestellen niet of verkeerd in de database is ingegeven, kan er een botsing ontstaan. Om het grippersysteem te vrijwaren van schade moeten alle onderdelen zo berekend zijn dat deze botsingen geen schade veroorzaken. De impactkracht is hierbij van belang. Dit is de kracht die nodig is om een bewegend lichaam tot stilstand te brengen. Figuur 4.14 toont het principe van de berekening. De kinetische energie die de massa bezit voor de botsing wordt gegeven door Formule 4.9.

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Formule 4.9



Figuur 4.14: Principe van krachten bij botsing

Hierin is:

<i>Symbol</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
m	Massa van het bewegende object	[kg]
v	Snelheid van het bewegende object	[m/s]
d	Indrukking van het obstakel	[m]
F_{imp}	Impactkracht op de massa	[N]

Om de impactkracht te berekenen moet men uitgaan van het “work-energy” principe, dit stelt dat de verandering van kinetische energie van een voorwerp gelijk is aan de netto arbeid die erop verricht is (Formule 4.10). Als men er vanuit gaat dat het obstakel het

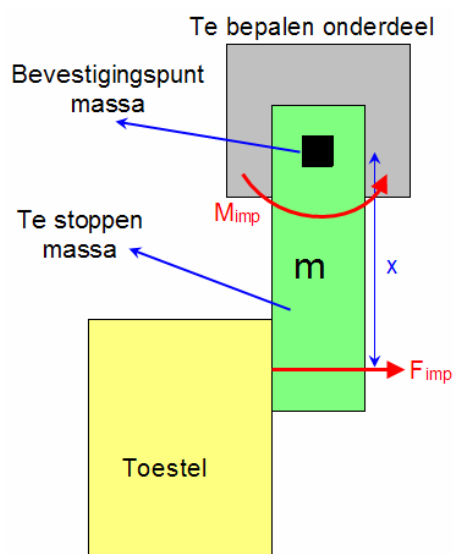
voorwerp tijdens de botsing volledig tot stilstand brengt, is de uiteindelijke kinetische energie gelijk aan nul. De arbeid is evenredig met de impactkracht en de verplaatsing, in dit geval de indrukking van het obstakel (Formule 4.11). Indien men dit combineert met Formule 4.9 en uitwerkt naar de impactkracht, bekomt men Formule 4.12. Het minteken is hierin weggelaten omdat enkel de grootte van de kracht belangrijk is.

$$W_{\text{netto}} = E_{\text{eind}} - E_{\text{begin}} \quad \text{Formule 4.10}$$

$$W = F_{\text{imp}} * d \quad \text{Formule 4.11}$$

$$F_{\text{imp}} = \frac{m * v^2}{2 * d} \quad \text{Formule 4.12}$$

Het is deze impactkracht die belangrijk is bij het bepalen van de verschillende onderdelen. Bij een botsing wordt verondersteld dat de bedradingstool star is en dus geen vervorming kan ondergaan. Het toestel op de montageplaat waarmee de tool in botsing komt, kan wel een kleine vervorming ondergaan. Zeker als de bedradingstool botst met een kabelgoot kan deze laatste relatief gemakkelijk vervormen. Maar ook toestellen op DIN rails staan nooit 100% vast en kunnen altijd wel een klein beetje bewegen. Als waarde voor d wordt in de verdere berekeningen 1mm genomen. De snelheid van de bedradingstool is 0.25m/s, dit is dezelfde snelheid dan bij de berekening van de cyclustijd (de snelheid die de robot uiteindelijk moet halen).



Figuur 4.15: Algemene opstelling voor impactkracht

Figuur 4.15 toont de algemene opstelling voor de berekeningen. Indien men een onderdeel wilt berekenen, moet men de massa in rekening brengen van alles wat zich meer naar het “uiteinde” van het grijpersysteem bevindt. Het is deze massa die de impactkracht op het onderdeel bepaalt. Naast een impactkracht, treedt ook een impactmoment op, de grootte hiervan is afhankelijk van de afstand x (zie Figuur 4.15). Welke waarde men moet gebruiken, hangt van de datasheets van de onderdelen af. Soms staat de maximale kracht vermeldt die een onderdeel kan opvangen, een andere keer staat het moment vermeldt. Indien men de waardes uit vorige alinea invult, bekomt men Formules 4.13 en 4.14 voor respectievelijk de impactkracht en het impactmoment.

$$F_{\text{imp}} = 31.25 * m \quad \text{Formule 4.13}$$

$$M_{\text{imp}} = 31.25 * m * x \quad \text{Formule 4.14}$$

Men dient wel op te merken dat deze berekeningen niet volledig overeenkomen met de werkelijk optredende botsingskrachten. De impactkracht uit Formule 4.13 is bijvoorbeeld slechts een gemiddelde waarde. Toch geven deze berekeningen een waardemeter voor de krachten en momenten die mogelijk kunnen optreden bij botsingen.

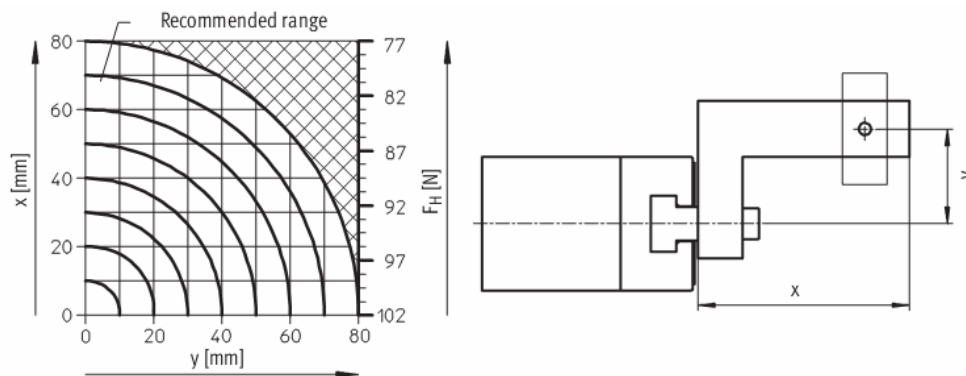
4.2.2 Grijper

Een zeer belangrijke eigenschap van een pneumatische grijper voor de bedradingstool is de maximale vingerlengte. Hoe langer de vingers zijn, hoe dieper de grijper tussen toestel en kabelgoot kan geraken. Volgens de specificaties (zie Bijlage A) moeten de vingers minstens 60mm lang zijn. Het is echter beter de vingers zolang mogelijk te maken om zo wat spatie te laten tussen de kabelgoot en de grijper. Dit heeft echter ook nadelen, grijpers met een grote vingerlengte zijn meestal bedoeld om grote en dus ook zwaardere stukken te manipuleren. De krachten die de grotere grijpers kunnen leveren zijn dan ook een stuk groter. Dat kan een probleem vormen bij het grijpen van de draad, indien die met teveel kracht samengedrukt wordt, kan er schade ontstaan op de isolatie en dit is niet toelaatbaar. Men moet dan ook onderzoeken of de kracht van de grijper de isolatie niet beschadigt.

Festo heeft verschillende parallelgrijpers maar er is voor deze toepassing gekozen voor het type HGPT (zie Figuur 4.16). Dit zijn zeer stevige en robuuste grijpers, iets wat niet onbelangrijk is, gezien de mogelijke kansen op botsingen tijdens het testen. Als grootte is de HGPT-25 gekozen, deze heeft een aanbevolen vingerlengte van maximaal 80mm. Er moet echter nog een correctie gebeuren op de vingerlengte afhankelijk van de excentriciteit (zie Figuur 4.17). Indien de vingers 40mm excentrisch staan, is de aanbevolen vingerlengte nog maar 70mm. In het ontwerp is echter toch gekozen voor vingers van 80mm die in principe dus buiten het aanbevolen gebied vallen. Dit aanbevolen gebied geeft namelijk vooral weer waar de grijper zijn grijpkracht voldoende kan behouden maar voor deze toepassing is dat minder van belang, ook als de werkelijke kracht een stuk lager ligt dan de theoretische waarde is er geen kans dat de draad loskomt.



Figuur 4.16: Parallelgrijper HGPT [FES p1/7.7-4]

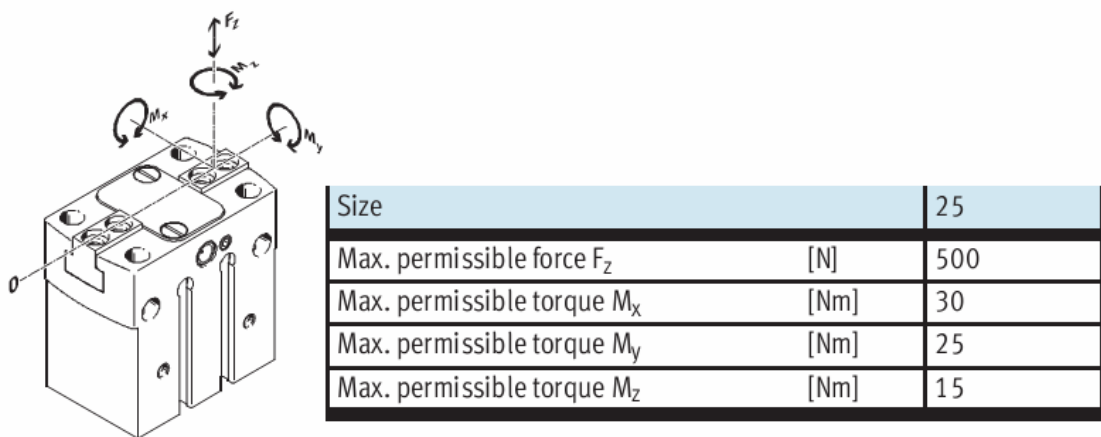


Figuur 4.17: Vingerlengte i.f.v. excentriciteit [FES p1/7.7-10]

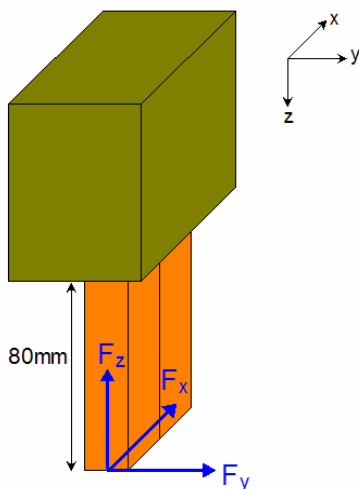
Figuur 4.17 toont tevens dat de grijpkracht per vinger ongeveer 75N bedraagt, de totale grijpkracht is dus 150N. Men moet onderzoeken of deze kracht voldoende is om de draad stevig vast te nemen en of de kracht niet te hoog is. Een te hoge grijpkracht kan

immers voor blijvende indrukking of schade van de isolatie zorgen. Via een proefopstelling is getracht het effect van de grijper op de draad te onderzoeken, deze opstelling staat besproken in Bijlage B3. Uit de resultaten blijkt dat een zeer kleine kracht reeds voldoende is om de draad te klemmen en dat 150N geen schade oplevert.

Nu blijkt dat de grijpkracht voldoet aan de eisen, moet men nog controleren of de krachten die bij een botsing optreden niet te hoog zijn. De HGPT-25 is echter zeer robuust opgebouwd en kan zeer hoge krachten en momenten opnemen (zie Figuur 4.18). Als men stelt dat de vingers 80mm lang zijn en ongeveer 0.15kg wegen kan men via Formule 4.13 en 4.14 de minimale kracht en moment bepalen die de grijper moet aankunnen. De botsing kan in drie richtingen gebeuren, volgens de x, y of z as en afhankelijk daarvan is ook de richting van de impactkracht anders (zie Figuur 4.19).



Figuur 4.18: Maximale kracht en moment op HGPT-25 [FES 1/7.7-5]



Figuur 4.19: Botsingskrachten bij grijper

$$F_z = 31.25 * 0.15\text{kg} = 4.69\text{N}$$

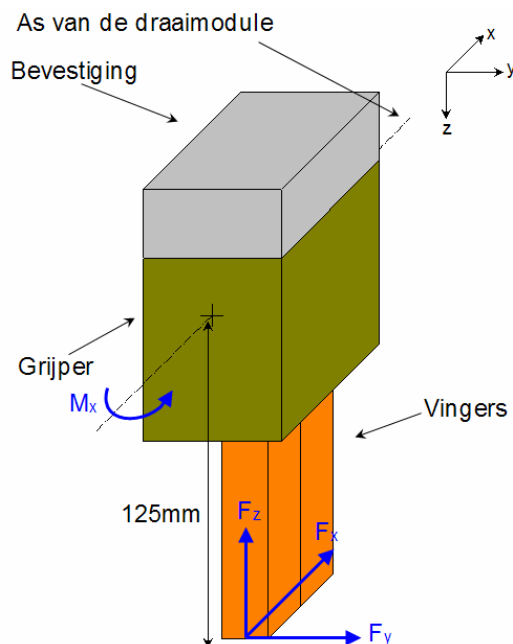
$$M_x = M_y = 31.25 * 0.15\text{kg} * 0.08\text{m} = 0.38\text{Nm}$$

Deze waarden liggen duidelijk lager dan de maximale waarden uit Figuur 4.18, de HGPT-25 is dus zeker geschikt om kleine botsingen te kunnen opvangen.

4.2.3 Draaimodule

De draaimodule moet de grijper kunnen roteren over een hoek van 90° . Belangrijk bij het bepalen van de draaimodule zijn de krachten die tijdens een botsing kunnen optreden. Figuur 4.20 toont de opstelling. De massa die aan de draaimodule hangt bestaat uit drie delen:

- De vingers van de grijper met een geschatte massa van 0.15kg
- De grijper HGPT-25 met een massa van 0.36kg
- Een extra massa t.g.v. de koppeling tussen draaimodule en grijper die geschat wordt op ongeveer 0.2kg. Hierin zitten ook de massa van eventuele sensoren en aansluitingen verwerkt.



Figuur 4.20: Botsingskrachten bij draaimodule

$$F_z = F_z = 31.25 * 0.71\text{kg} = 22.19\text{N}$$

$$M_x = 31.25 * 0.71\text{kg} * 0.125\text{m} = 2.66\text{Nm}$$

F_x zorgt voor een axiale belasting van de as, F_z zorgt voor een radiale belasting. De kracht F_y tenslotte genereert een moment M_x rond de x-as. De gekozen draaimodule moet aan de berekende krachten kunnen voldoen. Het type draaimodule van Festo dat het best geschikt is voor de toepassing is de DSM, die zeer compact en toch robuust gebouwd is. Figuur 4.21 toont enkele varianten van de DSM draaimodule. De krachten en momenten die de module moet kunnen opvangen, bepalen de grootte ervan.

Uitgaande van de berekeningen is de DSM-16 geselecteerd. Merk op dat er geen maximaal opgenomen moment staat vermeld bij de DSM. Het enige dat te vinden is, is het moment dat de draaimodule kan leveren, dit heeft echter enkel met de luchtdruk en het zuigeroppervlak te maken en niets met de maximale waarde die het toestel kan opvangen. Omdat de berekende waarde echter kort bij het moment ligt dat de draaimodule kan leveren, mag men ervan uitgaan dat de DSM-16 eventuele botsingen kan doorstaan.



Figuur 4.21: Varianten DSM draaimodule [FES p1/4.1-2]

Naast de krachten is ook het optredende traagheidsmoment van belang. Indien de draaimodule de grijper in beweging wilt zetten, moet deze de traagheid van de massa overwinnen. Omdat de grijperconstructie relatief licht is, liggen de waarden normaal ver onder de maxima van de draaimodule. Toch wordt het traagheidsmoment berekend omdat dit ook de maximale snelheid bepaald waarmee de draaimodule mag werken. Om het traagheidsmoment van een balk rond een as door zijn zwaartepunt te berekenen moet men Formule 4.15 gebruiken.

Indien de rotatie-as niet door het zwaartepunt van de balk gaat maar wel door een as evenwijdig daaraan, moet men de formule van Steiner gebruiken (Formule 4.16). I' stelt hierin de waarde voor die men met Formule 4.15 uitkomt. Indien men beide formules

combineert, bekomt men Formule 4.17 die in de berekeningen kan gebruikt worden. Zie Figuur 4.22 voor de aanduiding van de verschillende waarden.

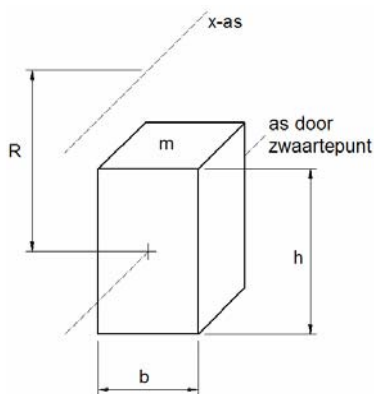
$$I = \frac{1}{12} * m * (b^2 + h^2) \quad \text{Formule 4.15}$$

$$I = I' + m * R^2 \quad \text{Formule 4.16}$$

$$I = \frac{1}{12} * m * (b^2 + h^2) + m * R^2 \quad \text{Formule 4.17}$$

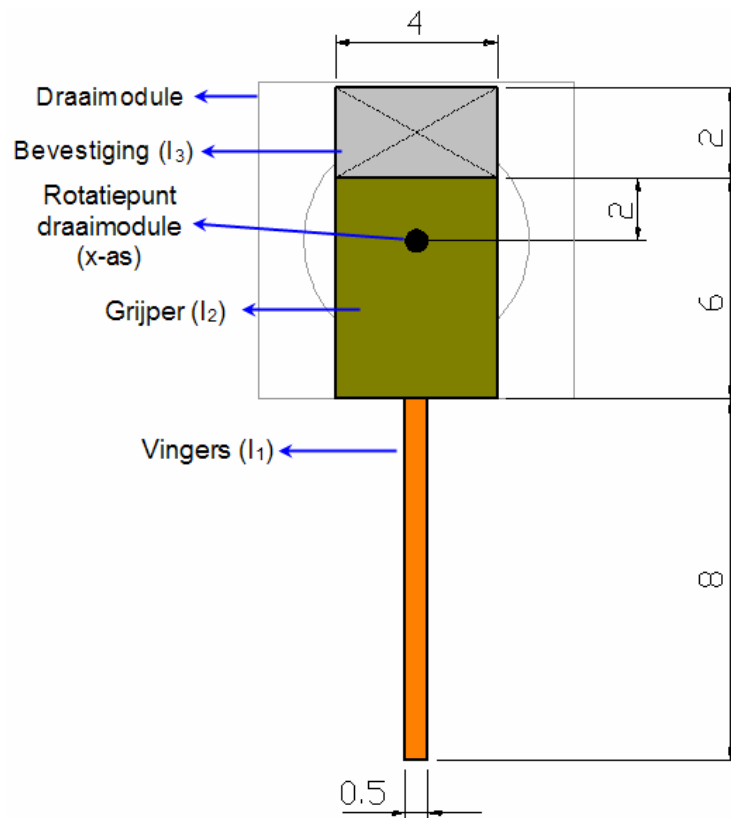
Hierin is:

<i>Symbol</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
$I =$	<i>Traagheidsmoment van de balk rond de x-as</i>	<i>[kg cm²]</i>
$m =$	<i>Massa van de balk</i>	<i>[kg]</i>
$b =$	<i>Breedte van de balk</i>	<i>[cm]</i>
$h =$	<i>Hoogte van de balk</i>	<i>[cm]</i>
$R =$	<i>Afstand tussen de x-as en de as door zwaartepunt van de balk</i>	<i>[cm]</i>



Figuur 4.22: Berekening traagheidsmomenten

Figuur 4.23 toont de schematische opstelling met de (benaderde) maten voor de grijperconstructie. Merk op dat de maten in centimeter zijn gegeven, dit komt omdat de gegevens in de datasheets uitgedrukt zijn in $\text{kg m}^2 * 10^{-4}$ oftewel kg cm^2 . Rekenen met centimeters maakt omzetting van de uitkomst overbodig.



Figuur 4.23: Traagheidsmoment gripperconstructie

$$I_1 = \frac{1}{12} * 0.15\text{kg} * \left((0.5\text{cm})^2 + (8\text{cm})^2 \right) + 0.15\text{kg} * (8\text{cm})^2$$

$$I_1 = 10.4\text{kg cm}^2$$

$$I_2 = \frac{1}{12} * 0.36\text{kg} * \left((4\text{cm})^2 + (6\text{cm})^2 \right) + 0.36\text{kg} * (1\text{cm})^2$$

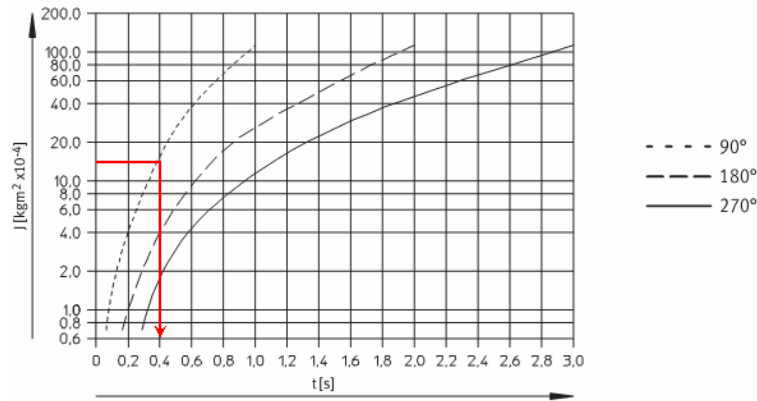
$$I_2 = 1.9\text{kg cm}^2$$

$$I_3 = \frac{1}{12} * 0.2\text{kg} * \left((4\text{cm})^2 + (2\text{cm})^2 \right) + 0.2\text{kg} * (3\text{cm})^2$$

$$I_3 = 2.1\text{kg cm}^2$$

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + I_3 = 10.4\text{kg cm}^2 + 1.9\text{kg cm}^2 + 2.1\text{kg cm}^2 = 14.4\text{kg cm}^2$$

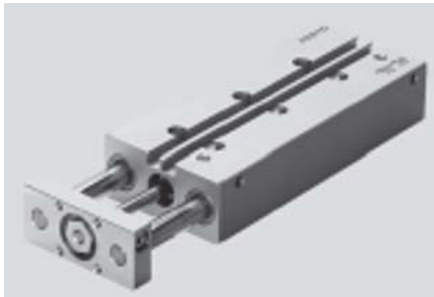
Het totale traagheidsmoment bedraagt ongeveer 15kg cm^2 , rekening houdend met Figuur 4.24 bekommt men een minimale draaitijd van ongeveer 0.5s . Bij het instellen van het systeem moet men ervoor zorgen dat het luchtdebiet zo geregeld is dat de draaitijd niet minder is dan 0.4s .



Figuur 4.24: Maximaal traagheidsmoment in functie van snelheid [FES p1/4.1-23]

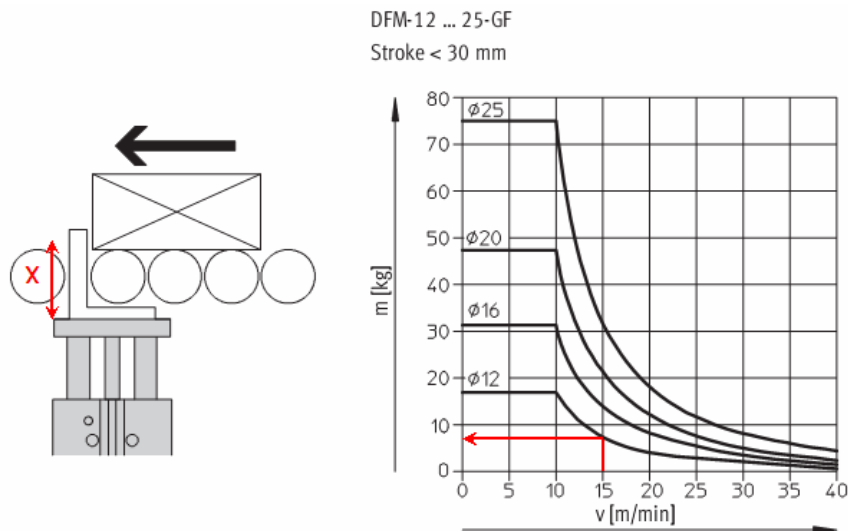
4.2.4 Bepaling lineaire drives

De draaimodule is op twee lineaire drives gemonteerd, voor de exacte functie van beide drives, zie punt 3.2. De lineaire drive die het beste in aanmerking komt voor de bedradingstool is de DFM (zie Figuur 4.25). Dit type heeft een cilinder met twee extra gelagerde stangen. Hierdoor heeft de DFM een zeer stevig ontwerp en is hij uitermate geschikt om hoge momenten of krachten op te vangen (die kunnen optreden bij eventuele botsingen).



Figuur 4.25: Lineaire drive DFM [FES p1/6.2-70]

De DFM drive kan men als stopunit gebruiken (zie Figuur 4.26), dit komt ongeveer overeen met hetgeen gebeurt als er een botsing optreedt. Indien men echter de minimale cilinderdoorsnede gaat bepalen aan de hand van de bijgeleverde datasheets, blijkt dat deze erg klein is. Figuur 4.26 geeft dit duidelijk weer, bij een snelheid van 15m/min (0.25m/s), kan zelfs de kleinste DFM drive een massa van ongeveer 7.5kg stoppen. Het probleem is dat de grafiek geen rekening houdt met de plaats waar de massa aangrijpt. Indien de DFM onder normale omstandigheden als stopunit gebruikt wordt, zal de afstand x nooit erg groot zijn.



Figuur 4.26: DSM als stopper [FES p1/6.2-65 en -75]

Bij de bedradingstool loopt deze afstand wel behoorlijk op waardoor het niet verstandig is om gewoon de kleinste DFM module te gebruiken. Er is echter geen data beschikbaar om de grootte van de module op een juiste manier te berekenen. Daarom is gekozen voor de DFM-25, deze heeft nog relatief kleine afmetingen en is daardoor gemakkelijk in te bouwen en het is tevens de kleinste lineaire drive die over twee lageringen beschikt (zie Figuur 4.27). Beide lineaire modules zijn van het type DFM-25, één met een slag van 20mm en één met een slag van 80mm.

De DFM modules kunnen uitgerust zijn met verschillende types lagering: met een vlakke lagering (GF) en met een kogellagering (KF). Hoewel de GF lagering steviger is (vlakke lagers kunnen veel grotere krachten opnemen dan kogellagers), is voor de bedradingstool toch gekozen voor KF modules. Deze bewegen namelijk veel soepeler, iets wat belangrijk is voor de afstelling van de bedradingstool.

DFM-12 ... 20 stroke \leq 30 mm

1 bearing per guide rod



DFM-12 ... 20 stroke > 30 mm

DFM-25 ... 100:

2 bearings per guide rod

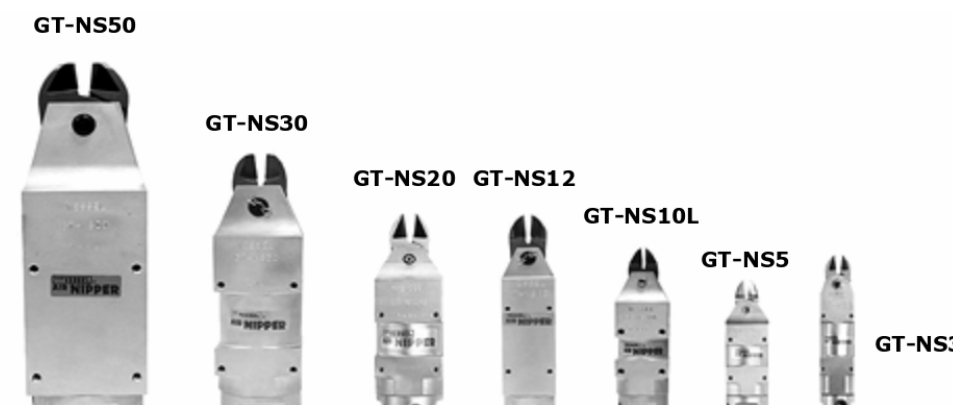


Figuur 4.27: Lagering in DFM modules [FES p1/6.2-74]

4.3 Knipunit

De knipunit bestaat uit twee belangrijke delen: een pneumatisch knipmes en een lineaire drive die het mes heen en weer kan bewegen. Het vinden van een geschikt pneumatisch mes is echter niet vanzelfsprekend. Er zijn meerdere fabrikanten die pneumatische scharen leveren, maar deze zijn meestal bedoeld voor handmatig gebruik en kunnen dus niet zomaar geautomatiseerd worden. Vessel heeft echter wel pneumatische scharen die ontwikkeld zijn voor automatisatie toepassingen (en die men gemakkelijk op een robot kan monteren).

Hun GT-NS serie is ideaal voor de bedradingstool (zie Figuur 4.28). Een koperen draad met sectie 2.5mm^2 heeft een diameter van 1.78mm . Theoretisch zou de GT-NS10L dus voldoende zijn, maar het best kan men enige marge op de knipkracht te nemen. De GT-NS12 komt dus het beste in aanmerking maar na telefonisch contact met JDV Products (een verdeler van Vessel), bleek dat dit type uit productie is. Voor de bedradingstool is daarom de GT-NS20 gekozen.

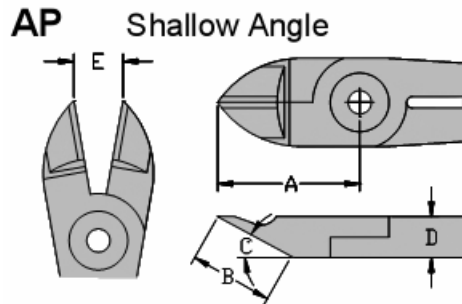


Part Number	Weight (g)	Air Cons. $\text{Cm}^3/\text{stroke}$	Supply Air Pressure		Applied Force		Cutting Capacity \varnothing (mm)						
			MPA	psi	N	lbf	Copper	Steel	Piano Wire	Plastics	Hard Plastic	Bare Term.	
GT-NS2	85	35	0.4-0.5	58-73	264	59	1.0	0.5					
GT-NS3	95	45	0.4-0.5	58-73	294	66	1.0	0.5	0.2	2.0			
GT-NS5	135	64	0.4-0.5	58-73	392	88	1.0	0.5	0.2	2.0			
GT-NS7	215	116	0.4-0.5	58-73	490	110	1.6	1.0	0.5	3.0	2.0		
GT-NS10L	230	116	0.4-0.6	58-87	588	132	1.8	1.2	0.5	4.0	2.6		
GT-NS12	270	116	0.5-0.6	73-87	735	165	2.3	1.7	0.6	4.5	4.0		
GT-NS20	370	230	0.5-0.6	73-87	1372	309	2.6	2.0	1.0	7.0	5.0		
GT-NS30	685	584	0.5-0.6	73-87	2744	617	3.3	2.8	1.2	10.0	6.5	CE1.25/2.0	
GT-NS50	1675	1,170	0.5-0.6	73-87	4704	1,058	5.5	4.5	1.6	12.0	6.5	CE5.0/2.0	

Figuur 4.28: GT-NS Productgamma [JDV p6]

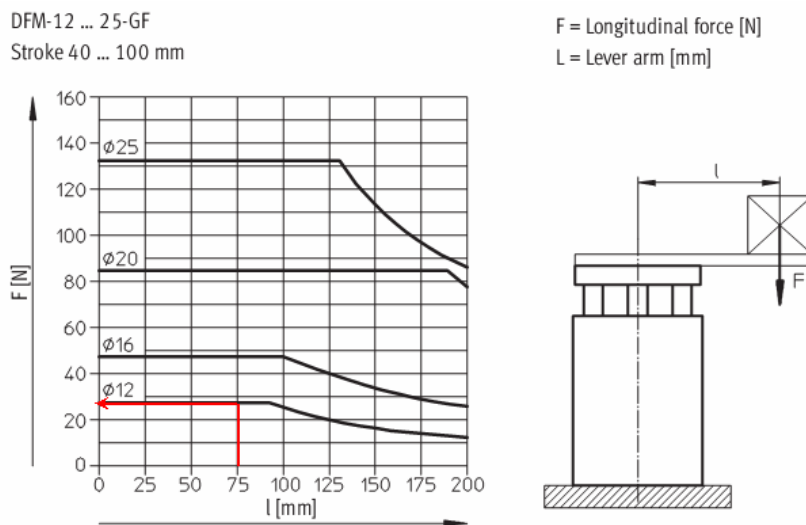
Naast het pneumatische knipsysteem, moet men ook de scharen selecteren. Ook deze moeten namelijk een voldoende grote knipcapaciteit hebben. Bij JDV Products raadde

men aan om het type N20APB629 te nemen (zie Figuur 4.29), dit is een robuustere versie van de N20AP die meestal gebruikt wordt voor het knippen van kunststofonderdelen.



Figuur 4.29: N20AP Scharen [JDV p15]

Om de pneumatische schaar te bewegen is opnieuw een DFM lineaire drive van Festo geselecteerd (Figuur 4.25). Aangezien deze drive tijdens het werkingsproces niet aan schadelijke krachten of momenten kan blootgesteld worden (er is geen kans op botsingen), is de grootte van de module niet zo belangrijk. Het enige dat belangrijk is voor de DFM is dat deze een massa van ongeveer 0.6kg moet kunnen bewegen (totale massa van pneumatisch knipsysteem, scharen en bevestiging). Indien men stelt dat het zwaartepunt van het knipsysteem op 75mm van de drive ligt, blijkt uit Figuur 4.30 dat de DFM-12 een kracht van 27N kan leveren (iets meer dan 2.5kg), ruim voldoende voor de bedradingstool.



Figuur 4.30: DFM-12 gebruikt als lift [FES p1/6.2-76]

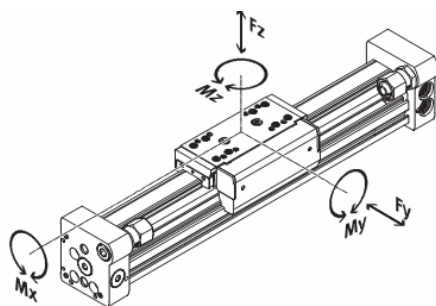
4.4 Kabelgootunit

Om de draad in de kabelgoot te leggen, is gekozen voor een oplossing met een telescopische buis. Om het buitenste deel van de buis naar beneden te bewegen is een cilinder nodig. Aangezien de plaats voor deze cilinder erg beperkt is (de bedradingstool moet best zo compact mogelijk zijn), is er voor een zuigerstangloze cilinder gekozen. Deze zijn wel duurder dan gewone cilinders maar passen veel beter in het ontwerp. Er is gekozen voor het type DGC (zie Figuur 4.31), net als bij de DFM modules is ook nu weer gekozen voor een cilinder met kogellagering (type KF) omdat deze veel soepeler bewegen.



Figuur 4.31: Zuigerstangloze cilinder DGC [FES p1/3.1-40]

Om de exacte grootte van de DGC te bepalen, moet men rekening houden met de krachten die kunnen optreden tijdens een botsing. Dit is echter vrij lastig aangezien een botsing de DGC waarschijnlijk nooit tot zijn maximum gaat belasten. Indien de telescopische buis is uitgeschoven en er een botsing plaatsheeft, gaat de buis eerst ploien of knikken eer de DGC module enige grote krachten gewaar wordt. Er is daarom gekozen voor de DGC-12, deze is slechts iets groter dan de DGC-8 maar kan wel veel grotere krachten en momenten opnemen (zie Figuur 4.32). Een nog grotere versie nemen zou overdreven zijn en bovendien te groot om in te bouwen in de bedradingstool.



Permissible forces and torques			
Piston Ø		8	12
F _y max.	[N]	300	650
F _z max.	[N]	300	650
M _x max.	[Nm]	1.7	3.5
M _y max.	[Nm]	4.5	10
M _z max.	[Nm]	4.5	10

Figuur 4.32: Maximale krachten en momenten op DGC [FES p1/3.1-46]

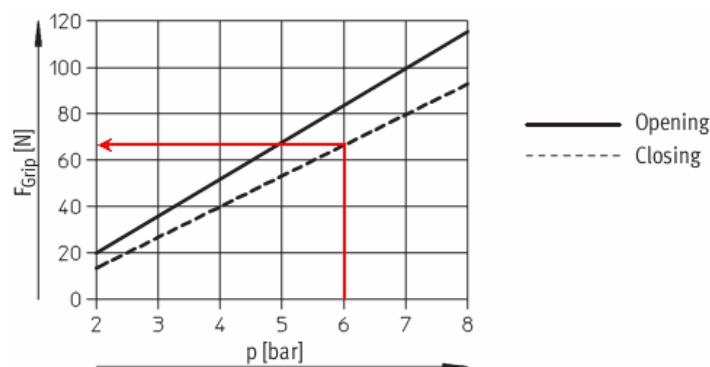
4.5 Omkeerunit

Om het tweede uiteinde van de draad om te keren zijn twee bewegingen nodig: een grijpbeweging die de draad kan grijpen en een rotatie van 180° om het uiteinde om te draaien. Hoewel men hiervoor in principe twee aparte actuatoren moet nemen, heeft Festo ook zwaai-grijpmodules die beide bewegingen combineren, de HGDS (zie Figuur 4.33). Deze optie is ideaal voor de bedradingstool omdat de HGDS licht en compact is en er tevens geen koppelstukken nodig zijn tussen de draai- en grijpmodule.



Figuur 4.33: zwaai-grijpmodule HGDS [FES p1/7.8-4]

Om de juiste HGDS module te selecteren, is de belangrijkste waarde de slag per vinger. Indien de telescopische buis naar beneden komt om de draad in de kabelgoot te leggen, mag deze de vingers van de HGDS immers niet raken. Indien de telescopische buis een buitendiameter van ongeveer 10mm heeft, is de HGDS-20 de enige zwaai-grijpmodule die groot genoeg is voor de bedradingstool. Figuur 4.34 toont dat deze een grijpkracht heeft van ongeveer 70N per vinger bij 6bar (totale grijpkracht van 140N). Dit komt overeen met de waarde van de HGPT-25, de draad loopt dus geen risico op schade.



Figuur 4.34: Grijpkracht per vinger HGDS [FES p1/7.8-7]

5 Definitief ontwerp

5.1 *Mechanisch ontwerp (zie ook Bijlage D)*

Nu alle actuatoren bepaald zijn, kan men deze samenvoegen in een gedetailleerd ontwerp. Het ontwerp uit 3.2 is namelijk zeer vaag en dit moet dan ook volledig uitgetekend worden. Er is geprobeerd om zoveel mogelijk met standaardonderdelen te werken omdat deze vaak een stuk goedkoper zijn. Als leverancier van alle kleine mechanische componenten is Misumi gekozen. Van dit bedrijf komen tevens het meeste materiaal voor het draadvoedingssysteem (zie punt 4.1). In het begin van ieder punt staan de stukken die aan bod komen met hun naam en nummer weergegeven in cursief. De plannen (met maten) van elk onderdeel zijn opgenomen in Bijlage D. De paginanummer rechtsonder op de tekening komt overeen met het nummer van het stuk. Het volledige mechanische ontwerp is gemaakt in Solid Works 2006.

5.1.1 Basisframe

13: *AIKFB150_70*

16: *AIFKFB100_60*

20: *Main_Body_1*

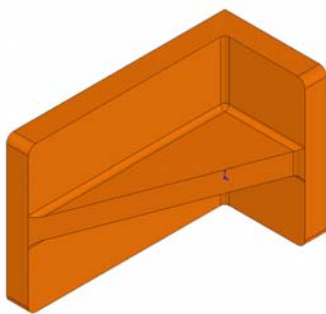
21: *Main_Body_2*

21: *Main_Body_3*

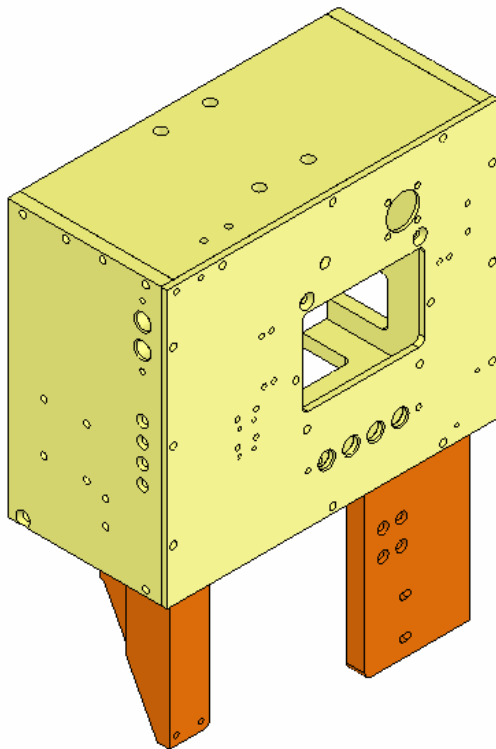
23: *Main_Body_4*

24: *Main_Body_5*

Als basis voor alle componenten is een aluminium frame gebruikt. Er is gekozen voor aluminium omwille van het lage gewicht. De bedradingstool komt namelijk op een robot en hoe zwaarder het geheel is, hoe zwaarder (en dus ook duurder) de robot moet zijn. Om die reden is niet alleen het basisframe uit aluminium, maar ook zo goed als alle andere stukken (indien dit mogelijk is).



Figuur 5.1: L-profiel met flens



Figuur 5.2: Basisframe bedradingstool

Figuur 5.2 toont het basisframe van de bedradingstool, dit bestaat uit vijf platen (de achterkant is open). De zijwanden zijn 10mm dik, hierdoor kan men kopse boringen gebruiken om de platen aan elkaar te bevestigen. Omdat op de voorste plaat geen kopse boringen moeten komen, is deze slechts 5mm dik genomen om gewicht te besparen. Onderaan het frame zijn twee profielen van Misumi bevestigd. Deze dienen om de zwaaijrijmodule en de zuigerstangloze cilinder te bevestigen. Dit zijn twee L-profielen die verstevigd zijn met een flens in het midden (zie Figuur 5.1). Door de flens is het profiel zeer stevig in alle richtingen.

5.1.2 Draadvoeding

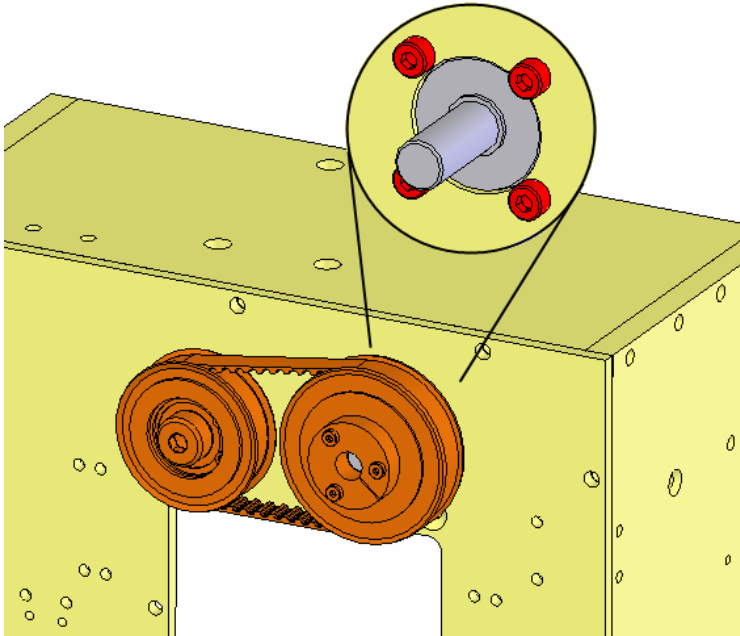
10: *Rail_Spring_Support*

11: *Support_Counter_Wheels*

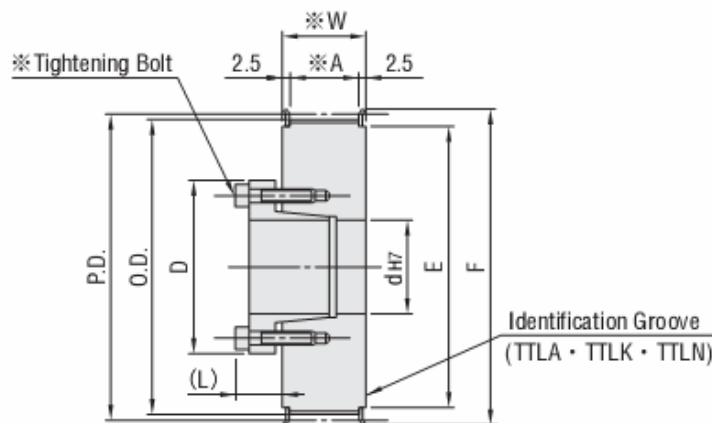
12: *Support_Springs*

De motor en reductie van Festo zijn op de voorkant van het basisframe vastgemaakt met vier bouten (zie Figuur 5.3). Om de drijvende riemschijf op de uitgaande as van de reductie te bevestigen, is een klembus gebruikt. Figuur 5.4 toont de werking hiervan: indien men de schroeven links op de tekening aandraait, wordt de conische ring naar

binnen gedreven. Hoe meer deze naar rechts opschuift, hoe meer deze gaat spannen rond de as van de reductie. Merk op dat de binnenkant van de riemschijf met een passing (H7) is afgewerkt, net zoals de uitgaande as van de reductie.

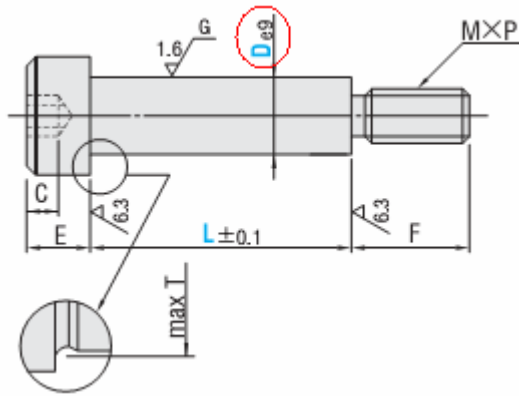


Figuur 5.3: Riemschijfopstelling draadvoeding



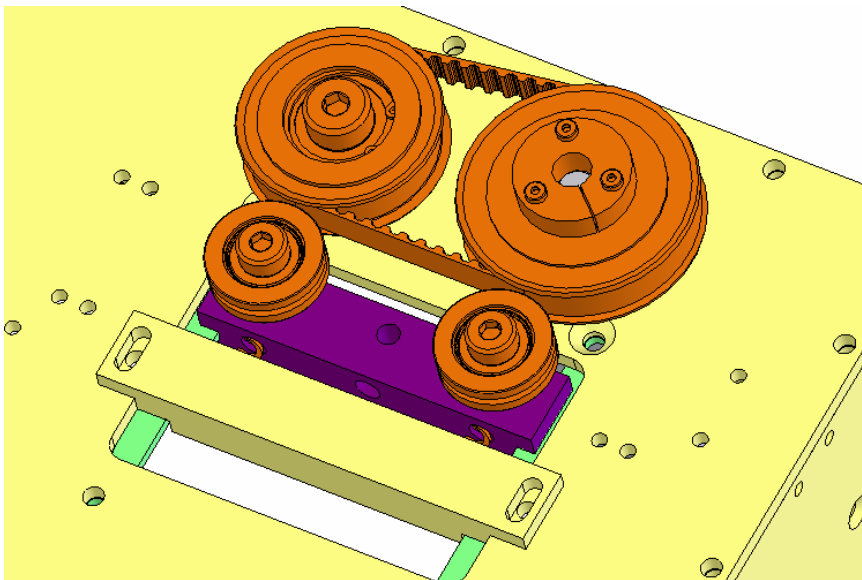
Figuur 5.4: Werking klembus [MIS p1507]

Om de gedreven riemschijf te bevestigen is een pasbout gebruikt, dit is een speciaal soort bout (zie Figuur 5.5) waarvan de mantel nauwkeurig is afgewerkt, de gekozen pasbout heeft een passing van e9. Een gewone bout gebruiken, levert een te grote speling op. Deze kan ervoor zorgen dat de riemschijf begint te slingeren, wat de levensduur en de prestaties aanzienlijk vermindert.



Figuur 5.5: Pasbout [MIS p911]

De tegendrukwielen, die zorgen voor de wrijving tussen de getande riem en de draad (zie punt 4.1) zijn tevens met pasbouten bevestigd om dezelfde reden. De slede waarop de tegendrukwielen staan (paars op Figuur 5.6), kan glijden over twee rails die op de voorste plaat van het frame zijn gemonteerd (in het groen). Merk op dat er een extra gat is voorzien om eventueel een derde tegendrukwiel te bevestigen, mocht tijdens het testen blijken dat dit betere resultaten oplevert.



Figuur 5.6: Slede en rail tegendrukwielen

Er is gekozen voor twee aparte rails (in plaats van de slede gewoon te laten glijden op de voorste plaat) vanwege de slijtage. Omdat de slede constant kleine bewegingen maakt, gaan de rails slijten, deze zijn echter makkelijk te vervangen. Indien de slede op

de voorste plaat van het frame moest bewegen, moet men bij slijtage deze hele plaat vervangen wat een stuk duurder en tijdrovender is. Om de slijtage optimaal te laten gebeuren, is gekozen om de slede en rails uit verschillend materiaal te maken. De slede bestaat uit staal, de rails zijn van messing. Daar messing zachter is dan staal, mag men dus aannemen dat het de rails zijn die zullen slijten (het goedkoopste stuk om te vervangen).

Aan de onderkant van de slede zijn gaten gemaakt waar de veren in moeten komen. Omdat het moeilijk is om te voorspellen of de theoretische veerkracht ook in de praktijk voldoende is, is ervoor gezorgd dat er een grote marge mogelijk is op de veerkracht. Om te beginnen is de aanslag van de veren met twee grote sleuven uitgevoerd zodat men de indrukking van de veer makkelijk kan aanpassen. Daarnaast is er in de slede en de aanslag ook een extra gat voorzien om eventueel een derde veer bij te plaatsen.

5.1.3 Draadgeleiding

05: *Connection_DGC_Mounting_Bracket*

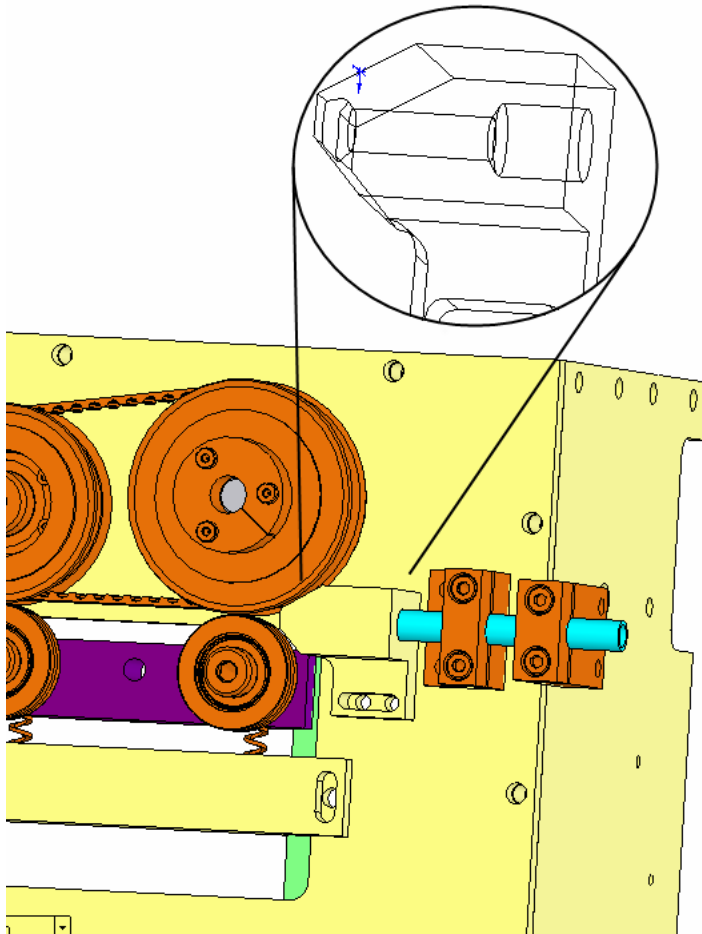
25: *Wire_Guide*

26: *Connection_Inner_Tube*

27: *Wire_Guide_Incoming*

Figuur 5.7 toont hoe de draad binnenkomt op de bedradingstool. De draad, die langs de robotarm loopt, komt binnen via een teflonbuis. Er is gekozen voor een teflonbuis omdat teflon een zeer lage wrijvingscoëfficiënt heeft en de draad dus gemakkelijk door de buis kan lopen. Om de buis aan het basisframe te bevestigen zijn twee klemcellen gebruikt. Merk op dat het gaat om klemcellen waar de bovenkant volledig van gedemonteerd kan worden, dit is handig aangezien de buitendiameter van de teflonbuis waarschijnlijk niet exact de diameter van de klemcel heeft.

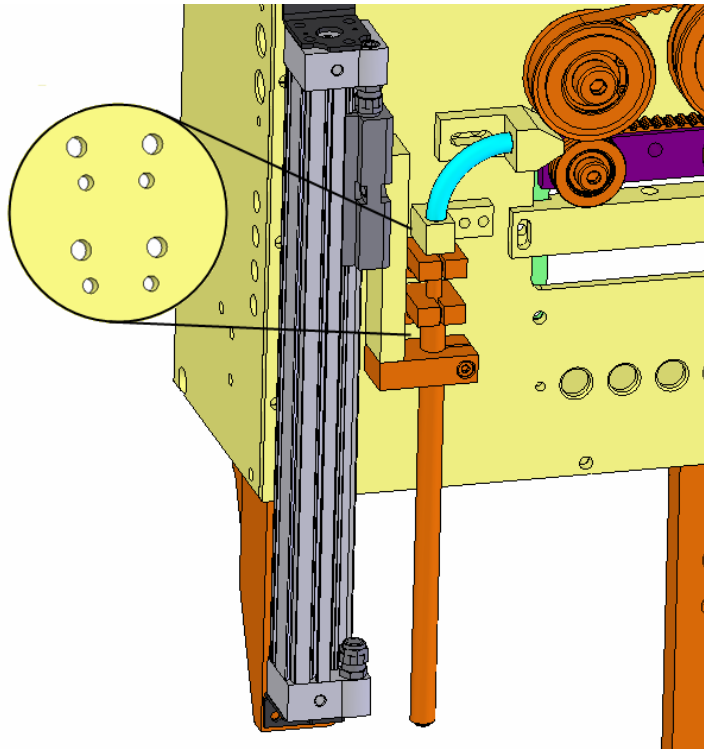
Na de teflonbuis zit een klein stuk uit aluminium dat aan één kant schuin is afgewerkt zodat de draad zolang mogelijk geleidt wordt alvorens deze het draadvoedingssysteem bereikt. Merk op dat aan de binnenkant van dit stuk de overgang via een schuine zijde gaat. Dit is om te voorkomen dat de draad tijdens het bewegen ergens achter kan blijven steken. Vooral de stukken draad die ongeïsoleerd zijn, kunnen namelijk snel ergens achter blijven haken. Overal waar een overgang is, is dan ook getracht deze geleidelijk aan te doen.



Figuur 5.7: Binnenkomst van de draad

Figuur 5.8 toont hoe de draad loopt na de twee riemschijven. Eerst maakt deze een bocht naar beneden en dan komt de draad in de telescopische buis terecht. De binnenste van de twee buizen is aan het basisframe vastgemaakt met twee klemcellen. De buis die nu in het ontwerp zit heeft een buitendiameter van 6mm en een binnendiameter van 5mm. De dikste draad die door deze buis moet lopen heeft een diameter van 4.2mm (sectie 2.5mm²), er is dus redelijk weinig speling in de buis.

Toch is deze niet groter genomen omdat ook draad van 1mm² of 1.5mm² door de buis moet lopen. Indien deze dan een te grote binnendiameter heeft, kan het zijn dat de draad te los ligt (en gaat stuiken). Mocht er echter blijken dat draad van 2.5mm² vast komt te zitten in de buis, dan kan men een grotere buis monteren. Er zijn vier extra gaten voorzien zodat men ook een grotere klemcel, voor een buis met buitendiameter van 8mm, kan monteren (zie de uitvergroting op Figuur 5.8).



Figuur 5.8: Telescopische buis

De buitenste buis van het telescopische systeem is via één klemcel aan de zuigerstangloze cilinder bevestigd. De gekozen buitenbuis heeft een buitendiameter van 10mm en een binnendiameter van 8mm. Deze kan dus perfect over de binnenste buis van 6mm bewegen zonder contact te maken (er treedt dus geen wrijving op).

5.1.4 Grijperarm

03: *Connection_DFM_DFM*

04: *Connection_DFM_DSM*

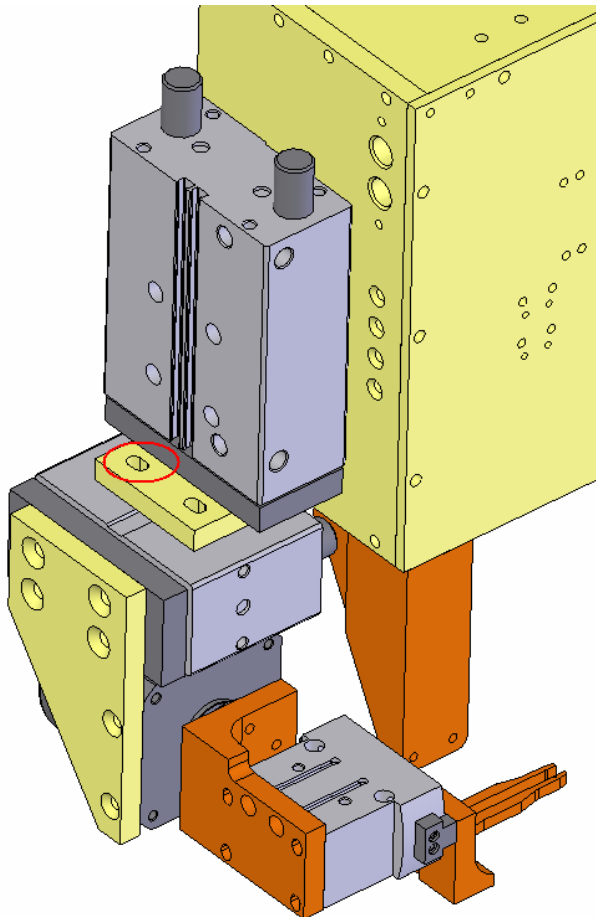
14: *LSA10_A75_B50_L45*

18: *LSS10_A85_B40_L100_1*

19: *LSS10_A85_B40_L100_1*

De grijperarm bestaat uit twee lineaire drives, een draaimodule en de hoofdgrijper. Om de verschillende actuatoren te verbinden is ook nu weer gekozen voor aluminium platen van 10mm dik (Figuur 5.9). Op de verbinding tussen de horizontale drive en de draaimodule zijn conische gaten gebruikt. In principe kan men het gebruik van conische schroeven best vermijden daar dit leidt tot een “overbepaaldheid” (vergelijkbaar met een balk die aan beide einden is ingeklemd). Indien de verschillende gaten niet goed overeenkomen kan dit leiden tot interne spanningen. Toch is het voor de verbinding

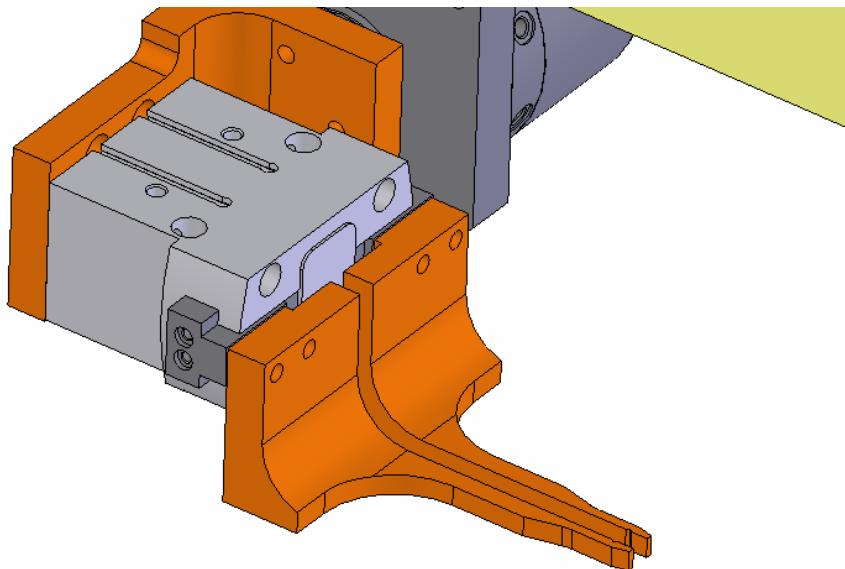
handig om met conische bouten te werken, gewone bouten steken namelijk uit en kunnen mogelijk toestellen op het schakelbord raken tijdens het aansluiten, met conische bouten is dit niet het geval. Voor alle andere verbindingen is wel geprobeerd om steeds zonder conische bouten te werken.



Figuur 5.9: Constructie grijperarm

Figuur 5.9 toont ook dat op sommige plaatsen geen gewone gaten maar sleuven gebruikt zijn. Dit laat toe om bepaalde componenten licht te verplaatsen, iets wat nodig is aangezien de bedradingstool een prototype is en er altijd kleine fouten kunnen opduiken. Door het gebruik van de sleuven zijn er ook minder strengere toleranties vereist voor het frezen van de stukken. Het nadeel van de sleuven is dat men veel meer werk moet steken in het uitlijnen van de onderdelen, iets wat ook belangrijk is indien men een stuk wilt vervangen. Indien de bedradingstool op grotere schaal geproduceerd wordt, kan men deze sleuven dan ook het beste vervangen maar om te testen is dit wel handig.

Figuur 5.10 toont de vingers van de hoofdgrijper. Het uitgangsmateriaal van de vingers is een stalen L-profiel van Misumi. Er is dit keer gekozen voor staal in plaats van aluminium omdat de vingers erg lang en dun zijn en aluminium voor deze toepassing niet sterk genoeg is, zeker als men in rekening brengt dat er botsingen kunnen optreden tijdens de testfase.



Figuur 5.10: Grijpervingers hoofdgrijper

Er is gekozen om vanuit een L-profiel te vertrekken in plaats van een volle blok omdat dit veel goedkoper is. Dit heeft echter het nadeel dat men niet zoveel verstevigingsribben kan aanbrengen. In een later stadium kan men de vingers dan ook best vervangen door een nieuwe versie met extra verstevigingen. Eventueel kan men de vingers dan ook harden om ze nog betere eigenschappen te geven. Merk op dat er slechts een kleine groef op het einde van de vinger is aangebracht. Men kan nu denken dat de kans groot is dat de draad tijdens het vastgrijpen naast deze groef terechtkomt maar dit is opgelost door op de vingers van de omkeerunit centreerplaten aan te brengen (zie punt 5.1.6).

De vingers zijn tevens zo geconstrueerd dat ze de maximale slag van de hoofdgrijper beperken. De grijper heeft namelijk een totale slag van 12mm en dat is te groot indien men bijvoorbeeld een draad op een klemmenstrook wilt aansluiten. Indien de vingers dan 12mm opengaan, beschadigen ze nabijgelegen draden (die veel dichterbij liggen).

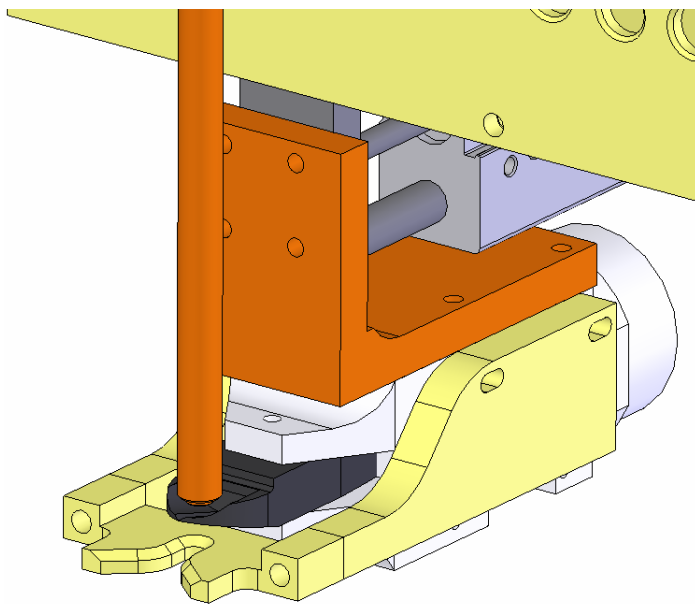
Om dit op te lossen zijn de vingers zo gemaakt dat ze slechts 5mm van elkaar staan indien de hoofdgrijper open is. Deze opening is net groot genoeg zodat er een draad van 2.5mm² door kan. Als de grijper dichtgaat, kan dit dan ook nooit volledig gebeuren, de vingers raken elkaar voor de grijper volledig dicht is.

5.1.5 Knipunit

06: *Connection_GT_NS_Wire_Centering* 15: *LSA10_A95_B60_L45*

28: *Wire_Centering_Knife*

Het pneumatische knipmes van Vessel is via een L-profiel van Misumi aan de lineaire drive bevestigd (zie Figuur 5.11). Boven het knipmes staan telescopische buizen, deze zijn zo geplaatst dat de afstand tussen het mes en de buizen zo klein mogelijk is. De draad kan dan zeker niet wegdraaien (mocht er nog wat krulling in de draad zitten).



Figuur 5.11: Knipmes en draadcentrerend

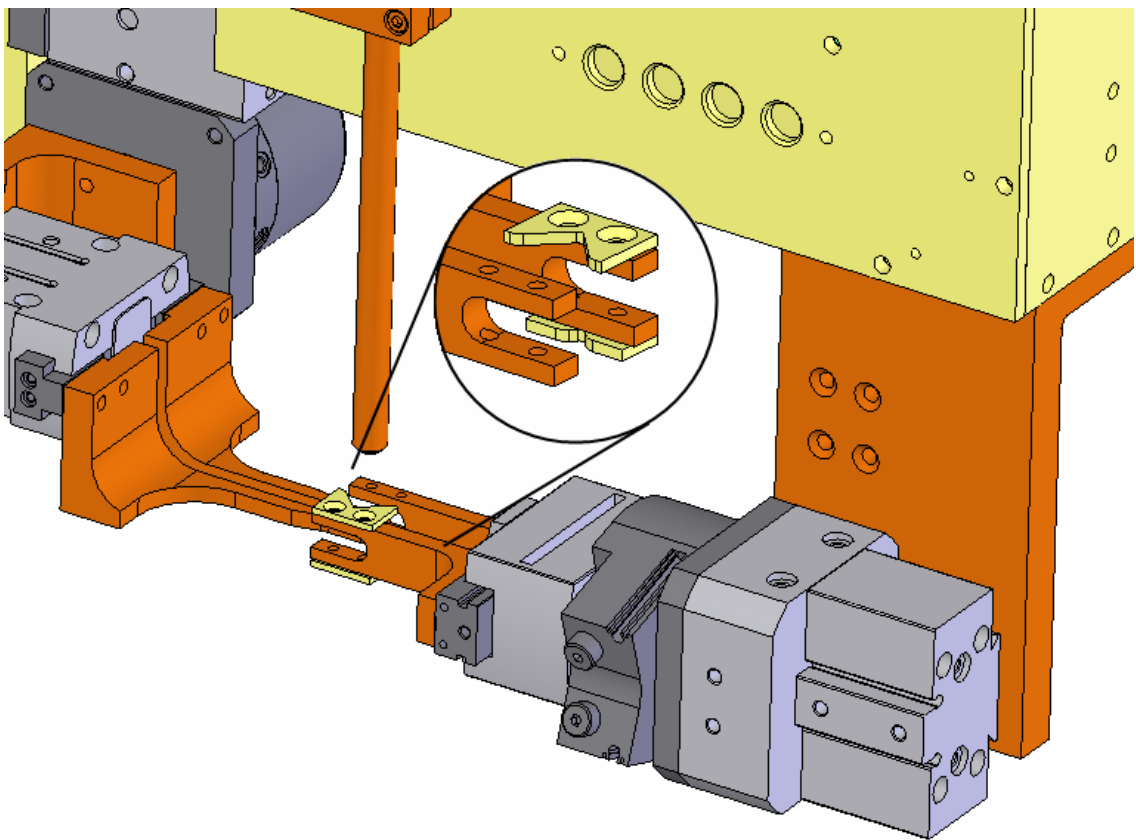
Net onder de scharen van het mes bevindt zich een klein stuk met een conische opening. Dit is er geplaatst omdat het mes ook vooruit en achteruit moet bewegen. Als het mes terug naar voor beweegt, moet men er immers zeker van zijn dat de draad terug op de juiste plaats komt. De conische opening centreert de draad opnieuw, mocht deze om één of andere reden verplaatst zijn. Merk op dat de bovenkant van de centreeropening afgeschuind is, dit is weer om te vermijden dat de draad hierachter blijft steken.

5.1.6 Omkeerunit

17: *LSS6_A32_B58_L40*

29: *Turning_Plate_1_&_2*

De zwaaijrijmodule van de omkeerunit is aan het L-profiel met flens van Misumi bevestigd (zie ook 5.1.1). De vingers van de module zijn, net zoals de vingers van de hoofdgrijper, uit een stalen L-profiel van Misumi. Hoewel deze vingers niet zo lang zijn en normaal ook niet aan botsingen onderhevig zijn, is er toch gekozen om ook deze vingers uit staal te maken zodat ze een bepaalde stevigheid bezitten.



Figuur 5.12: Vingers omkeerunit en centreerplaatjes

Op één van de vingers zijn twee kleine aluminium plaatjes aangebracht die de draad moeten centreren wanneer de grijper dichtgaat (zie Figuur 5.12). Het plaatje aan de onderkant is iets kleiner omdat de vingers van de hoofdgrijper dit anders zouden raken als de grijper naar onder beweegt. Het zijn deze plaatjes die ervoor zorgen dat de draad steeds op dezelfde plaats ligt als de grijper dichtgaat en om die reden moeten de vingers van de hoofdgrijper slechts een kleine groef hebben.

5.1.7 Sturing

01: *Connection_Cable_Guide_Fixed_End*

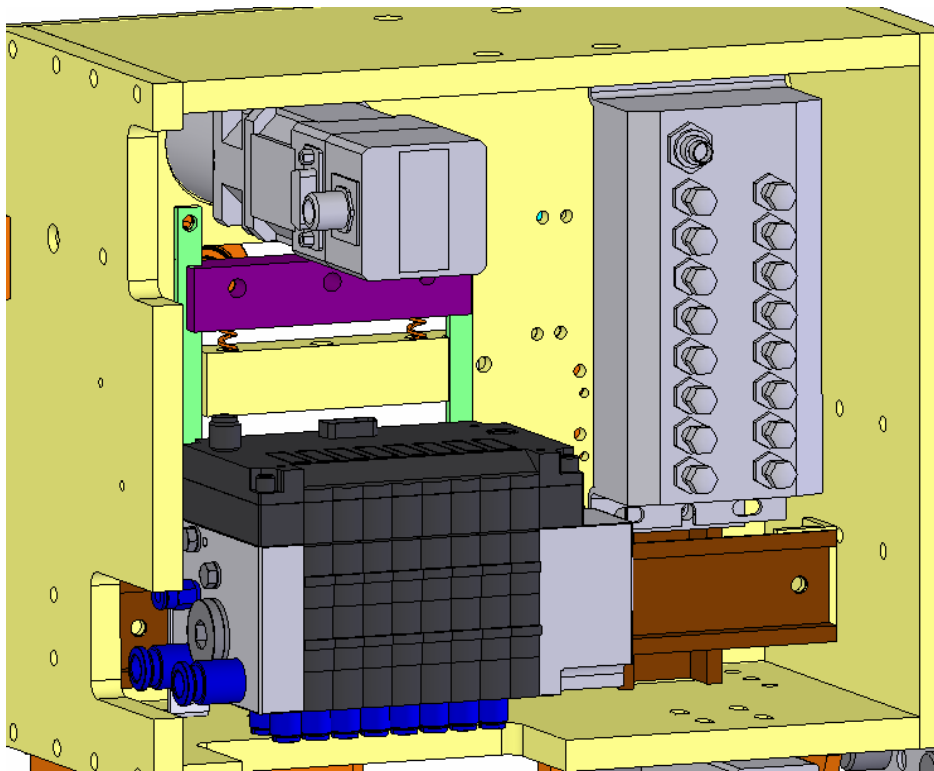
02: *Connection_Cable_Guide_Free_End*

07: *Connection_Rail_Main*

08: *Cover_Plate_Sensorcables_1*

09: *Cover_Plate_Sensorcables_2*

De totale bedradingstool bevat 10 actuatoren (9 pneumatische en de motor), deze moeten allemaal voorzien zijn van voedingsleidingen (perslucht of elektriciteit) en sensoren. Omdat dit zeer veel kabels zijn, is er gekozen om de sturing gedeeltelijk in de bedradingstool te plaatsen. Aan de binnenkant van het basisframe is namelijk genoeg plaats om bepaalde dingen te plaatsen. Figuur 5.13 toont het basisframe langs de achterkant. Om de sturingsmodules te monteren zijn twee DIN rails aan de binnenkant van het frame geplaatst. Via twee kleine L-profielen zijn de rails aan het frame vastgemaakt.



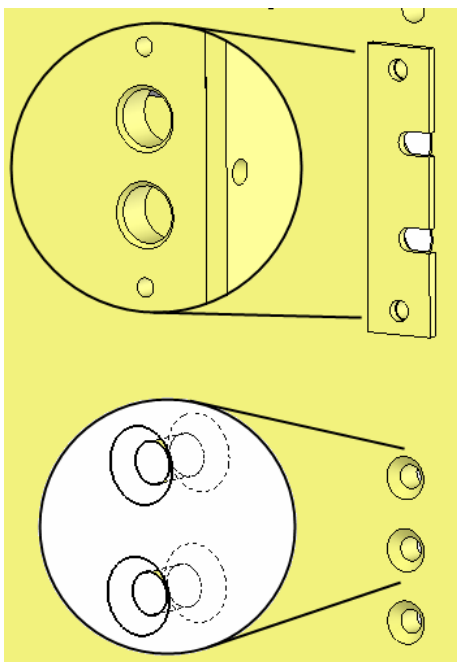
Figuur 5.13: Ventieleiland en sensorblok

Links op de figuur staat het ventieleiland dat alle pneumatische actuatoren moet aansturen. De keuze en verantwoording van dit type ventieleiland komt aan bod in punt 5.2.1. Rechts op Figuur 5.13 staat een ingangsmodule van Festo, deze is speciaal

ontworpen om sensoren op in te pluggen. Deze is via een kabel verbonden met het ventieleiland (zie hiervoor punt 5.2.2). Het aantal leidingen dat langs de robotarm moet lopen is hierdoor sterk verminderd, onderstaande lijst geeft een overzicht van de leidingen weer.

- Twee persluchtleidingen (één voor hoofdlucht en één voor stuurlicht)
- Een voedingskabel voor het ventieleiland / de ingangsmodule
- Een datakabel voor het ventieleiland / de ingangsmodule (Profibus)
- Een voedingskabel voor de motor
- Een datakabel voor de encoder van de motor
- Een teflonbuis waardoor de draad binnenkomt

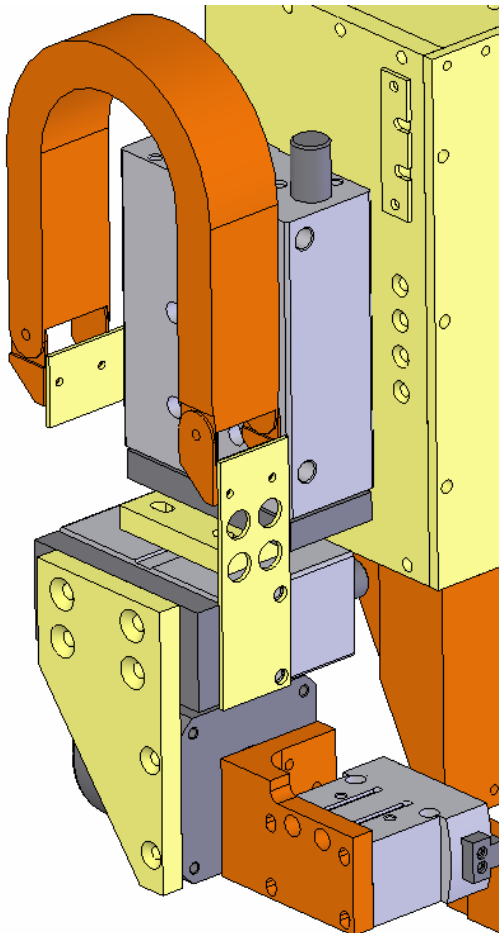
Het is ook belangrijk om op voorhand na te denken hoe alle leidingen op de bedradingstool moeten komen. Het is immers handig om reeds gaten of uitsparingen voor sensoren of perslucht te voorzien. Om die reden zijn op verschillende plaatsen in het basisframe gaten geplaatst zoals op Figuur 5.14. De bovenste gaten zijn voor sensorkabels. Daar deze nog een stekker hebben op het uiteinde, moeten de gaten redelijk groot zijn. Naderhand kan men de gaten afdekken met een plaatje zodat de kabel niet te los ligt.



Figuur 5.14: Gaten sensoren en leidingen

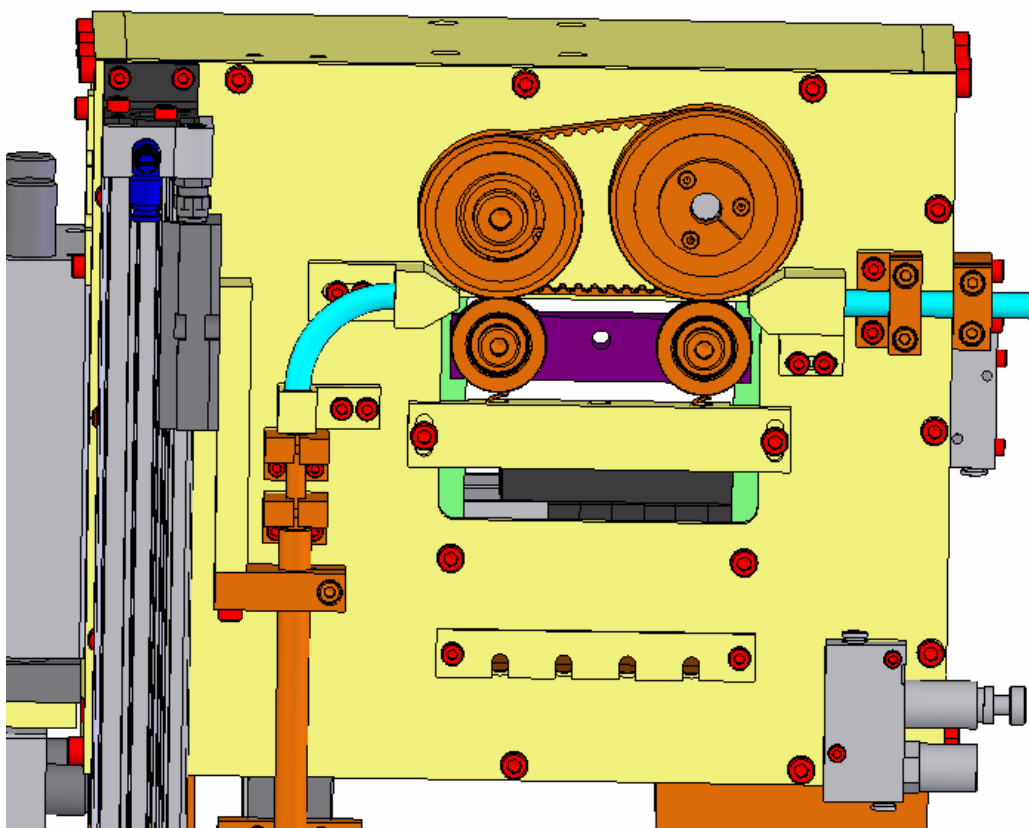
De onderste gaten op Figuur 5.14 zijn bestemd voor persluchtleidingen. Voor de veiligheid zijn zowel deze gaten als de gaten voor de sensoren aan beide kanten verzonken. Er zijn dus geen scherpe kanten aan het frame die eventueel de leidingen kunnen beschadigen.

Omdat de grijperarm een relatief grote beweging moet maken (80mm verticaal), kan dit problemen opleveren voor persluchtleidingen en sensorkabels. Om die reden is een kabelrups geplaatst die ervoor zorgt dat de kabels steeds op de juiste plaats liggen (zie Figuur 5.15). In totaal liggen er zes persluchtleidingen en zes sensorkabels door de kabelrups. De meeste hiervan moeten naar achter afgeleid worden (voor de horizontale lineaire drive en de draaimodule). De leidingen voor de hoofdgrijper kunnen echter beter langs voor lopen, maar hiervoor zit de bevestiging van de kabelrups in de weg. Om die reden zijn er in het bevestigingsplaatje gaten aangebracht waardoor de leidingen kunnen lopen.



Figuur 5.15: Kabelrups voor de grijperarm

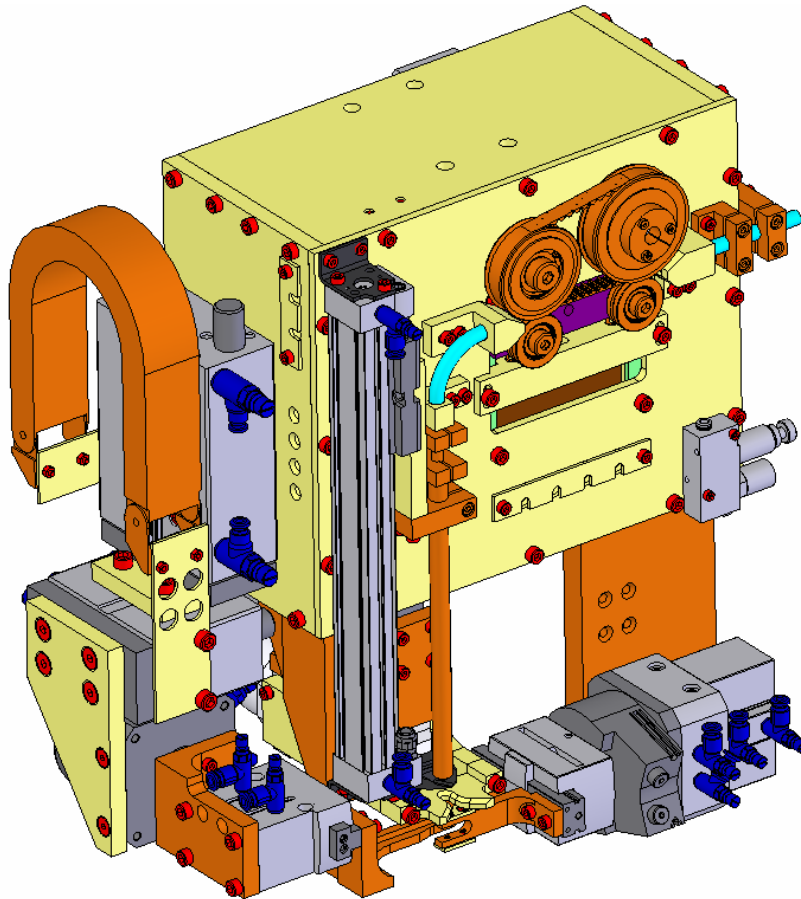
Omdat er aan de binnenkant van het frame weinig plaats is vanwege het ventieleiland, de ingangsmodule en alle leidingen, is ervoor gezorgd dat alle onderdelen die op de voorkant van het frame staan, allemaal langs de voorkant te demonteren zijn. Indien één van de componenten defect is, is het dus niet nodig om heel de binnenkant van het frame leeg te maken om aan een bepaalde bout te kunnen. Ook de rest van de bedradingstool is zo opgebouwd dat alles gemakkelijk te monteren of demonteren is. Er zijn alleen inbusbouten gebruikt en er is geprobeerd om zo weinig mogelijk verschillende maten te gebruiken, ook weer om montage en demontage te bevorderen.



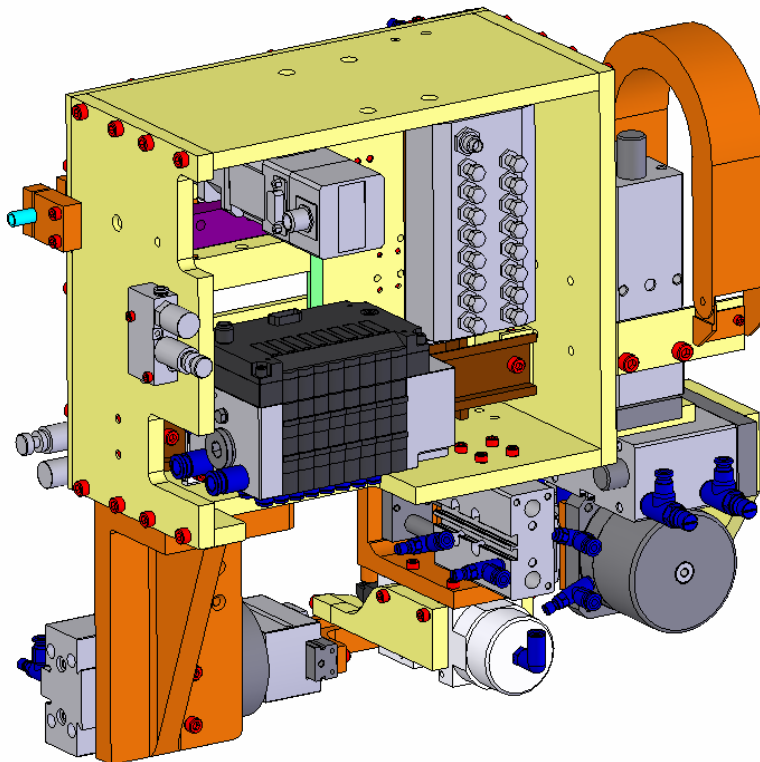
Figuur 5.16: Alles demonteerbaar langs voorkant

5.1.8 Volledig ontwerp

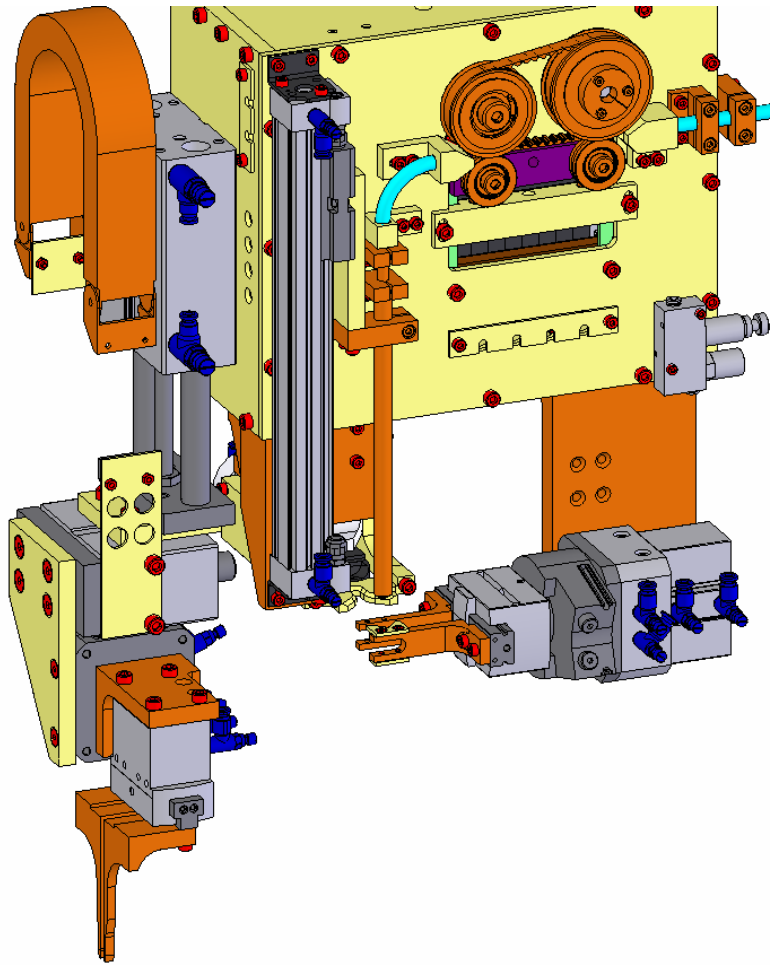
Figuur 5.17 tot en met Figuur 5.22 geven een overzicht van het volledige ontwerp. Op deze figuren zijn ook alle bouten (in het rood) en alle pneumatische aansluitingen (in het blauw) getekend. Het volledige ontwerp is ook terug te vinden op de cd-rom van deze scriptie onder “*Tekeningen / Solid_Works_2006*” (te openen met Solid Works 2006 of een latere versie). Naast de assembly is er ook een animatievideo van de werkcyclus te vinden onder “*Videos / Finaal_Ontwerp_Werkcyclus.avi*”.



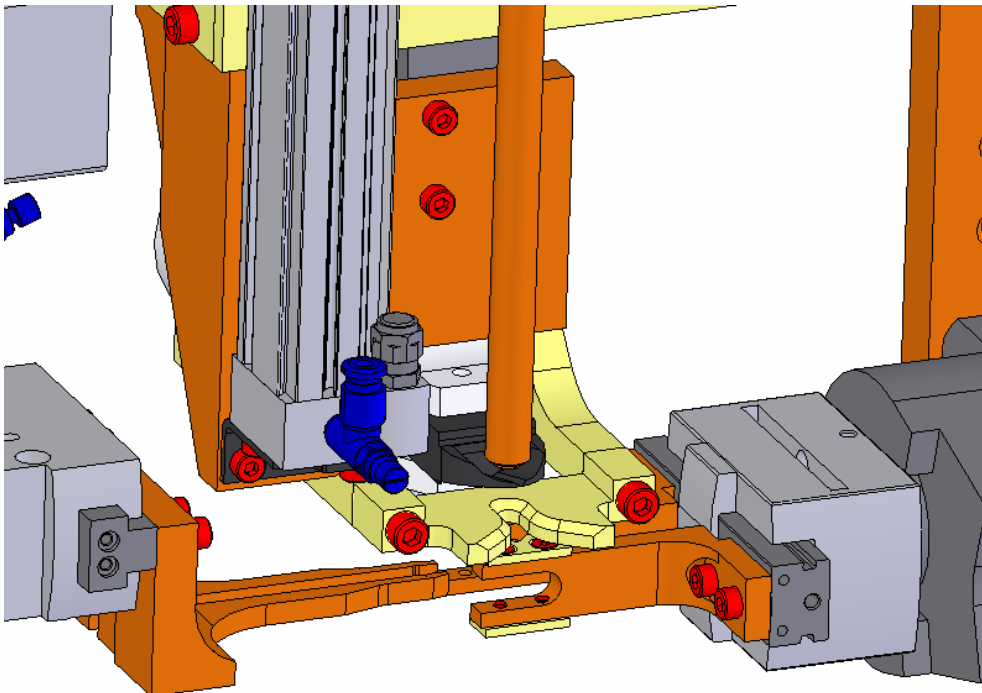
Figuur 5.17: Overzicht voorkant



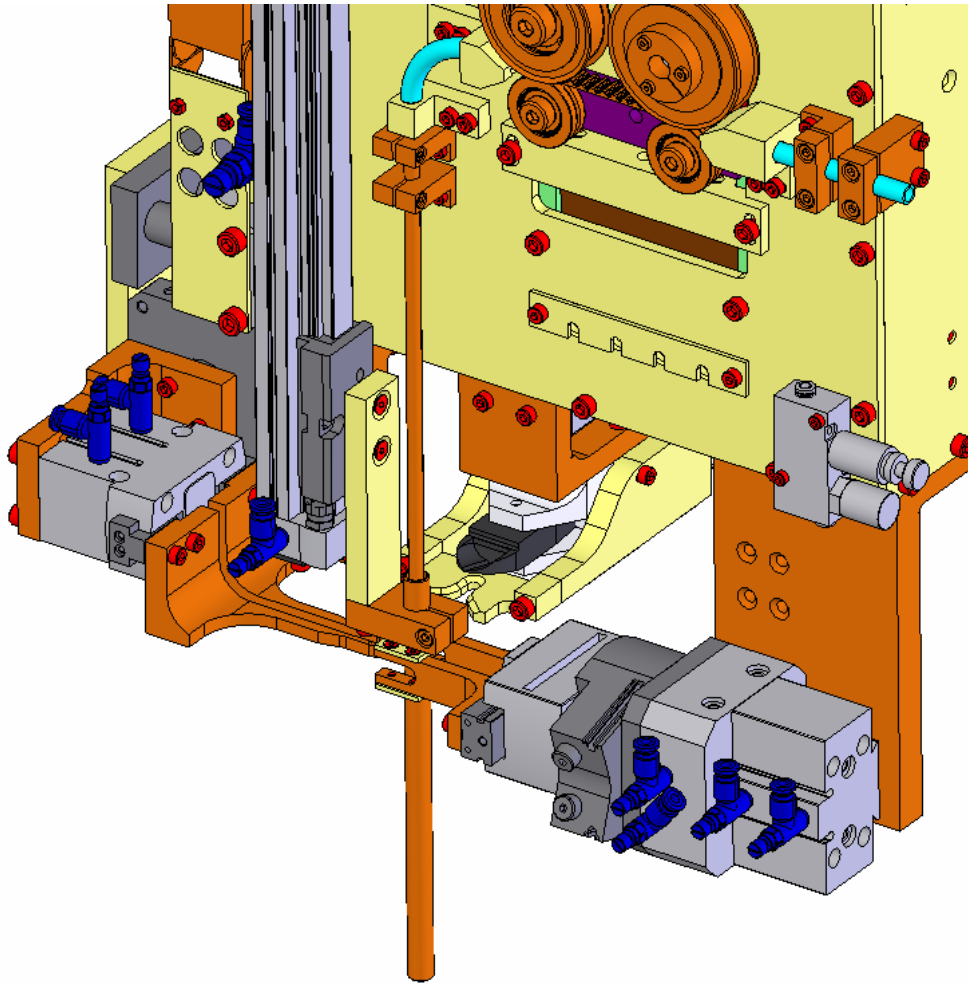
Figuur 5.18: Overzicht achterkant



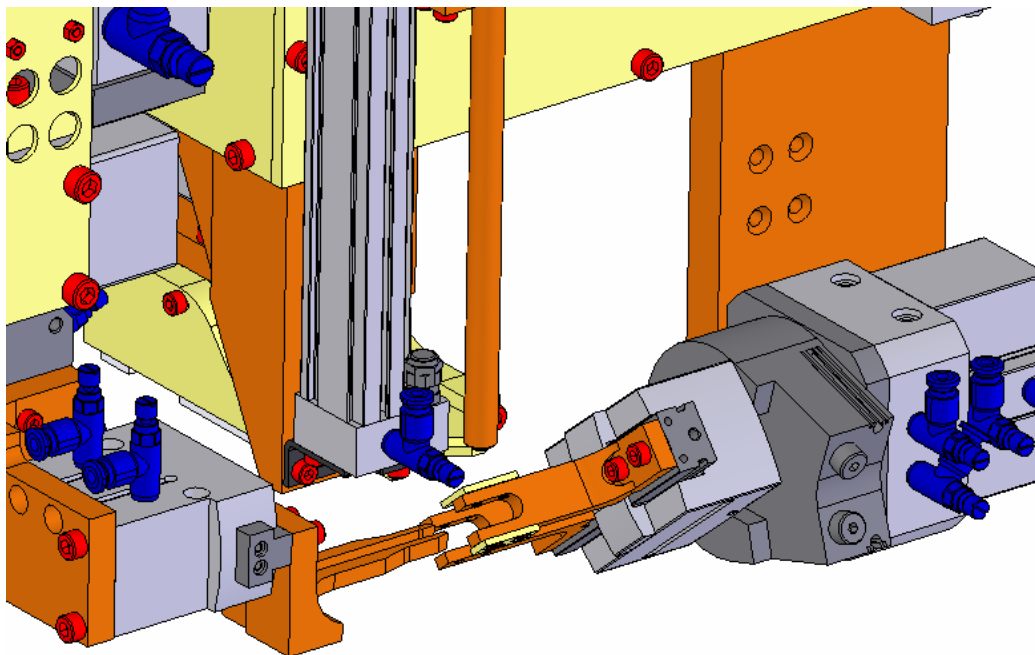
Figuur 5.19: Grijperarm volledig uitgestrekt



Figuur 5.20: Close up knipmes



Figuur 5.21: Telescopische buis naar beneden



Figuur 5.22: Close up omkeerunit

5.2 Pneumatische sturing (zie ook Bijlage E)

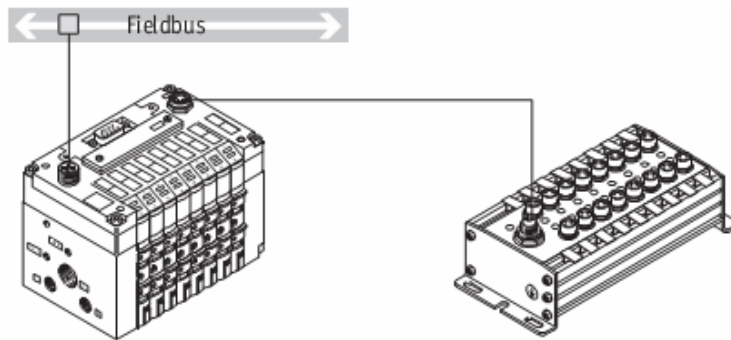
5.2.1 Ventieleiland

Om de actuatoren te sturen, zijn verschillende ventielen nodig, het is echter ook mogelijk alle ventielen te combineren in één blok, een ventieleiland genoemd. Voordelen van een ventieleiland zijn de compacte bouw (ten opzicht van losse ventielen) en ook de aansturing kan veel simpeler gebeuren. Bij afzonderlijke ventielen moet men namelijk ieder ventiel van aparte stuurkabels voorzien, bij een ventieleiland kan men dit ook anders oplossen, bijvoorbeeld door een veldbussysteem (zoals Profibus of Interbus) te gebruiken. Concreet wilt dit zeggen dat men de signalen van meerdere ventielen en sensoren via een speciaal protocol over een paar (meestal twee) datalijnen kan versturen. In plaats van tientallen kabels voor de sturing gebruiken, kan men dit met een veldbussysteem tot een paar aders beperken. Meer uitleg over het gebruikte veldbussysteem, staat beschreven in punt 5.3.1.

Na een zoektocht, bleek dat het ventieleiland van CPV 10 het meest geschikt is voor de bedradingstool. Figuur 5.23 toont een mogelijke opstelling van het ventieleiland. Het voordeel van de CPV 10 is zijn erg compacte bouw (ieder ventiel is slechts 10mm breed). Daarnaast ondersteunt het ventieleiland ook het “Fieldbus Direct” systeem (zie Figuur 5.24). Dit systeem heeft volgende structuur: het ventieleiland is rechtstreeks gekoppeld aan het veldbussysteem (Profibus, Interbus, ...). Men kan dus zeer simpel meerdere ventieleilanden op de zelfde veldbus koppelen. Vanuit ieder ventieleiland vertrekt een kabel naar een ingangsmodule. Op deze ingangsmodule kan men tot 16 sensoren koppelen. Het voordeel is dat men de ingangsmodule niet apart op het veldbussysteem hoeft aan te sluiten, alle communicatie van de sensoren gebeurt via het ventieleiland. Meer informatie omtrent de sensoren is te vinden in punt 5.2.2.

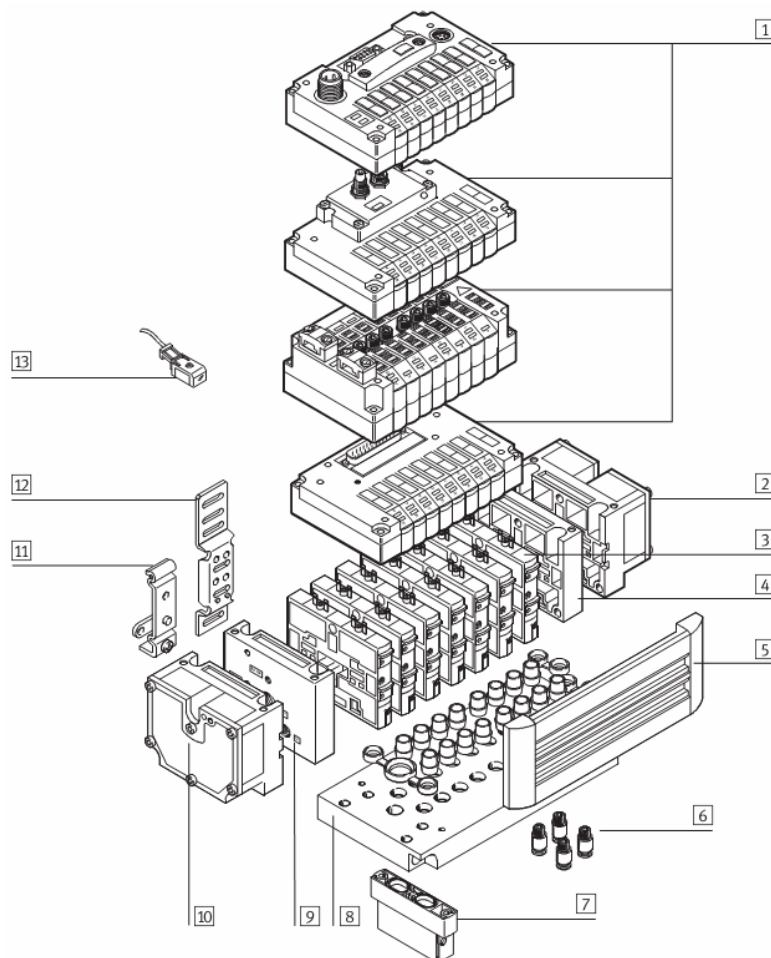


Figuur 5.23: CPV Ventieleiland [FES p4/2.1-2]



Figuur 5.24: Fieldbus Direct systeem [FES p4/2.1-6]

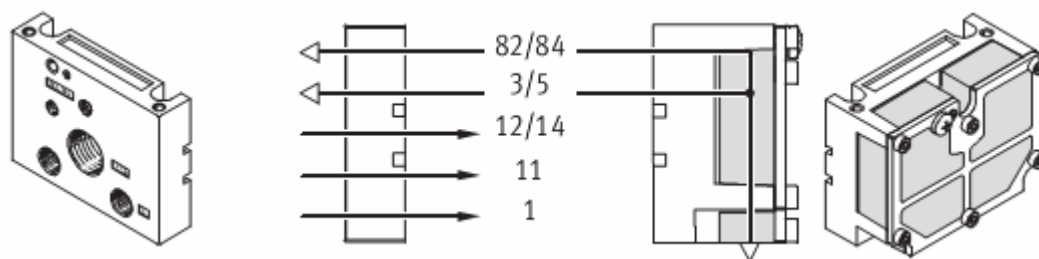
Figuur 5.25 toont de opbouw van een CPV ventieleiland. Het pneumatische gedeelte bestaat uit enkele ventielmodules (3) met op het einde twee eindplaten. Deze kunnen gewone aansluitingen bevatten (4 en 9) of uitgerust zijn met een grote geluidsdemper (2 en 10). De aansluitingen van de actuatoren kunnen rechtstreeks gebeuren via push in connectoren (6) of via een “multi connector” plaat (8).



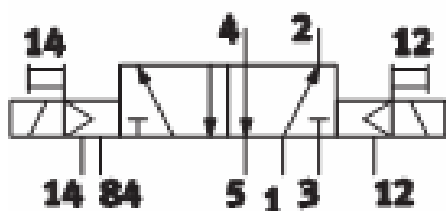
Figuur 5.25: Opbouw CPV ventieleiland [FES p4/2.1-8]

Eventueel kan men in plaats van gewone aansluitingen ook rechtstreeks debietregelaars (smoringen) op de ventieluitgangen plaatsen (7). Om de ventielen te sturen kan men elk ventiel apart sturen via een kabel (13) of men kan een volledig bovenpaneel plaatsen (1). Deze kan verschillende interfaces bezitten en Festo ondersteunt de meest gangbare bussystemen zoals Profibus, Interbus en CANopen. In totaal kan men uit meer dan tien verschillende bovenpanelen kiezen. Voor deze toepassing is een Profibus connectie gekozen omdat ook de andere toestellen via Profibus kunnen werken. Daarnaast biedt Profibus ook voldoende uitbreidingsmogelijkheden indien men de bedradingstool in een later stadium wilt koppelen met de robot of andere toepassingen.

De eindplaten die geselecteerd zijn voor het ventieleiland zijn van het type D (zie Figuur 5.26). De rechter eindplaat is hierbij uitgerust met een grote geluidsdemper. Dit heeft als voordeel dat men geen retourleiding langs de robot moet voeren. De ingangen komen binnen langs de rechter eindplaat. Ingangen 1 en 11 dienen voor de hoofdlucht van de ventielen. De lijn 12/14 is voor de stuurlicht. Een ventiel wordt namelijk niet rechtstreeks elektrisch gestuurd omdat de elektromagneet daar niet sterk genoeg voor is. In plaats daarvan schakelt het magneetje een klein ventieltje en deze stuurlicht schakelt op zijn beurt het hoofdventiel (zie Figuur 5.27). Daar de ontluchting via de geluidsdemper aan de rechterkant gebeuren, mag men de uitgangen 3/5 en 82/84 afsluiten met een stop.

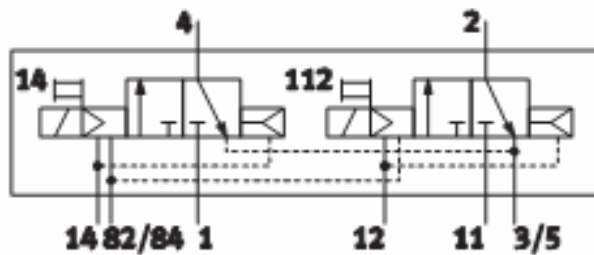


Figuur 5.26: Eindplaten type D [FES p4/2.1-17]

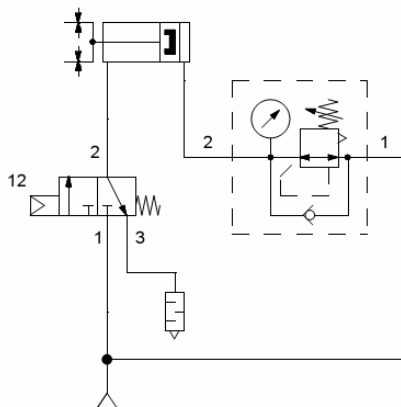


Figuur 5.27: Stuurlucht 5/2 Ventiel [FES p4/2.1-9]

Het ventieleiland van type CPV heeft slechts één nadeel: men kan er slechts acht ventielmodules langs elkaar plaatsen en de bedradingstool heeft negen actuatoren. Dit kan men echter oplossen door een module met 3/2 ventielen te gebruiken, deze bevat namelijk twee ventielen die men apart kan sturen (zie Figuur 5.28). Met deze 3/2 ventielen kan men vervolgens het knipmes aansturen (dit is enkelwerkend) en ook de hoofdgrijper. Hoewel deze in principe dubbelwerkend is uitgevoerd, kan men de grijper toch aansluiten op een 3/2 ventiel.



Figuur 5.28: Dubbel 3/2 ventiel [FES p4/2.1-9]



Figuur 5.29: Grijper aansturen met 3/2 ventiel

Figuur 5.29 toont hoe dit kan gebeuren. De leiding om de grijper te openen is via een kleine drukregelaar rechtstreeks op de hoofdleiding aangesloten en afgeregeld op bijvoorbeeld 4bar. Indien het 3/2 ventiel niet bekrachtigd is, is de grijper dan ook open. Indien men het 3/2 ventiel bekrachtigt, komt er een druk van 6bar aan de aansluiting om de grijper te sluiten. Daar de druk aan de andere zijde lager is (4bar), gaat de grijper dicht. De grijper neemt de draad nu met een druk van 2bar vast. Als men stopt met het 3/2 ventiel te bekrachtigen, zorgt de 4bar aan de openzijde er terug voor dat de grijper opengaat. Men heeft dus een pneumatische veer gecreëerd. Het voordeel hiervan is dat

men de druk die de grijper op de draad uitoefent (en dus ook de grijpkracht) kan regelen. De drukregelaar kan men zo instellen dat er een minimale indrukking van de draad plaatsheeft.

Naast een module met twee 3/2 ventielen, bevat het CPV ventieleiland voor de rest enkel bistabiele 5/2 ventielen (zie Figuur 5.27). Mocht er een fout op de bedradingstool ontstaan waardoor de spanning uitvalt of iets dergelijk, dan blijven alle actuators staan in hun huidige positie. Dit is het beste aangezien de actuators zo geen schade kunnen oplopen. Neem als voorbeeld het geval waar de telescopische buis is uitgeschoven. Indien op dat moment bijvoorbeeld de spanning wegvalt en bepaalde actuators naar hun stabiele positie willen terugkeren (bijvoorbeeld de omkeerunit), kan er schade optreden. Om die reden is er overal voor bistabiele 5/2 ventielen gekozen. Een extra voordeel van bistabiele ventielen is dat men ze met een puls kan sturen en dat er niet een signaal constant hoog moet blijven.

Het volledige pneumatische schema met alle actuators, aansluitingen en regelaars is opgenomen in Bijlage E. Dit is getekend in Fluidraw 1.3n. Merk op dat op iedere actuator (uitgezonderd het knipmes) debietregelaars staan. Dit zijn kleine regelaars van Festo van het type GRLA (zie Figuur 5.30) en deze kan men rechtstreeks op de actuators aansluiten (in plaats van een gewone koppeling). Door de regelaars kan men van iedere actuator de snelheid regelen, wat handig is om alle bewegingen fijn af te regelen. Merk op dat de GRLA de uitgaande lucht smooft, dit is het meeste gebruikt omdat dit het meest soepel verloopt. Indien men de ingaande lucht smooft, kan het zijn dat de actuator niet voldoende lucht krijgt en in schokken vooruit gaat.



Figuur 5.30: Debietregelaar type GRLA [FES p2/5.6-13]

Het ventieleiland heeft ook een optie om debietregelaars in te bouwen (zie ook Figuur 5.25), maar dit is geen goede keuze omdat men steeds de smoring zo dicht mogelijk bij de actuator moet doen. De persluchtleiding tussen het ventieleiland en de actuator kan de smoring immers verstoren indien men deze op het eiland aanbrengt.

5.2.2 Sensoren

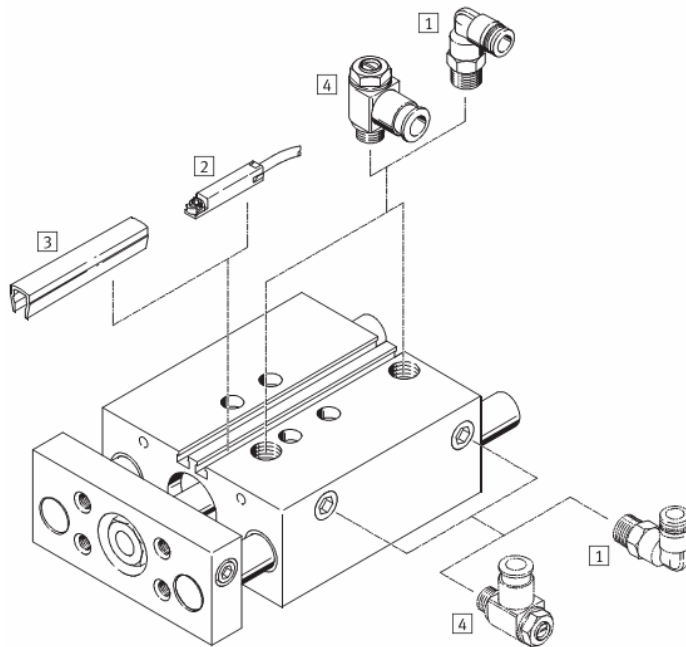
Naast het pneumatische sturing, is iedere actuator ook voorzien van twee naderingssensoren om de eindposities te detecteren. Enkel het knipmes is hier een uitzondering op omdat deze het gebruik van sensoren standaard niet ondersteunt. De sensoren zien eruit zoals het type links op Figuur 5.31, enkel de sensoren van de draaimodule (DSM-16) heeft andere sensoren (zoals rechts op Figuur 5.31), doch dit is enkel om constructieve redenen. Qua werking zijn beide sensoren identiek.



Figuur 5.31: Naderingssensoren [FES p1/10.2-13]

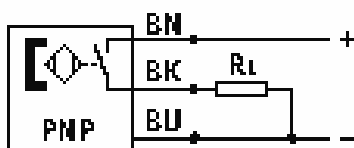
In het algemeen heeft Festo twee types naderingssensoren, ofwel werken ze via het magnetoresistieve principe, ofwel werken ze via een magnetisch reed contact. Daar het eerste type het meest is gebruikt in de industrie, zijn ook voor de bedradingstool sensoren van het magnetoresistieve type geselecteerd. De sensor moet men aan de zijwand van de actuator plaatsen in speciaal daarvoor voorziene gleuven. Figuur 5.32 toont waar men de sensor moet plaatsen bij een lineaire drive van het type DFM (nummer 2 op de figuur). De sensor kan vervolgens de aanwezigheid van de zuiger detecteren omdat het al dan niet aanwezig zijn van de zuiger een andere magnetische weerstand oplevert. De sensor meet deze magnetische weerstand en stuurt op basis hiervan een signaal uit. Het signaal van het pure meetelement is analoog, maar hier heeft men in de procesindustrie vaak weinig aan. Om die reden bevat de behuizing van

de sensor tevens signaalconditionering die de binnenkomende waarde van het meetelement omzet naar een binaire waarde: een logische één bij aanwezigheid van de zuiger, een logische nul bij de afwezigheid.



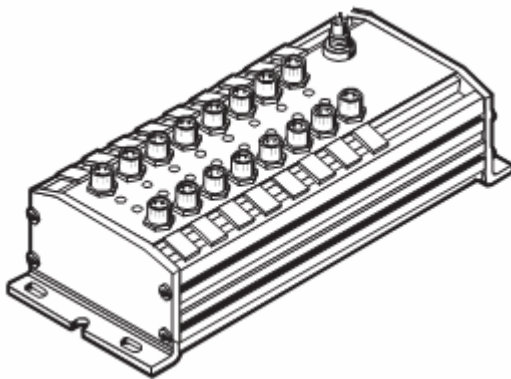
Figuur 5.32: Plaatsing naderingssensoren [FES p1/6.2-68]

Welke signaalconditionering precies in de behuizing zit, is niet terug te vinden in de datasheets van de sensoren, maar dit is ook niet van belang. Wel belangrijk is het uitgangssignaal en hoe men dit moet interpreteren. Zoals men op Figuur 5.33 kan zien, heeft iedere sensor drie draden: twee voor de voeding en één signaallijn. Deze signaallijn wordt, afhankelijk van de logica van de sensor, hoog of laag bij aanwezigheid van de zuiger. De sensoren van de bedradingstool hebben allemaal positieve logica (PNP), de signaallijn wordt dan ook hoog bij aanwezigheid van de zuiger. Door de signaallijn aan een PLC te koppelen (voorgesteld door R_L), kan men de stand van de zuiger bepalen.



Figuur 5.33: Output naderingssensor [FES p1/10.2-13]

De sensoren zijn echter niet rechtstreeks op de PLC gekoppeld, maar wel via een ingangsmodule op het ventieleiland (zie ook het “Fieldbus Direct” systeem op Figuur 5.24). De ingangsmodule ziet eruit zoals Figuur 5.34 en bevat 16 M8 connectoren voor de sensoren en één aansluiting om de ingangsmodule met het ventieleiland te verbinden. Het exacte aansluitschema van de sensoren is een onderdeel van het elektrische schema (voor meer uitleg, zie ook 5.3) dat is terug te vinden in Bijlage F (de ingangsmodule staat op pagina F11 en F17).



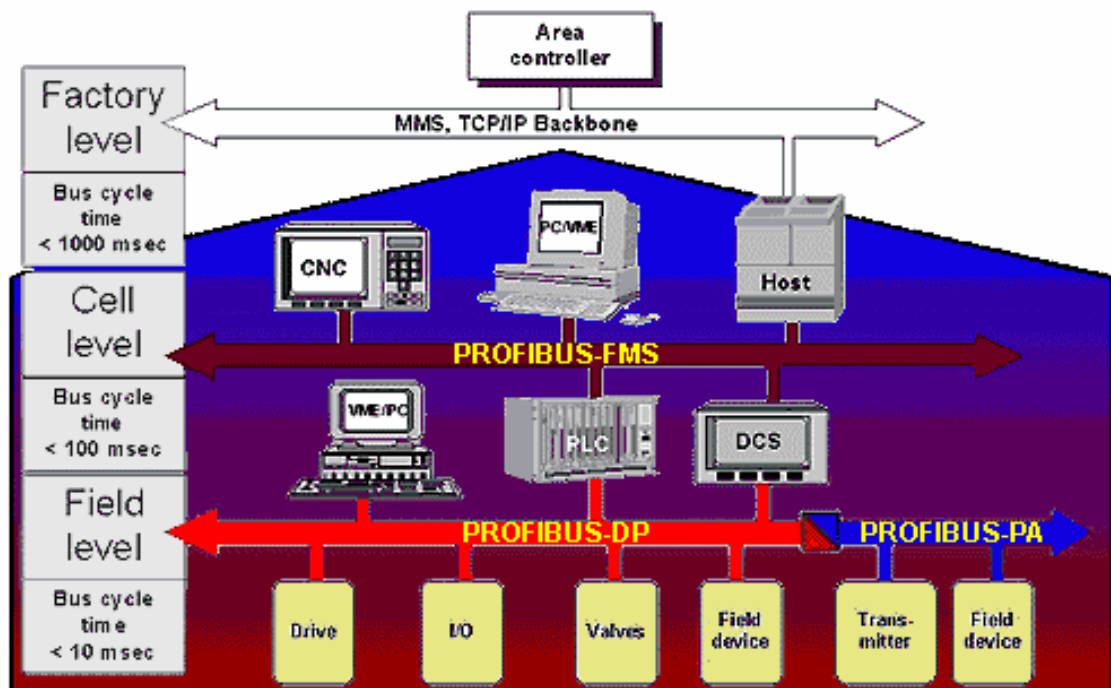
Figuur 5.34: Ingangsmodule sensoren [FES p4/5.1-85]

Merk op dat niet alle sensoren rechtstreeks op de ingangsmodule zijn gekoppeld, vaak is nog een verlengkabel gebruikt. Hoewel dit in principe niet nodig is (de sensoren kunnen geleverd worden met een kabel van 2.5m), is dit toch zeer handig als men ooit de sensor moet vervangen. Neem als voorbeeld de sensoren van de hoofdgrijper. De draden hiervan lopen eerst door de kabelrups alvorens de ingangsmodule te bereiken. Indien de sensor nu defect is, moet men de hele kabelrups openmaken alvorens men deze kan vervangen. Het is daarom beter om via een tussenstuk te werken. De sensor zelf heeft slechts een kabel van 0.3m met daarop een plug. Op deze plug steekt een verlengkabel en het is deze die door de kabelrups gaat, richting de ingangsmodule. Hoewel deze oplossing duurder is door het gebruik van extra kabels, kan men hierdoor de sensoren wel veel beter vervangen.

5.3 Elektrische sturing

5.3.1 Profibus

Om het aantal draden naar de bedradingstool te beperken, is er gewerkt met een veldbussysteem. Hoewel er verschillende bussystemen op de markt zijn, is er voor deze toepassing voor Profibus gekozen daar dit wereldwijd één van de meest gebruikte systemen is. Daarnaast ondersteunen de belangrijkste componenten (ventieleiland, motion controller en PLC) allemaal dit bussysteem. Ook indien men op later tijdstip de andere toestellen aan het project gaat toevoegen (robotarm, draadvoorbereiding, ...) kan men deze via het Profibus systeem aansluiten. Er zijn drie verschillende types van Profibus met elk hun specifiek toepassingsgebied. Figuur 5.35 toont waar men de verschillende systemen kan tegenkomen.

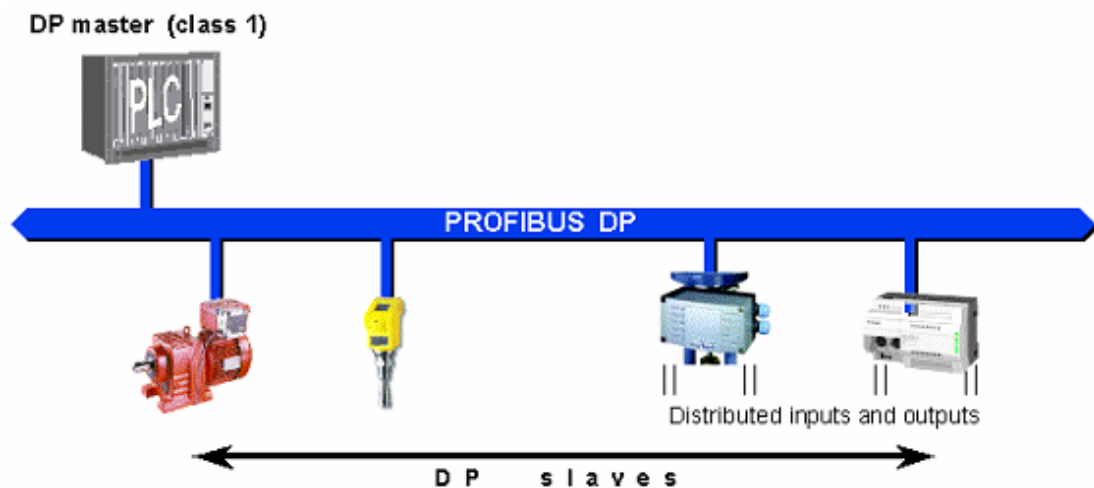


Figuur 5.35: Overzicht Profibus systemen [BUS]

Op bedrijfsniveau werkt men meestal met een (industriële) ethernet systeem. Om de verschillende PLC's en PC's onderling met elkaar te verbinden kan men gebruik maken van Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification). Profibus-DP (Decentral Periphery) heeft een hoge snelheid en lage aansluitkosten. Dit systeem is bedoeld voor

de communicatie tussen PLC's en apparaten in het proces (zoals drives of kleppen). Als laatste is er ook nog Profibus-PA (Process Automation) dat ontwikkeld is voor de communicatie met actuatoren en sensoren. Profibus-PA kan tevens werken in intrinsiek veilige gebieden (voor bijvoorbeeld explosie gevaarlijke gebieden).

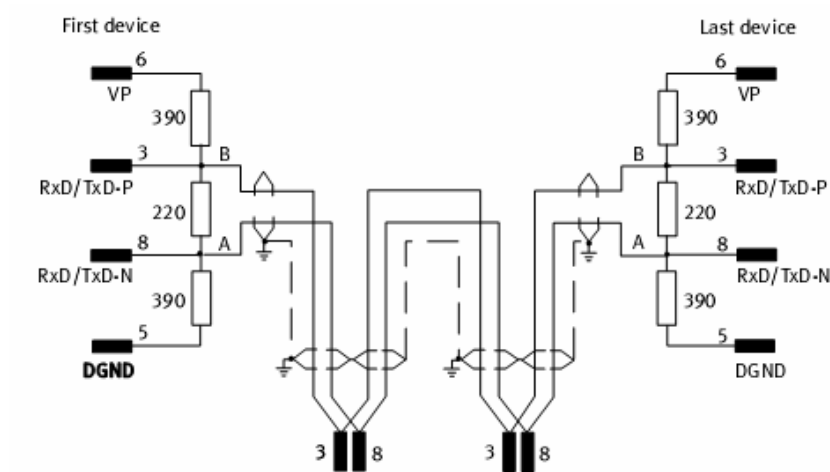
Figuur 5.36 toont de opbouw van een eenvoudig Profibus-DP systeem. Vanboven in het systeem staat de Master, in dit geval een PLC. Onder de PLC staan verschillende Slaves die allemaal na mekaar verbonden zijn aan het Mastertoestel. In een Profibus DP systeem zijn alle toestellen in één lijn na elkaar aangesloten. Er vertrekt één kabel van het eerste toestel (bv. de Master) naar het tweede toestel. Vanuit het tweede toestel vertrekt vervolgens weer een kabel naar toestel drie enzovoort.



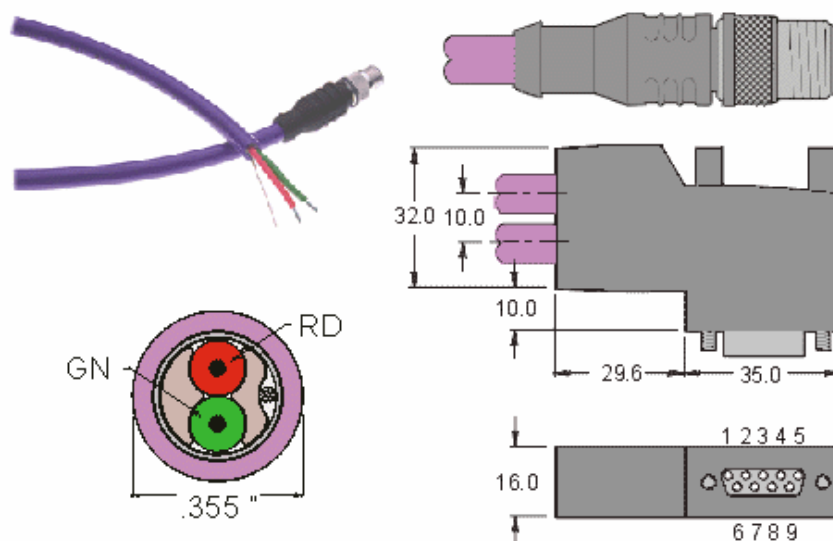
Figuur 5.36: Opbouw Profibus systeem [BUS]

Om alle signalen naar de toestellen te sturen, moet een speciale Profibuskabel gebruiken. Deze bevat twee lijnen voor data en nog een aparte shielding. Figuur 5.37 toont hoe men de Profibuskabel moet aansluiten. De datalijnen A en B zijn tussen alle toestellen aangesloten en de shielding is telkens met de aarde verbonden (het nut van shielding staat beschreven in punt 5.3.3). Merk op dat men in het begin en op het einde van de keten weerstanden moet plaatsen die de reflectie van de signalen moeten voorkomen. Deze weerstanden moet men niet apart bijplaatsen, in de meeste gevallen zijn deze al in de Profibusstekkers of toestellen geïntegreerd en moet men ze enkel nog activeren. De Profibuskabel heeft een typische paarse kleur (zie Figuur 5.38). De stekkers die men meestal gebruikt, zijn negenpolige Sub D connectoren (onderaan op

Figuur 5.38) waar men twee Profibuskabels op aansluit (één binnenkomende en één vertrekkende). Soms kan men ook ronde vijfpolige stekkers (bovenaan op de figuur) gebruiken, maar dit wordt minder toegepast.



Figuur 5.37: Aansluiting Profibuskabel [BECK]



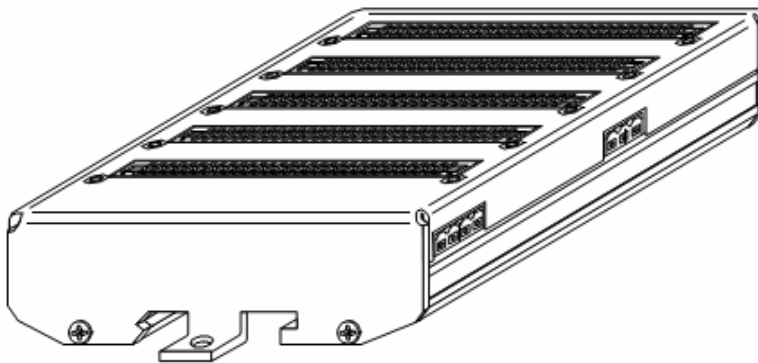
Figuur 5.38: Profibuskabel en stekkers [BUS]

5.3.2 PLC

De belangrijkste component van het elektrische schema is de PLC, deze moet namelijk de volledige sturing van de bedradingstool doen en moet ervoor zorgen dat op de gepaste tijdstippen, de gepaste acties gebeuren. Er zijn echter tientallen verschillende fabrikanten die PLC's op de markt brengen, elk met hun eigen programmeertaal. In eerste instantie is er gekeken naar een PLC van Telemecanique omdat P&V goede

contacten heeft met dat bedrijf. Toen echter bleek dat Festo financieel wou tussenkomen in de door hun geleverde producten, is er ook naar een oplossing met Festo gekeken. Door een sturing van Festo te nemen, kan men er immers zeker van zijn dat alle componenten op elkaar zijn afgestemd. Bij sturingen van andere leveranciers kunnen er mogelijk veel grotere compatibiliteitsproblemen optreden.

De gekozen oplossing van Festo is een IPC (Industriële PC), maar deze kan men ook als gewone PLC gebruiken via het programmeerpakket FST (Festo Software Tool). In feite is de IPC niet van Festo zelf, maar van Beck, een bedrijf dat in de Festo Group zit. De basis van de IPC is het busboard (zie Figuur 5.39). Dit busboard bevat slots waarop men de verschillende modules van het systeem moet inpluggen. Het gekozen busboard voor de IPC heeft in totaal vijf slots. Rechts op de figuur is nog een aansluiting voor de voedingsspanning, deze bedraagt 24VDC. Het busboard heeft dus, in tegenstelling tot veel andere PLC's, geen aparte voedingsmodule nodig. Bij veel andere PLC's moet men één slot vrijhouden voor een speciale voedingsmodule (gevoed met 230VAC), maar dit is bij het busboard van Festo niet nodig.

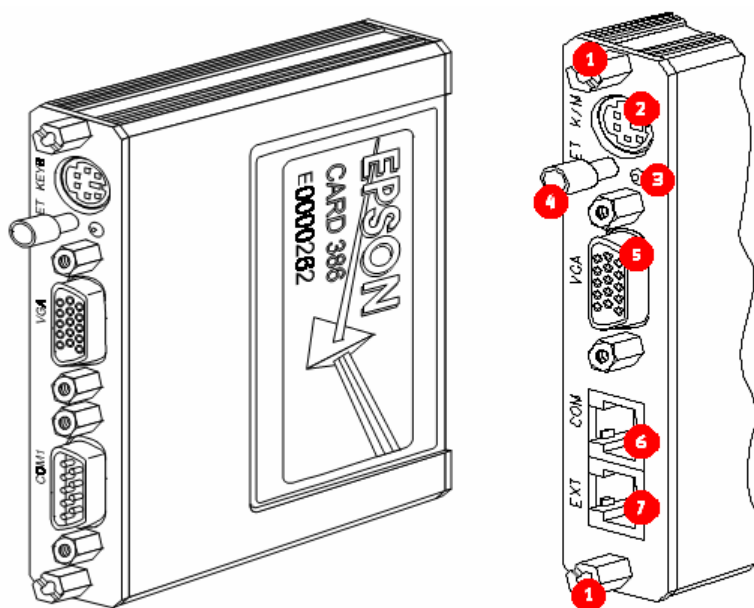


Figuur 5.39: IPC Busboard [BECK]

In totaal komen er vier modules op het busboard:

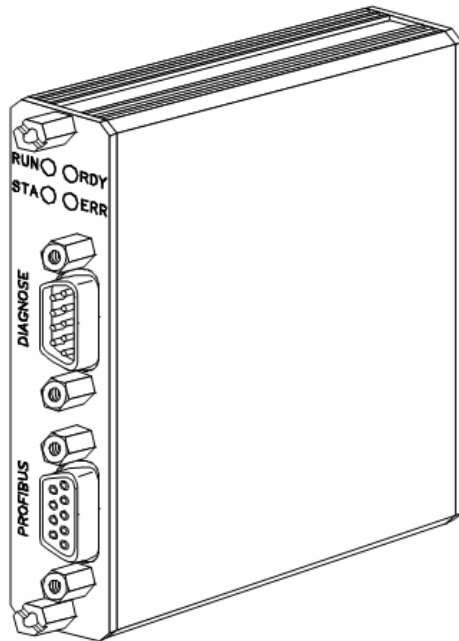
- **Een processormodule:** dit is het brein van de IPC en voert alle berekeningen uit.
- **Een Profibus module:** deze module maakt verbinding met het ventieleiland en de motion controller van de motor.
- **Twee I/O modules:** deze zijn vooral bedoeld om dingen te simuleren aan de hand van knoppen en lampen.

De belangrijkste module van de IPC is de processormodule, deze verwerkt binnenkomende signalen, voert alle berekeningen uit en stuurt vervolgens de nieuwe signalen door naar de juiste outputs. Figuur 5.40 toont de opbouw van de processormodule. Via twee schroeven (1) kan men de module bevestigen op het busboard. De processor die geselecteerd is voor de bedradingstool bevat echter niet de aansluitingen 6 en 7 maar heeft in de plaats daarvan een seriële poort (zoals op de linkse figuur is te zien). Het is via deze seriële poort dat men de IPC kan programmeren via FST, in principe zijn de aansluiting 2 (voor keyboard/muis) en 5 (VGA) dus overbodig.



Figuur 5.40: Processormodule [BECK]

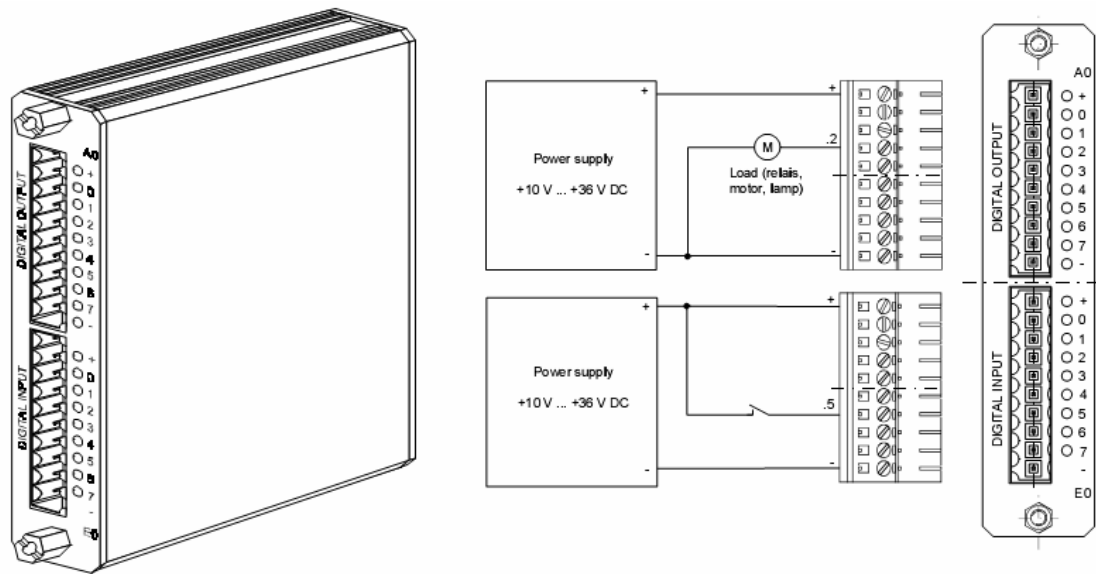
De Profibusmodule is de Master van het Profibusnetwerk. Ook deze module kan men via twee schroeven op het busboard bevestigen. Naast vier statusleds aan de bovenkant van de module bevat deze ook nog twee aansluitingen: één voor de Profibus kabel en één voor diagnose.



Figuur 5.41: Profibusmodule [BECK]

Als laatste zijn er ook nog twee digitale input/output (I/O) modules op het busboard geplaatst. Door deze te voorzien van drukknoppen en lampen, kan men eenvoudige situaties simuleren. De bedradingstool is namelijk maar een klein deel van het grote geheel. Zo komt de tool uiteindelijk op een robot en in de programmering van de bedradingstool moet men hier al rekening mee houden. Zo moet de robot een signaal doorsturen als deze op de juiste plaats is of indien er een fout optreedt. De bedradingstool moet dan op gepaste wijze reageren. Omdat er op dit moment nog geen sprake is van een robot, kan deze dus ook geen signalen doorsturen. Om deze signalen voorlopig te kunnen simuleren, kan men gewone drukknoppen en lampen gebruiken.

Figuur 5.42 toont hoe de I/O module eruit ziet en hoe men deze moet aansluiten. In totaal heeft iedere module 8 digitale ingangen en 8 digitale uitgangen. Zowel het ingangs- als het uitgangsgedeelte moet men van een externe spanning voorzien. Op de I/O module staan twee tienpolige stekkers. De lampen en schakelaars moet men echter niet rechtstreeks op de module aansluiten. Festo levert namelijk een speciale kabel met aan de ene kant twee tienpolige stekkers (voor op de I/O module) en aan de andere kant een stekker om in te pluggen op een speciale klemmenstrook (zie Figuur 5.43). Het is op deze klemmenstrook dat men alles kan aansluiten.



Figuur 5.42: I/O module [BECK]

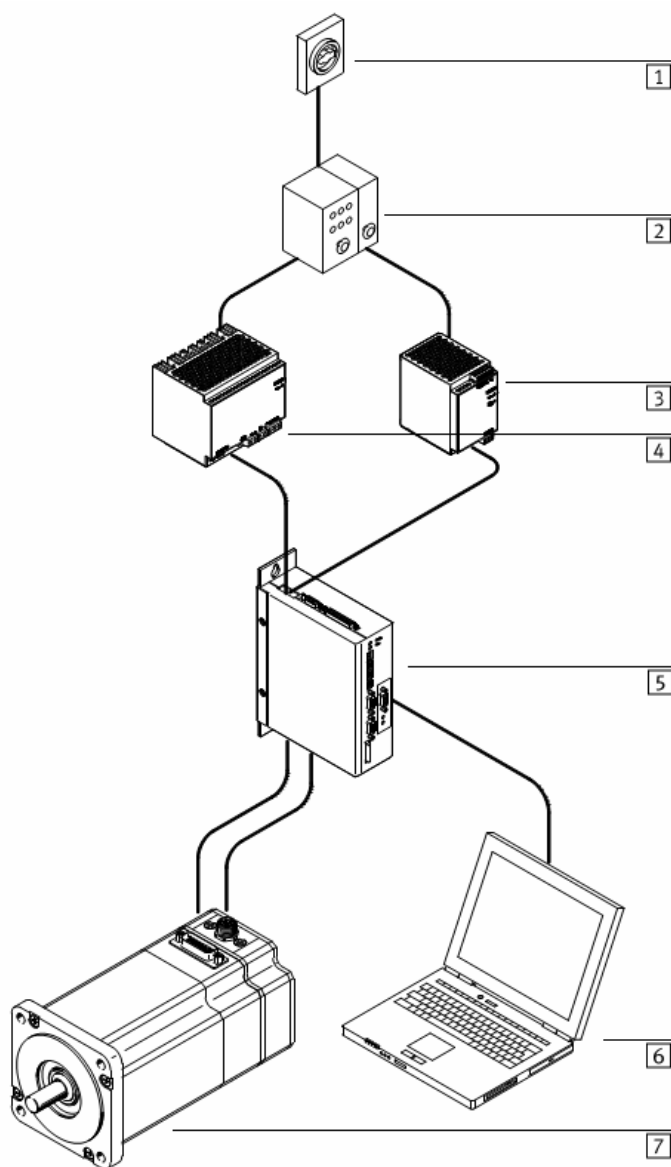


Figuur 5.43: Klemmenstrook voor I/O module

5.3.3 Motion controller

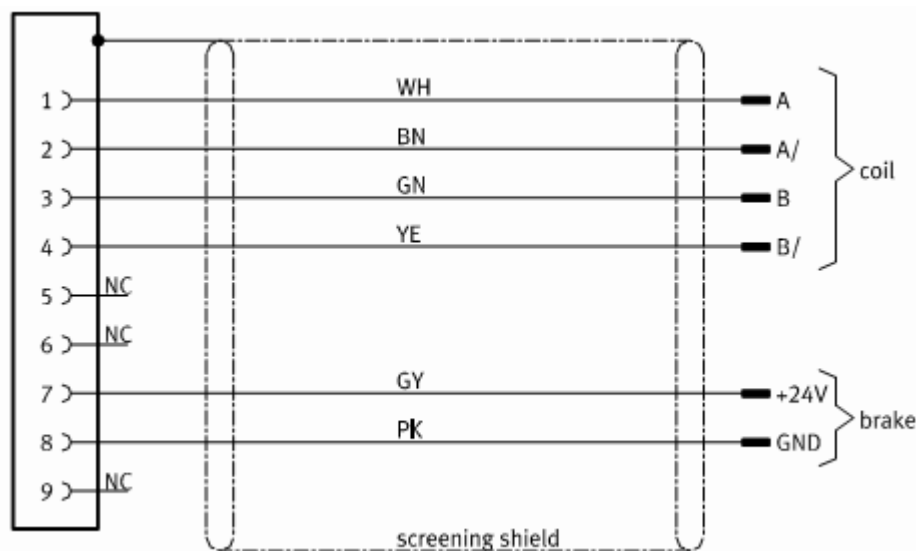
Een tweede belangrijk onderdeel van de sturing, is de motion controller. Deze stuurt de bewegingen van de motor en zorgt ervoor dat de draad tegen de juiste snelheid beweegt en de juiste afstanden aflegt. De gebruikte motion controller van Festo is het type CMMS-ST. Deze controller is aangeraden bij de EMMS-ST stappenmotor. Figuur 5.44 toont een overzicht van hoe men de motion controller moet aansluiten. Na de hoofdschakelaar en hoofdzekering (1 en 2) staan twee voedingen: één om de motor te voeden (4) en één die het elektronicagedeelte van de controller moet voeden (3). Festo raadt aan om steeds twee aparte voedingen te gebruiken, ook als de uitgangsspanning van beide hetzelfde is. Indien de motor (7) namelijk sterk moet remmen, gaat de controller (5) de energie terug naar het net sturen, als gevolg hiervan kan de uitgangsspanning van voeding (4) stijgen. De spanning kan op bepaalde momenten zelfs

zoveel stijgen dat er een kans bestaat dat de elektronica van de controller (en eventueel van andere apparaten) kan defect raken. Om deze reden moet de motor dan ook steeds een aparte voeding krijgen. De controller is met de motor verbonden via twee kabels. Enerzijds is er de motorkabel die het vermogen moet overbrengen en daarnaast is er ook nog de encoderkabel die de signalen van de encoder doorstuurt. Hierdoor weet de controller op welke positie de motor zich bevindt, tegen welke snelheid deze ronddraait, enzovoort. Om de controller te configureren moet men deze op een PC of laptop aansluiten (7). Eenmaal de configuratie gebeurd is, kan de controller ook signalen ontvangen van een PLC of andere stuureenheid.



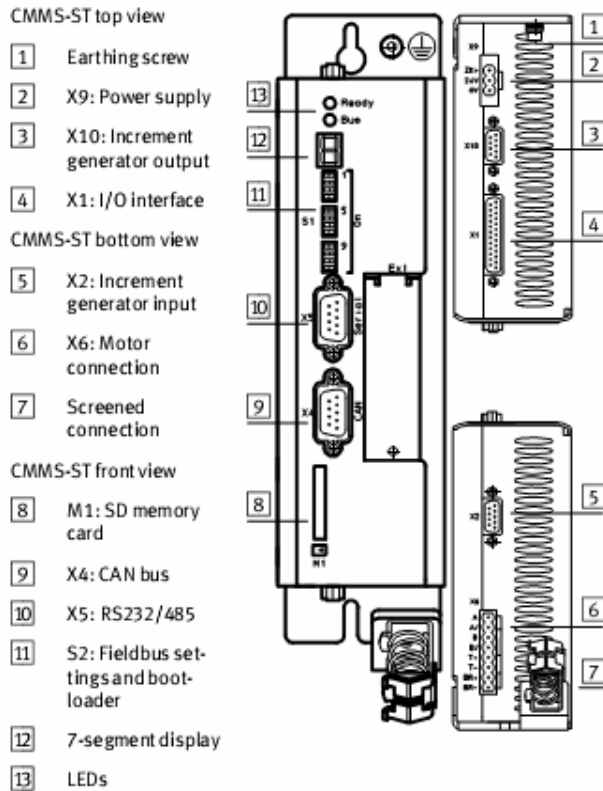
Figuur 5.44: Aansluitschema motion controller [CMMS p46]

Zowel de motorkabel als de encoderkabel zijn voorzien van een shielding, net zoals de Profibuskabel. De shielding bestaat meestal uit een geweven metaaldraad of dunne metaalfolie die zich rond de geleiders bevindt. De motion controller kan namelijk zorgen voor stoorsignalen. Deze signalen (die vaak hoogfrequent zijn), beïnvloeden andere kabels die in de buurt liggen. Datakabels zijn hier het meest gevoelig aan aangezien deze vaak informatie doorsturen op lage energie. Neem als voorbeeld de encoderkabel van de stappenmotor, deze stuurt informatie over de positie en snelheid naar de motion controller. Indien er een stoorsignaal op deze kabel komt, kan de controller dit verkeerdelijk interpreteren als een “puls” van de encoder wat leidt tot een onjuiste positie van de motor.



Figuur 5.45: Motorkabel met screening [CMMS]

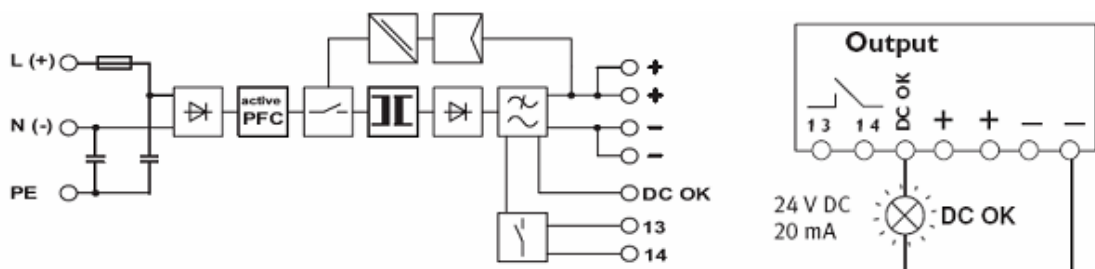
Om deze reden zijn veel kabels voorzien van shielding. Op het begin en het einde van de kabels, moet men deze shielding met de aarde verbinden, liefst zo dicht mogelijk bij de uiteindes van de kabels. Men kan dit doen door op het uiteinde van de kabel de shielding bloot te leggen en te verbinden met een goede geleider. De motion controller heeft hiervoor een “screened connection”, deze staat op Figuur 5.46 aangegeven (7). Vaak is de shielding van de kabel ook verbonden met de connector van de kabel zoals op Figuur 5.45, deze toont de motorkabel. De linkerkant van de kabel (motorkant) heeft een negenpolige Sub D connector en de shielding is met de buitenkant van de metalen connector verbonden. Indien men nu de behuizing van de motor aan de aarde legt, kan men ook de stoorsignalen afleiden naar de aarde.



Figuur 5.46: Overzicht aansluiting CMMS Controller [CMMS]

5.3.4 Voeding

Om de bedradingstool te voeden zijn er twee spanningen nodig: 48VDC om de motor te voeden en 24VDC voor de stuelelektronica (zoals de PLC). Beide zijn zowel primair als secundair afgezekerd om beschadiging te voorkomen. Dit kan men zien op het elektrische schema dat opgenomen is in Bijlage F. Merk op dat aan de secundaire kant enkel de 24VDC (of 48VDC) lijn is afgezekerd, de 0V zekert men bij gelijkstroomtoepassingen meestal niet af. Merk tevens op dat de 0V lijnen van beide voedingen zijn doorverbonden (en aan de aarde gelegd), dit is gedaan zodat er geen zwevende potentialen ontstaan.

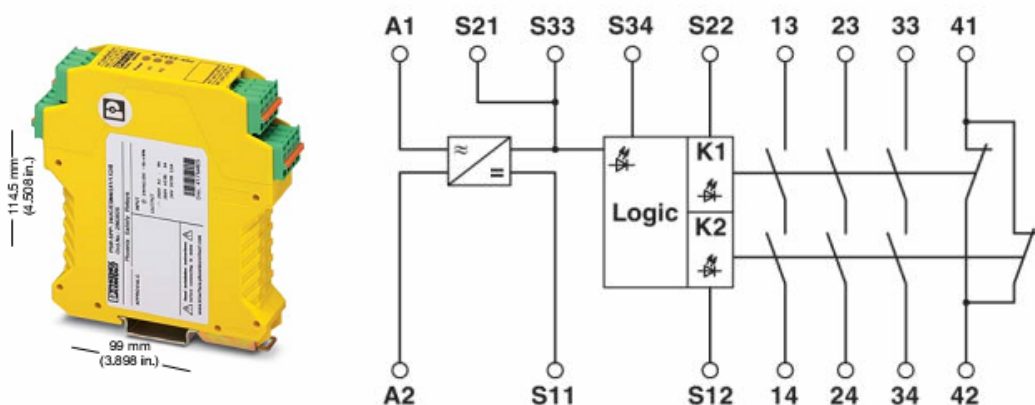


Figuur 5.47: Intern schema voeding [PHOE]

Beide voedingen komen van Phoenix Contact (het type is Quint Power) en hebben een gelijkaardig intern schema dat eruit ziet zoals Figuur 5.47. Naast de + en – uitgangen kan men van iedere voeding ook controleren of deze werkt via de uitgang “DC OK” of het contact 13-14.

5.3.5 Beveiliging en veiligheidscategorie (zie ook Bijlage J)

Voor de persoonlijke bescherming is een noodstop voorzien op de voorkant van de schakelkast. Deze is echter niet rechtstreeks aan de PLC gekoppeld, maar wel aan een veiligheidsrelais van Phoenix Contact (zie Figuur 5.48). Dit is een speciaal type relais dat ontwikkeld is voor het beveiligen van installaties. Deze is namelijk zo ontwikkeld dat de relais een veel hogere bedrijfszekerheid heeft. Indien een gewone relais een lange tijd niet schakelt, kan het gebeuren dat de contacten inbranden (blijven “plakken”).

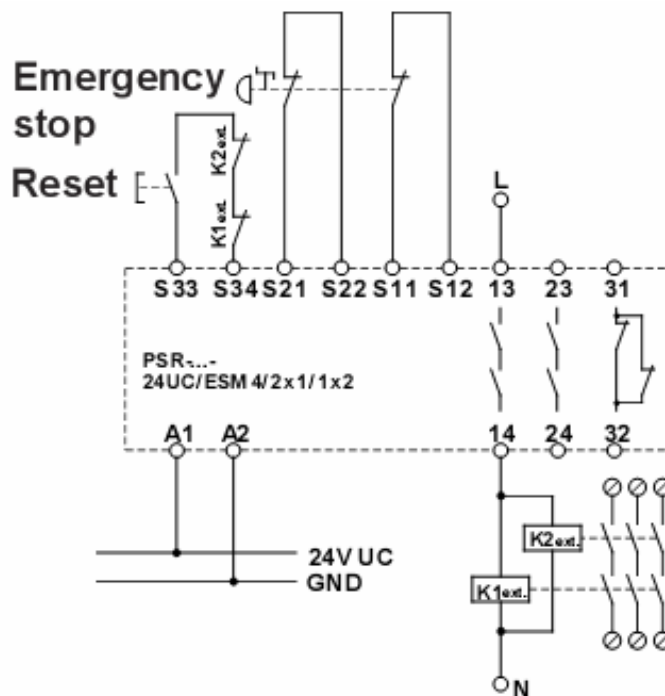


Figuur 5.48: Veiligheidsrelais [PHOE]

Een noodstop moet men normaal maar een paar keer gedurende de levensduur van een machine induwen maar het is wel belangrijk dat op dat moment de installatie uitvalt. Een veiligheidsrelais kan dit garanderen ondermeer omdat alle contacten redundant (dubbel) zijn uitgevoerd. In feite zijn er gewoon twee contactoren aangebracht in de behuizing (zie ook Figuur 5.48). De kans is dan ook nihil dat beide contactoren in de behuizing op hetzelfde moment falen.

Indien men op de noodstop duwt, moet de veiligheidsrelais een “veilige” situatie creëren. Om te bepalen wat precies een veilige situatie is, moet men bepalen welke componenten voor gevaar zorgen. Bij de bedradingstool zijn dit de motor voor

draadgeleiding (die niet is afgeschermd) en de pneumatische actuatoren. Bij een druk op de noodstop zorgt de veiligheidsrelais ervoor dat deze geen beweging meer kunnen uitvoeren. Dit gebeurt door de energietoevoer van de componenten af te sluiten. In het geval van de motor wordt zowel de 48VDC leiding onderbroken alsook de enable signalen die van de PLC komen. Voor de pneumatische actuatoren onderbreekt de veiligheidsrelais zowel de perslucht (enkel de hoofdlucht) als het vermogengedeelte van het ventieleiland. De sturing blijft echter onder spanning (en onder druk), zowel bij de motion controller, het ventieleiland als bij de PLC. Hierdoor kan de logica van de stuurkast blijven werken en op de gepaste wijze de noodstop interpreteren. Eén van de contacten van de veiligheidsrelais is dan ook naar de PLC gevoerd zodat deze weet wanneer de noodstop is ingedrukt.



Figuur 5.49: Aansluitschema veiligheidsrelais [PHOE]

Figuur 5.49 toont hoe men de veiligheidsrelais moet aansluiten. Indien men deze via de contacten A1 en A2 bekrachtigt, schakelen de contacten rechts op de figuur (twee normaal open en één normaal gesloten contact). De noodstop is redundant aangesloten via twee normaal gesloten contacten. Indien men de noodstop indrukt, keren de rechtse contacten terug naar hun beginpositie. Deze contacten kan men nu gebruiken om de gevaarlijke onderdelen af te schakelen (hierboven besproken).

Merk op dat ook de contacten van de relais K1 en K2 op Figuur 5.49 in serie staan. Bij het indrukken van de noodstop is men dus zeker dat de gevaarlijke onderdelen afschakelen. Merk tevens op dat er gesloten contacten van K1 en K2 in de keten van de resetknop staan. Deze terugkoppeling zorgt ervoor dat het onmogelijk is om de veiligheidsrelais te resetten, mocht K1 of K2 blijven “plakken”. Door deze vorm van redundantie in het schema in te bouwen, voldoet de bedradingstool aan veiligheidscategorie 3/4 (volgens EN 954-1). Categorie 4 is de hoogste klasse die men kan bereiken. Deze categorie stelt dat de beveiliging aan volgende eigenschap moet voldoen:

“Eén enkele fout mag niet tot het verlies van de veiligheidsfunctie leiden. Deze fout moet worden gedetecteerd voordat of wanneer de veiligheidsfunctie opnieuw wordt aangesproken. Een opeenstapeling van fouten mag niet tot het verlies van de veiligheidsfunctie leiden.”

Het elektrische schema zorgt hiervoor door aan enkele principes te voldoen:

- **Redundantie op de ingangen:** de noodstop is via twee NC contacten op de veiligheidsrelais aangesloten.
- **Redundantie op de uitgangen:** de veiligheidsrelais heeft allemaal redundante contacten. Daarnaast zijn alle schakelrelais (zoals K1 en K2 op Figuur 5.49) dubbel uitgevoerd zodat alles zeker afschakelt bij een fout. Ook de afschakeling van de perslucht is redundant door twee ventielen in serie te plaatsen.
- **Terugkoppelcyclus:** er zijn NC contacten van de schakelrelais in serie met de resetknop geplaatst. Men kan de veiligheidsrelais dus niet resetten bij een fout in één van de uitgangen.
- **Overdimensionering:** de contactoren van het veiligheidscircuit kunnen allemaal 5A schakelen terwijl de maximale stromen die kunnen vloeien doorheen een contact niet groter zijn dan 2.5A. De kans op inbranden van de contacten is hierdoor nihil. Veel signalen die men moet onderbreken zijn echter nog een stuk kleiner. De kans op inbranden van de contacten is hierdoor nihil.

De reden waarom er categorie 3/4 staat (en niet gewoon 4), is omdat men voor categorie 4 normaal contactoren moet gebruiken met gedwongen contacten. Hierbij zijn alle

contacten mechanisch met elkaar verbonden. Blijft één van de contacten “plakken”, dan kunnen ook de andere contacten niet schakelen, hierdoor geeft het NC contact in de terugkoppelcyclus steeds de werkelijke positie van de andere contacten weer. Dit type van contactoren is echter erg duur (beginnend van ongeveer €60) en is eigenlijk vooral gemaakt om zware toepassingen (zoals grote motoren) af te schakelen. Voor de bedradingstool, waar men alleen maar kleine stromen moet onderbreken, is het overbodig om met zo’n zware contactoren te werken.

Men kan argumenteren dat zo’n hoge veiligheids categorie niet nodig is omdat de bedradingstool bij de bedradingsmachine omgeven is door een hekwerk met de nodige veiligheden. In het begin zal men de bedradingstool echter vooral gebruiken voor demo opstellingen. Voor het uitwerken van het totale project van de bedradingsmachine moet men namelijk andere bedrijven kunnen overtuigen van de mogelijkheden die het project biedt. Dit kan ondermeer gebeuren door voorstellingen te geven van een werkende bedradingstool (het meest “kritische” onderdeel van het project). Omdat tijdens deze presentaties vaak ongekwalificeerde personen in contact kunnen komen met de bedradingstool, is er voor gekozen om de veiligheids categorie toch zo hoog mogelijk te maken.

Daarnaast biedt dit nog een bijkomend voordeel: mocht in de toekomst blijken dat de gehele bedradingsmachine toch aan veiligheids categorie 4 moet voldoen, dan moet men geen aanpassingen aan de bedradingstool maken. Stel dat men de bedradingstool in eerste instantie slechts aan veiligheids categorie 2 laat voldoen, dan moet men in een later stadium misschien nog aanpassingen doen, dit is nu niet meer nodig.

Naast het beveiligen van de bedradingstool is ook een risicoanalyse uitgevoerd zodat de risico’s niet alleen bestreden worden, maar ook duidelijk gekend zijn. De risicoanalyse is opgenomen in Bijlage J. De analyse is een checklist van verschillende aandachtspunten die in KB Arbeidsmiddelen staan beschreven. Indien men in deze checklist ergens “Niet OK” moet aanvinken, moet men een analyse doen van de risico’s. Het risico (R) bestaat uit het product van drie grote factoren: de waarschijnlijkheid (F1), de blootstelling (F2) en de schade (C). Aan iedere factor moet men een getal toekennen dat overeenkomt met de situatie (zie Figuur 5.50)

F1 Waarschijnlijkheidsgetal		F2 Bloodstellingsgetal		C Schadegetal	
Waarschijnlijkheid	Waarde	Bloedstelling	Waarde	Mogelijke schade	Waarde
Te verwachten	10	Bestendig	10	Ramp (talrijke doden)	100
Goed mogelijk	6	Frequent (eenmalig/dag)	6	Onheil (enkele doden)	40
Ongewoon maar mogelijk	3	Occasioneel (eenmaal/week)	3	Zeer ernstig (dodelijk ongeval)	15
Enkel mogelijk bij grensgeval	1	Ongewoon (eenmaal/maand)	2	Ernstig (Ernstig letsel)	7
Denkbaar maar zeer onwaarschijnlijk	0.5	Zelden (enkele keren/jaar)	1	Belangrijk (ongeschiktheid)	3
Praktisch onmogelijk	0.2	Zeer zelden (eenmaal/jaar)	0.5	Minimum (letsel met verzorging)	1.5
Virtueel mogelijk	0.1			Schade aan de gezondheid (schadelijke dampen-zware fysische inspanningen)	1

Figuur 5.50: Factoren risicoanalyse

Door de drie factoren te vermenigvuldigen bekomt men het risico R. Afhankelijk van de grootte van R, heeft men een klein of groot risico (deze waarden liggen vast). Het Excel bestand controleert de waarde van R en geeft aan of men bepaalde acties moet ondernemen. Als actie is in de risicoanalyse vaak aangegeven dat enkel bevoegde mensen demo's mogen geven. Dit is omdat het zeer moeilijk is bepaalde risico's uit te sluiten. Doordat enkel mensen met kennis over de bedradingstool deze mogen bedienen, weet men zeker dat deze personen de risico's kennen.

5.3.6 Kastlay-out

Nadat het elektrische schema is uitgetekend, moet men alle componenten inbouwen in een schakelkast. Omdat het elektrische schema voor de bedradingstool niet zoveel componenten bevat, heeft men aan een kleine schakelkast van 800 x 600 x 400mm voldoende. Alle componenten zijn zo geschikt op de montageplaat dat de ruimte optimaal verdeeld is. Er is tevens een kleine vrije ruimte gelaten zodat het in de toekomst mogelijk is componenten bij te plaatsen.

Vervolgens is een lay-out gemaakt voor alle knoppen, lampen en graveerplaten op de deur van de kast. Deze zijn opgesplitst in twee grote delen. Links bevinden zich alle knoppen en lampen met betrekking tot de voeding en noodstop. Rechts bevinden zich knoppen en lampen die dienen om de simulaties op de PLC uit te voeren. Als laatste moet men ook een lay-out van de wartelplaat maken. Via deze plaat komt de energie (perslucht en spanning) binnen en vertrekken alle leidingen naar de bedradingstool. De verschillende lay-outs zijn bij het elektrische schema opgenomen (pagina F23 tot F27).

5.3.7 Volledig elektrisch schema (zie ook Bijlage F)

Het volledige elektrische schema is opgenomen in Bijlage F, hieronder staat een overzicht van de verschillende pagina's van het schema. De belangrijkste aandachtspunten van het schema zijn in de rest van het hoofdstuk aan bod gekomen. Merk op dat de pagina's niet doorlopend zijn. Door op bepaalde plaatsen openingen te laten, kan men in de toekomst makkelijk pagina's aan het schema toevoegen. Het volledige schema bestaat uit volgende onderdelen:

- **Inleiding (1-9):** overzicht, technische specificaties
- **Schema's (10-49):** elektrische aansluitschema's van alle componenten
- **Bijkomende uitleg (50-79):** overzichten over de kabels, componenten, ...
- **Lay-outs (80-99):** lay-out van de montageplaat, deur, ...
- **Materialenlijst (100- 119):** overzicht van de gebruikte materialen
- **Dradenlijst (120-139):** overzicht van de draden in de kast (met kleur, sectie ...)
- **Klemmenlijst (140-150):** overzicht van de klemmenstroken

6 Realisatie

6.1 *Offertes en bestellingen*

Eer men met de assemblage van de bedradingstool en bijhorende sturing kan beginnen, moeten eerst alle onderdelen besteld en gemaakt worden. Gedurende het ontwerpen is een materialenlijst van alle leveranciers opgesteld met daarin de componenten die nodig zijn. Op basis van deze stuklijsten zijn offertes gevraagd bij de verschillende leveranciers. De contactgegevens van alle verdelers zijn opgenomen in Bijlage I. Onderstaande lijst geeft een overzicht van de onderdelen die van iedere leverancier komen.

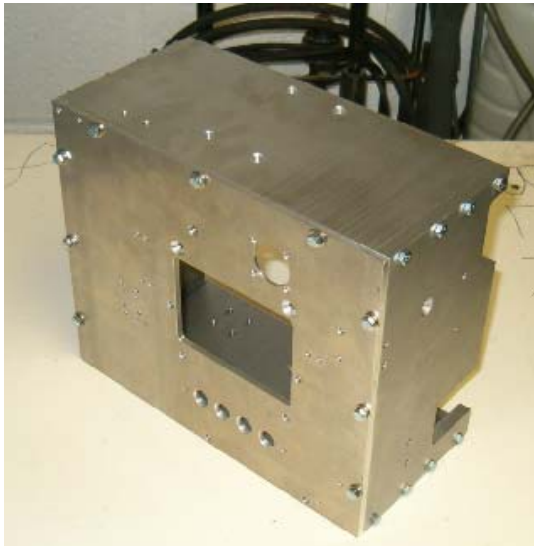
- **Festo:** pneumatische en elektrische actuatoren, PLC, pneumatische sturing
- **Vessel (verdelers is JDV Products):** Pneumatisch knipsysteem
- **Misumi:** riemschijfopstelling, speciale profielen, mechanische componenten
- **P&V:** elektrisch materiaal allerhande (draden, kabelgoten, ...), schroeven
- **Phoenix Contact (verdelers is Breva):** voeding, veiligheidsrelais, klemmen
- **Pollers:** freeswerk van de verschillende stukken
- **Schneider (verdelers is Breva):** automaten, drukknoppen, elektrische materiaal

De volledige materialenlijst is opgenomen in Bijlage C en indien de prijzen bekend zijn, staan deze vermeld in de lijst. Merk op dat het steeds gaat om brutoprijzen (zonder korting), exclusief BTW. Indien men met deze prijzen de totale kost berekent van de bedradingstool, komt men op 14 000 euro uit. De prijs van allerhande klein materiaal (zoals draden, graveerplaatjes en kabelgoten) is niet meegerekend omdat deze niet exact gekend is (al het materiaal komt uit de voorraad van P&V). De prijs houdt tevens geen rekening met de kortingen die P&V bij de verschillende leveranciers krijgt. Omdat dit echter gevoelige informatie is, zijn deze gegevens niet opgenomen in de materialenlijst.

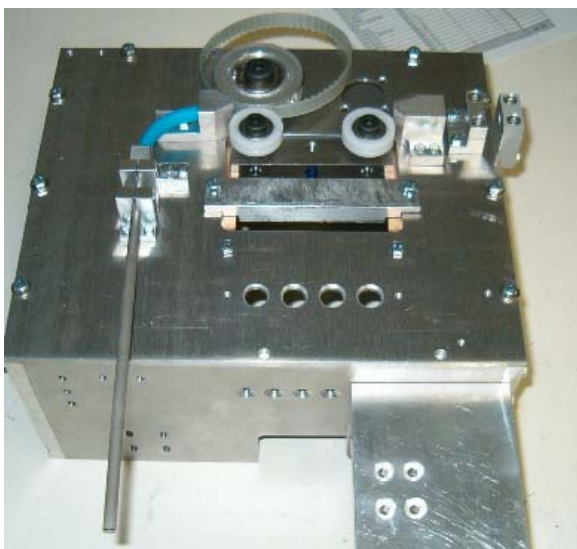
6.2 Assemblage

6.2.1 Bedradingstool

Eenmaal alle onderdelen aangekomen zijn, kan men beginnen met de assemblage van de bedradingstool. Het eerste deel dat is samengebouwd, is het frame. Dit bestaat uit vijf aluminiumplaten die met schroeven aan elkaar bevestigd zijn (zie Figuur 6.1). Vervolgens zijn de onderdelen gemonteerd die de draad doorheen de bedradingstool moeten geleiden. Dit omvat de bronzen geleiding met daarop de tegendrukwielen, één van de buizen van het telescopische systeem en de getande riemschijven (Figuur 6.2).

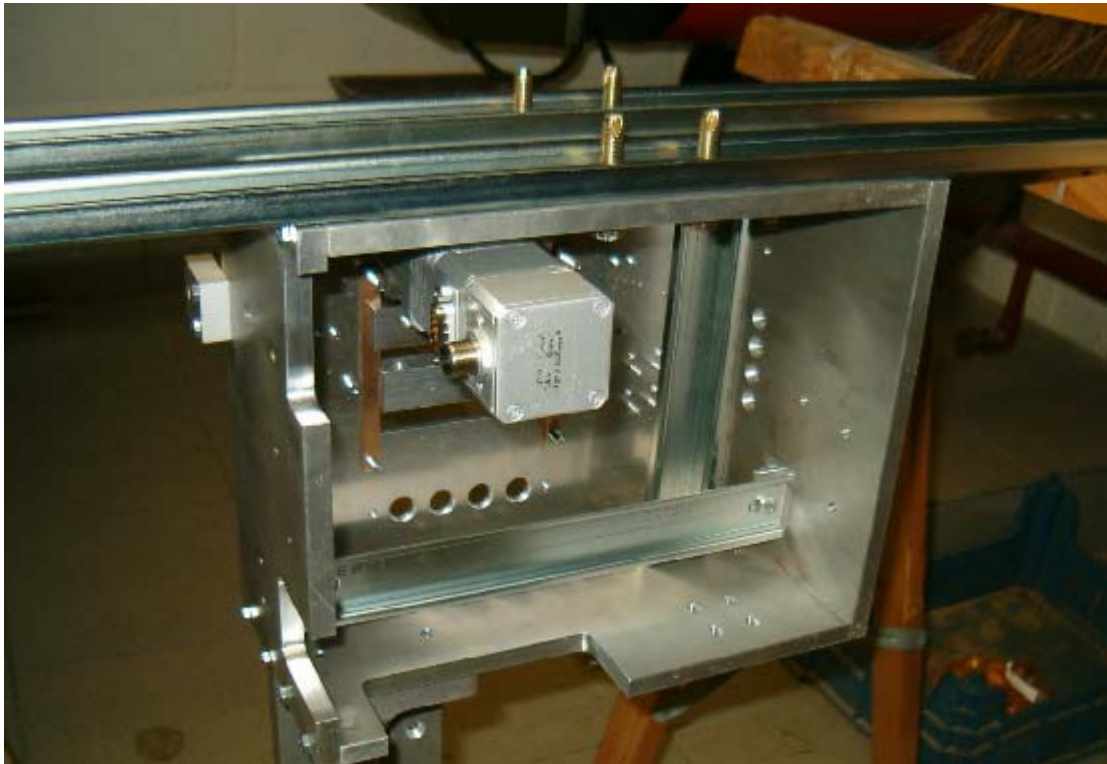


Figuur 6.1: Samengesteld frame van de bedradingstool



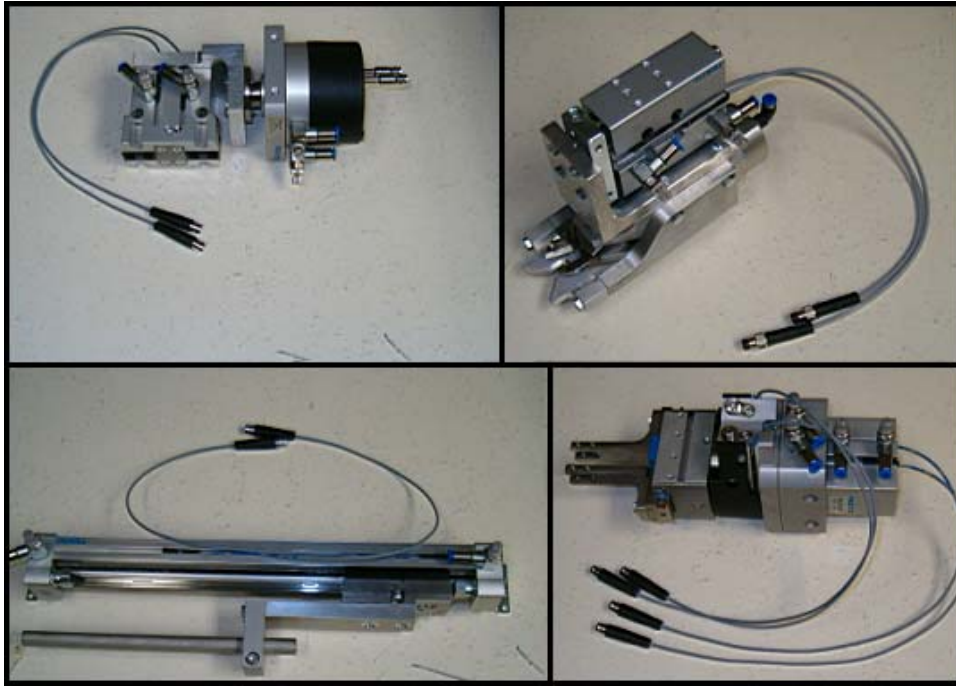
Figuur 6.2: Montage onderdelen draadgeleiding

De drijvende riemschijf staat op de uitgaande as van de reductie. Deze is, samen met de motor aan de binnenkant van het frame gemonteerd (zie Figuur 6.3). Om het assembleren makkelijker te maken, is de tool opgehangen aan twee DIN rails, men moet namelijk verschillende onderdelen aan de onderkant van de bedradingstool monteren (de tool kan dan niet meer op zichzelf “staan”). De twee rails aan de binnenkant van het frame dienen voor het ventieleiland en de inputmodule van de sensoren.



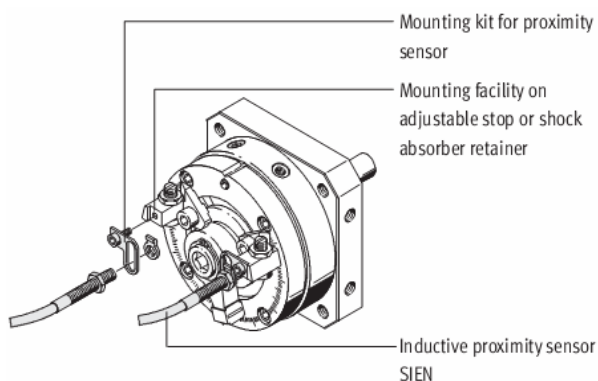
Figuur 6.3: Motor gemonteerd op het frame

Vervolgens moet men de verschillende units op de tool monteren (omkeerunit, knipunit, ...). Deze zijn eerst apart geassembleerd en daarna zijn ze in één geheel op de tool geplaatst. Eén van de dingen waarop men moet letten, is de positie van de verschillende sensoren. Men moet deze zo plaatsen dat ze signaal geven op de juiste stand van de cilinder. Om dit te kunnen testen, moet men de sensor van voeding voorzien en deze vervolgens bewegen tot de LED die geïntegreerd is in de behuizing oplicht. Op deze plaats moet men de sensor vervolgens vastdraaien. Figuur 6.4 toont enkele van deze subassemblages met de gemonteerde sensoren. Ook de persluchtaansluitingen zijn reeds gemonteerd omdat dit moeilijk is eenmaal de volledige tool in elkaar steekt.



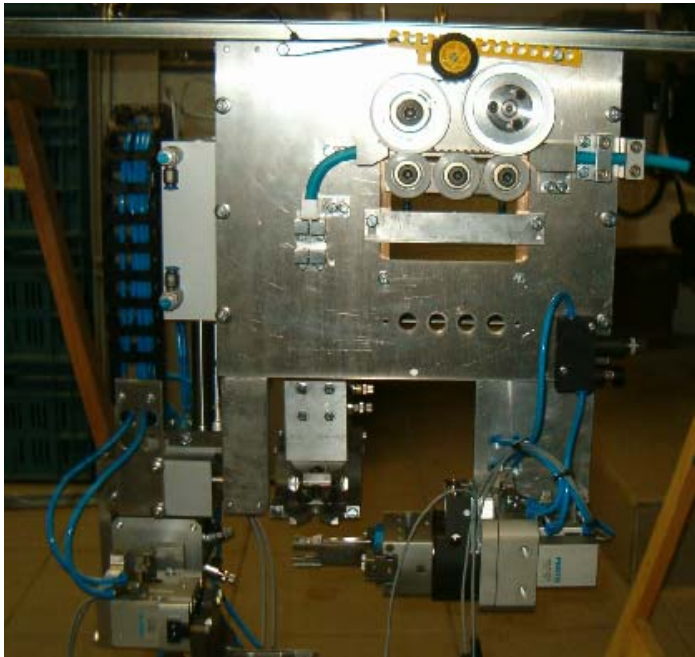
Figuur 6.4: Subassemblages bedradingstool

Eenmaal alle subassemblages gereed zijn, kan men deze één voor één monteren op het frame van de bedradingstool. Vervolgens moet men alle toestellen juist uitlijnen. Veel actuatoren zijn namelijk via sleuven bevestigd zodat er enige marge voor instellingen is. Omdat tijdens het testen van de actuatoren bleek dat deze mogelijk trillingen kunnen veroorzaken, zijn alle belangrijke bouten behandeld met Loctite 222 (een product voor schroefdraadborging) zodat er geen bouten loskomen tijdens het bewegen. Nadat men alle onderdelen heeft uitgelijnd, moet men ook de eindaanslag van sommige actuatoren instellen. Zo heeft bijvoorbeeld de DSM-16 en regelbare eindaanslagen die men moet afregelen (zie Figuur 6.5).

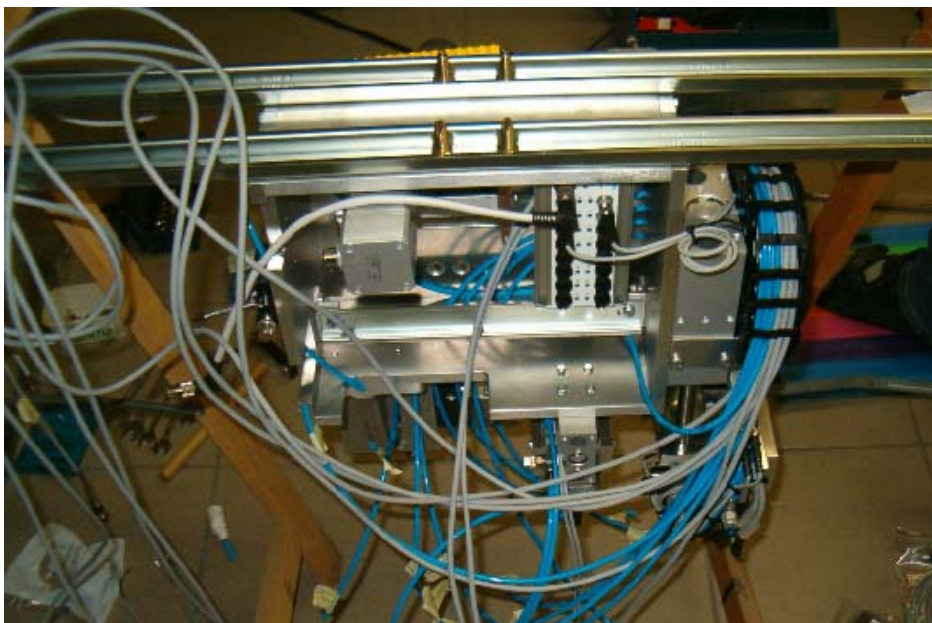


Figuur 6.5: Eindaanslagen DSM [FES p1/4.1-3]

Na het samenbouwen van alle actuatoren, kan men de persluchtleidingen voor de actuatoren leggen (Figuur 6.6). Overall zijn leidingen gebruikt met een buitendiameter van 4mm omdat deze erg soepel zijn en het debiet voor de tool geen bepalende factor is. Na de perslucht kan men ook de verlengkabels van de sensoren leggen (Figuur 6.7). In eerste instantie worden de kabels nog niet op lengte geknipt, dit gebeurt pas op het einde als men ze moet aansluiten op de inputmodule.



Figuur 6.6: Aansluiten persluchtleidingen



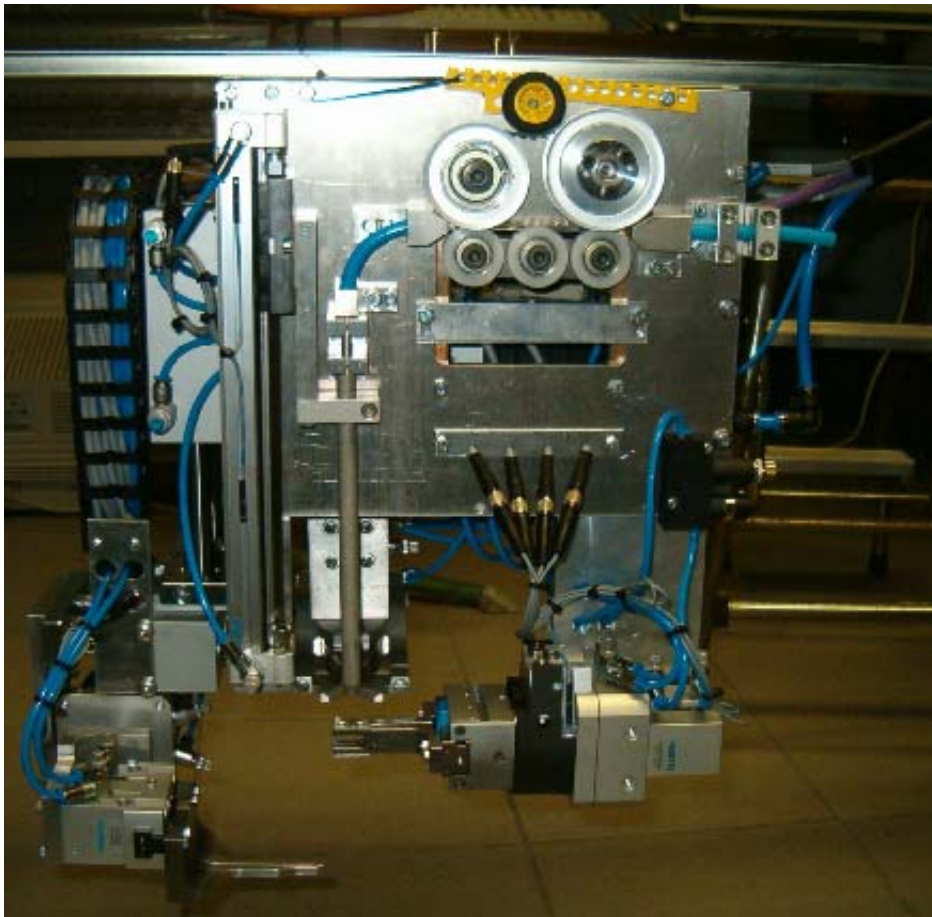
Figuur 6.7: Sensorkabels leggen op de tool

Enmaal alle leidingen en kabels op de tool liggen, kan men deze aansluiten op respectievelijk het ventieleiland en de inputmodule. Vervolgens kan men beginnen met de afwerking van de bedradingstool. Dit houdt in dat alle kabels en leidingen worden samengebonden met wuragriempjes waar dit mogelijk is. Dit ziet er niet alleen verzorgder uit maar verkleint ook de kans dat een losse leiding per ongeluk ergens achter blijft haken tijdens het bewegen. Dit is belangrijk aangezien de bedradingsmachine met twee robots werkt die erg dicht bij elkaar in de buurt komen.

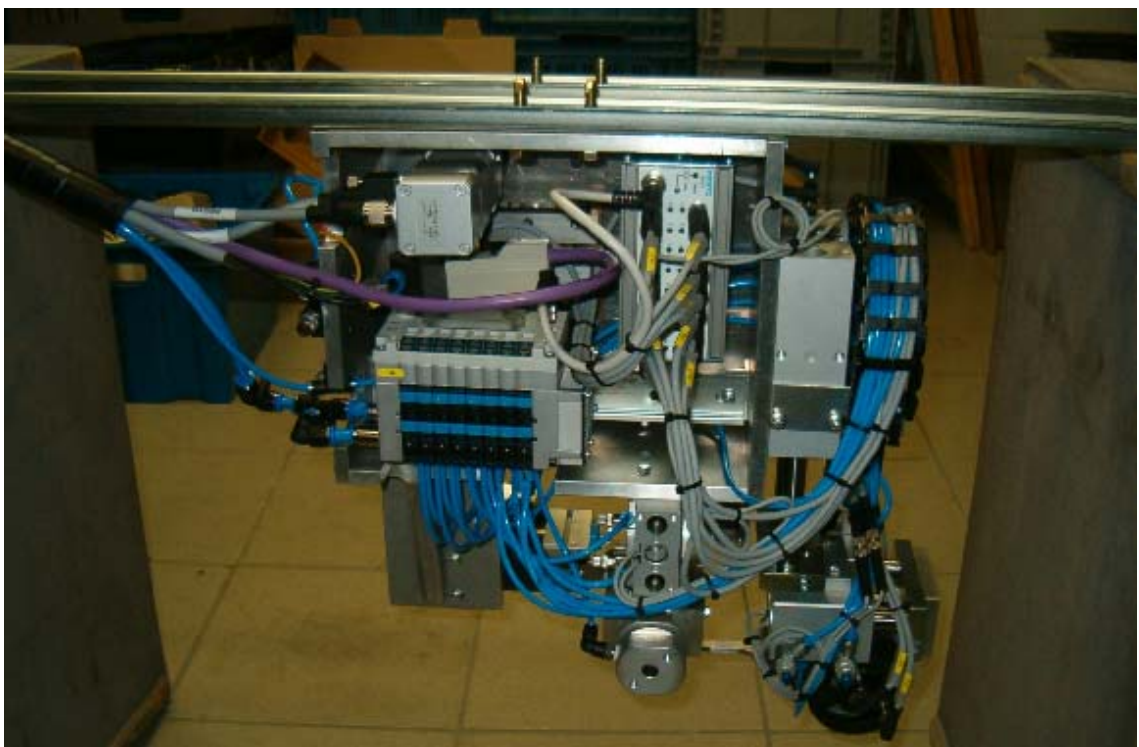


Figuur 6.8: Aansluiten van ventieleiland en inputmodule

Als laatste moet men de externe leidingen aansluiten op de bedradingstool. Het gaat hier over de binnenkomende perslucht (stuur- en hoofdleiding), een voedings- en Profibuskabel voor het ventieleiland en de motor- en encoderkabel. Figuur 6.9 en Figuur 6.10 op de volgende pagina tonen de afgewerkte bedradingstool langs de voor- en achterkant. Nu de bedradingstool volledig geassembleerd is, kan men doorgaan met het volgende deel van het project: het programmeren van de PLC.



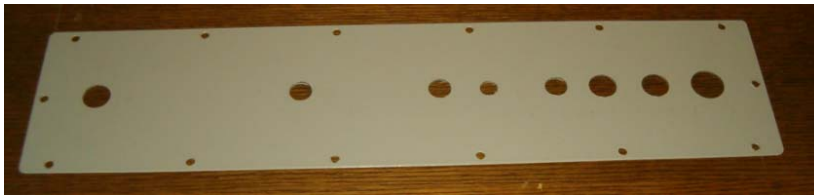
Figuur 6.9: Voorkant afgewerkte bedradingstool



Figuur 6.10: Achterkant afgewerkte bedradingstool

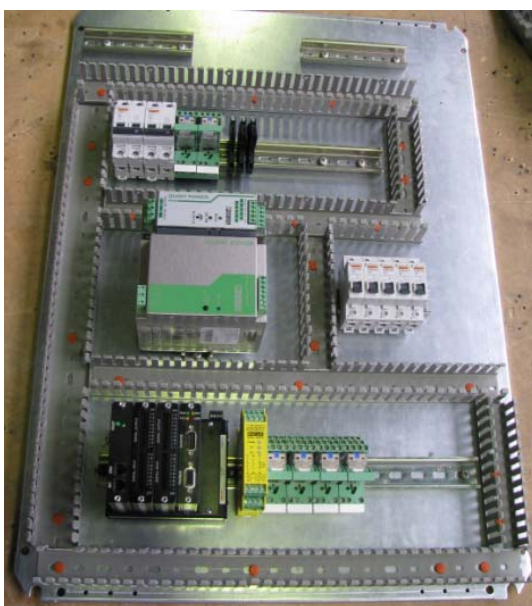
6.2.2 Elektrische sturing

Dit onderdeel van de scriptie geeft een overzicht van de assemblage van de stuurkast en toont ook welke aandachtspunten er waren tijdens het assembleren. Als eerste moet men de deur van de schakelkast, wartelplaat en montageplaat van de sturing voorzien van de nodige gaten voor knoppen, rails en wartels. Deze bewerkingen zijn met de Perforex machine gedaan (zie ook Figuur 1.5). Figuur 6.11 toont de bewerkte montageplaat met gaten voor de verschillende wartels.



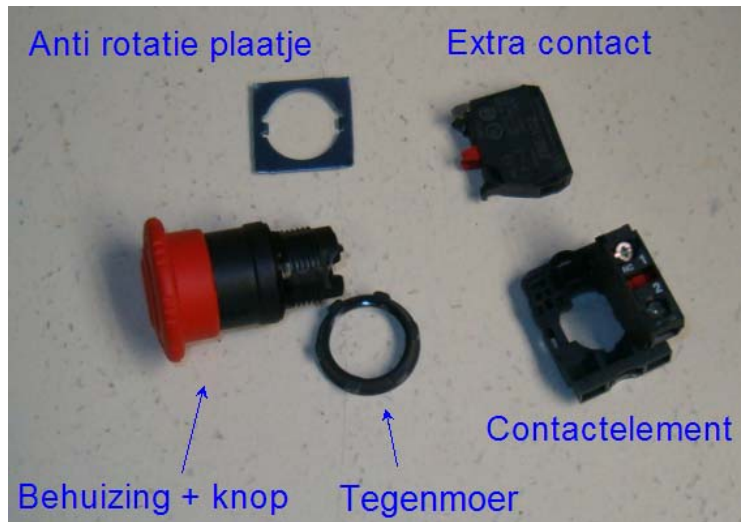
Figuur 6.11: Gaten in wartelplaat

Vervolgens moet men alle onderdelen bevestigen. Voor de montageplaat betekent dit in de eerste plaats de goten en rails juist plaatsen en vastzetten en vervolgens de toestellen op de rails bevestigen (Figuur 6.12). Om alles duidelijk aan te geven, is ieder toestel voorzien van een identificatiesticker waarop het symbool plus de nummer van het toestel staat (bv. K2). Deze nummering komt overeen met het elektrische schema en zorgt ervoor dat men tijdens het bedraden van de kast steeds de juiste toestellen aansluit.



Figuur 6.12: Onderdelen op de montageplaat

Vervolgens moet men alle componenten op de deur monteren. De lampen en knoppen bestaan steeds uit twee delen: de behuizing die men via een tegenmoer op de deur kan monteren en een element met de contacten/LED. Indien men meer dan één contact nodig heeft, kan men altijd extra contacten bijplaatsen op de schakelaar. Figuur 6.13 toont de samenstelling van een noodstop (die identiek is aan die van een gewone knop of schakelaar).



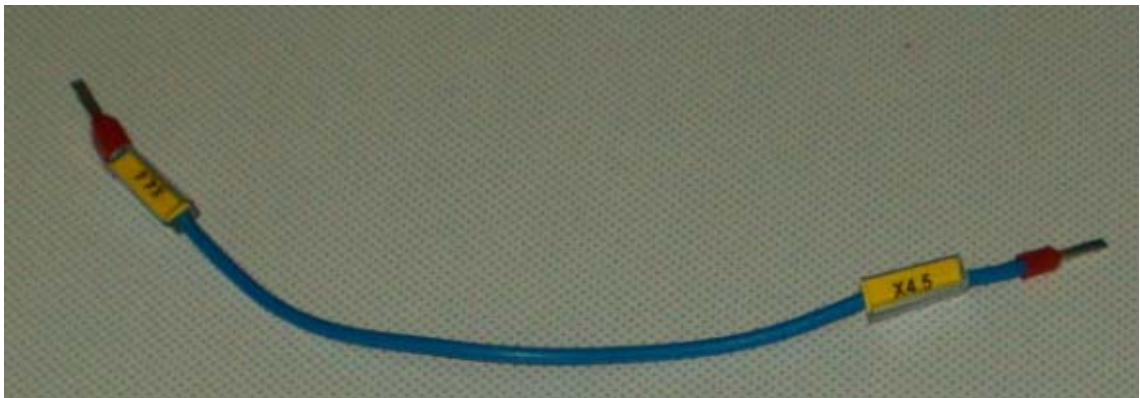
Figuur 6.13: Samenstelling noodstop



Figuur 6.14: Overzicht achterkant deur

Figuur 6.14 toont de achterkant van de deur met de knoppen en lampen gemonteerd. Merk op dat achter de noodstop (rechts onder) een plaatje is gemonteerd. Indien men de noodstop wilt ontgrendelen mag de gehele behuizing niet meedraaien. Het plaatje heeft omgebogen hoeken waardoor het zich vast trekt op de achterkant van de deur. Hierdoor voorkomt men rotatie van de behuizing van de schakelaar.

Eenmaal alle componenten zijn bevestigd, kan men beginnen met het aansluiten van alle draden in de schakelkast. Om te weten welke kleur en sectie iedere draad moet hebben, moet men de technische specificaties raadplegen in het elektrische schema. Het is echter niet voldoende om de draden zomaar aan te sluiten, voor de duidelijkheid worden deze ook steeds genummerd. De draadnummering is steeds als volgt: Toestel.Aansluiting (bv. K2.24 of U5.24V). De nummering is gedaan met Phoenix Sleeves (zie Figuur 6.15), dit zijn kunststofhulzen die men over het draadeinde kan schuiven. In de huls kan men een plaatje schuiven met daarop de nummering van de draad.



Figuur 6.15: Phoenix sleeves

Figuur 6.16 toont de deur met alle draden aangesloten. Aan de binnenkant van de deur is een DIN rail gemonteerd. Hierop staan de klemmenstroken van de PLC. Door deze klemmen op de deur te plaatsen, moeten enkel de twee kabels van de klemmenstroken van de deur naar de montageplaat gaan, anders waren dit een 30tal draden van de lampen en knoppen. Om ook op de deur alle draden ordelijk te houden, zijn er twee kabelgoten aan de binnenkant bevestigd, deze zijn vastgemaakt met dubbelklevende tape (zo zijn er uitwendig geen schroeven zichtbaar). Daar waar geen plaats is voor een kabelgoot, zijn kleefzadels gebruikt om de draden op hun plaats te houden.



Figuur 6.16: Draden gemonteerd op deur

De kabels die van de deur vertrekken zijn in twee kousen geplaatst die naar de montageplaat lopen: één kous voor datasignalen en één voor voedingssignalen (zie hiervoor ook Figuur 6.17). De kousen dienen om de draden samen te houden waardoor ze tevens moeilijker gaan knikken als men de deur dichtdoet. Figuur 6.17 toont ook de montageplaat met alle draden aangesloten. Merk op dat er aan de onderkant enkele kabels losliggen, dit zijn standaardkabels van Festo. Deze op maat knippen is erg veel werk (ze bevatten ieder meer dan 20 aders) en zorgt er misschien tevens voor dat er ergens een slecht contact is. Het “overschot” van de kabels is dan ook gewoon opgerold en buiten de kabelgoten geplaatst.



Figuur 6.17: Montageplaat met gemonteerde draden

In principe is de stuurkast op elektrisch gebied nu volledig, het enige dat men nog moet doen is alles verfraaien en afwerken. Dit houdt ondermeer in: draden met wurgriempjes samenhangen waar mogelijk, losse draden vasthangen met kleefzadels, graveerplaatjes op de deur plaatsen, ... Daarnaast moeten er ook nog enkele pneumatische ventielen in geplaatst worden voor het aan- en uitschakelen van de perslucht. Om de rest van de schakelkast te beschermen in geval van het loskomen van een leiding, is er een bescherming van plexiglas rond de ventielen aangebracht. Figuur 6.18 en Figuur 6.19 tonen het uiteindelijke resultaat van de stuurkast (respectievelijk binnen- en buitenkant).



Figuur 6.18: Binnenkant afgewerkte stuurkast



Figuur 6.19: Buitenkant afgewerkte stuurkast

6.3 Programmeren

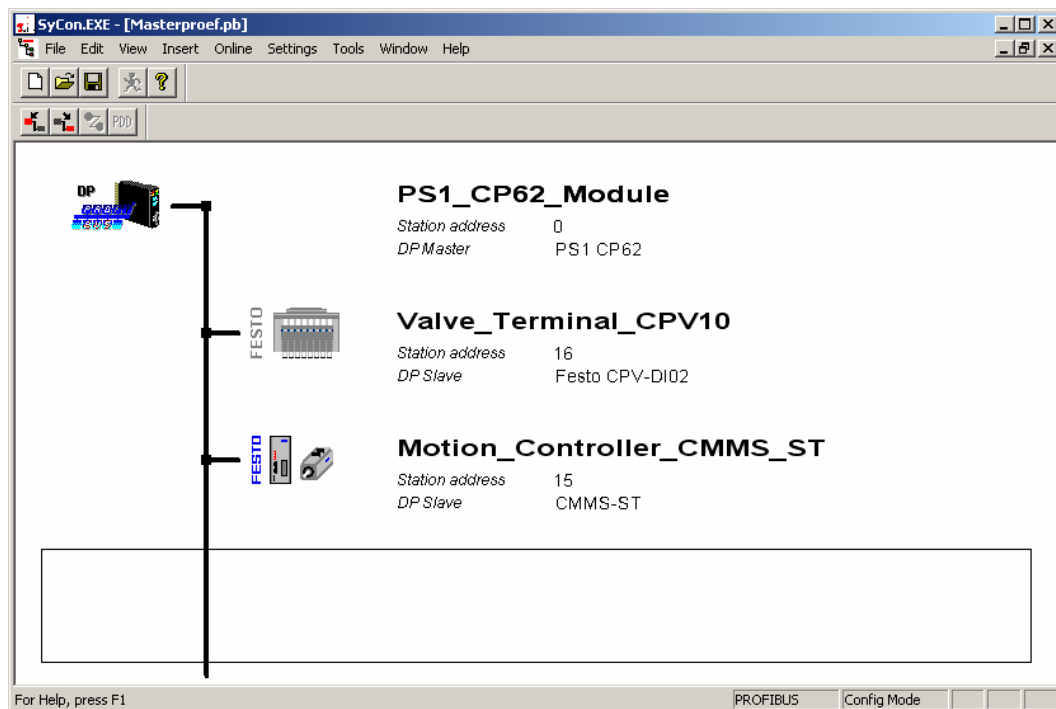
6.3.1 Profibusnetwerk configureren

Alvorens men met het programmeren van de cyclus kan beginnen, moet men eerst het Profibusnetwerk configureren. De Master in de keten (in dit geval de PLC) moet namelijk weten welke toestellen op het netwerk verbonden zijn en op welke plaats deze staan. Iedere Slave heeft een uniek adres, voorgesteld door een cijfer tussen 0 en 255. Het adres 0 gebruikt men echter meestal voor het Mastertoestel. Men kan dus tot 255 Slaves aan één Master koppelen in een Profibusnetwerk. Het adres instellen kan men doen via dipswitches op de Slave (rechtsboven op Figuur 6.20).



Figuur 6.20: Dipswitches voor Profibusadres

Via het programma SyCon (System Configurator) van Hilscher kan men de netwerkconfiguratie maken en uploaden naar de PLC. Eerst moet men alle toestellen toevoegen aan het netwerk (met het juiste adres). Het programma heeft hier “.GSD” bestanden van elke component nodig. Deze bestanden bevatten alle informatie over een bepaalde component en kan men afhalen op de website van Festo. Vervolgens moet men voor iedere component de juiste instellingen doen (zie Figuur 6.21). Voor het ventieleiland moet men bijvoorbeeld het aantal in- en uitgangen instellen (dit kan namelijk variëren naargelang het type van de eiland). Eenmaal dit gedaan is, moet men de netwerkconfiguratie uploaden naar de PLC. Dit gebeurt via een nullmodem kabel (seriële kabel met gekruiste datalijnen) die men met de “diagnose” aansluiting van de Profibusmodule moet verbinden. Het bestand met de instellingen is te vinden op de cd-rom van de scriptie onder “Programma’s / SyCon / Masterproef.pb”.

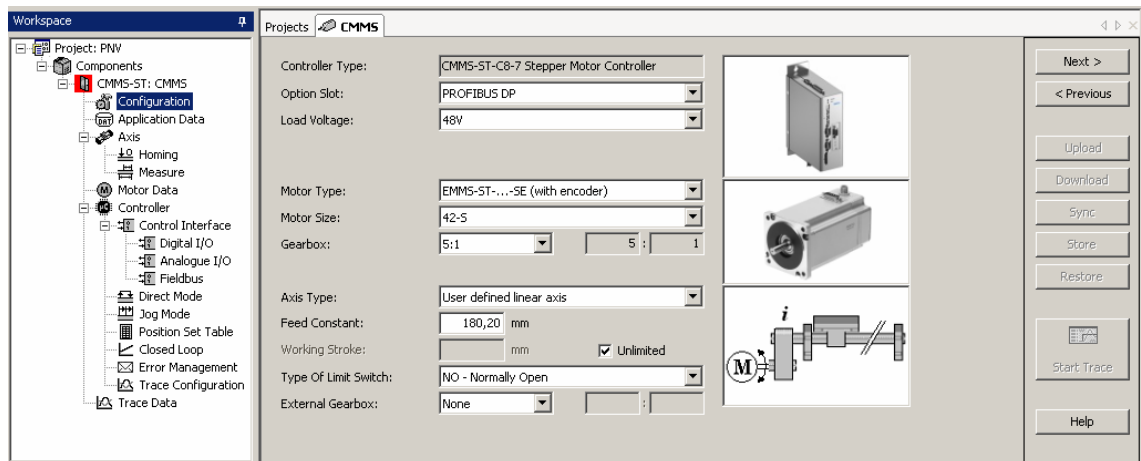


Figuur 6.21: Sycon software voor het instellen van Profibusnetwerk

6.3.2 Motion controller instellen

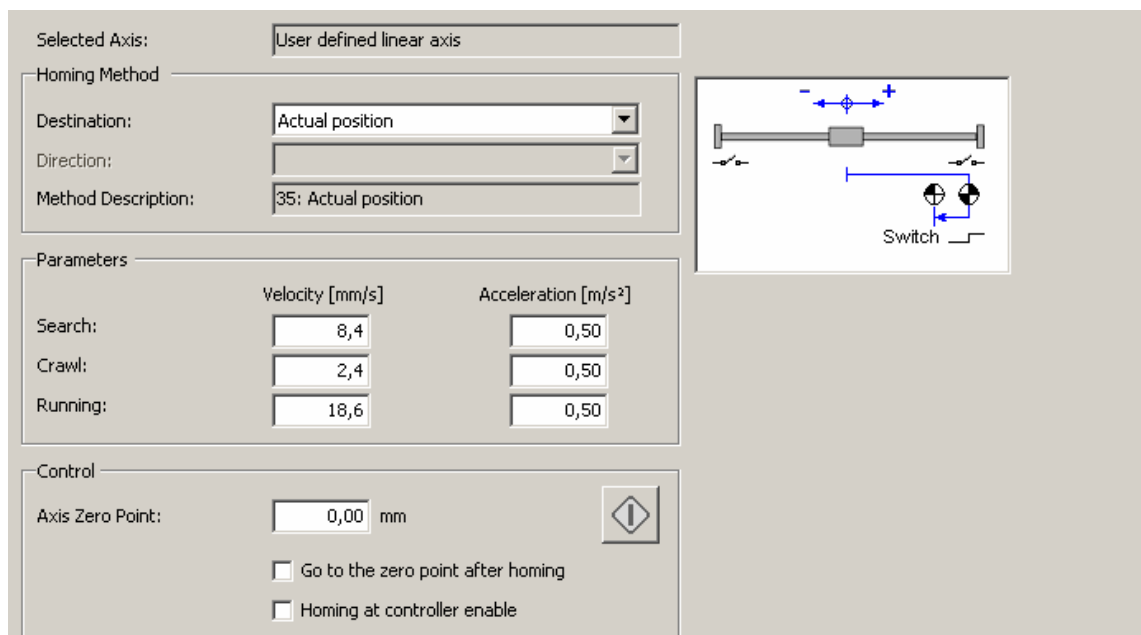
Hoewel men de motion controller kan aansturen via Profibus, moet men deze eerst apart instellen. Dit kan gebeuren via de FCT software van Festo (Festo Configuration Tool). In FCT moet men een project aanmaken met daarin alle instellingen voor de motor. Als eerste moet men aangeven welk type motor, reductie en controller men gebruikt (zie Figuur 6.22). Daarnaast is ook de “feed constant” een zeer belangrijke instelling. Deze waarde geeft aan hoeveel mm overeen komt met één omwenteling. Het is op basis hiervan dat de motion controller de motor aanstuurt. Stel dat men 100mm wil bewegen en de feed constant bedraagt 50mm dan stuurt de drive de motor zo aan dat deze exact twee omwentelingen maakt (de controller rekent het aantal pulsen van de encoder automatisch om naar het aantal omwentelingen).

Andere belangrijke instellingen zijn de maximale snelheid en versnelling. Merk op dat men de snelheid of versnelling niet oneindig hoog kan zetten, FCT geeft maximale waarden op. Merk tevens op dat deze maximumwaarden veranderen naargelang men instellingen verandert in de controller. Indien men de feed constant verhoogt, de reductie aanpast of een andere belasting selecteert, herberekent FCT automatisch de maximale snelheid en versnelling die de motor aankan zonder schade op te lopen.



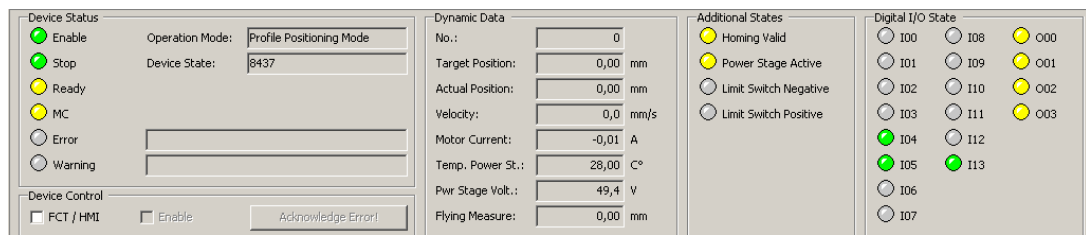
Figuur 6.22: Algemene instellingen motion controller

Nadat alle waardes zijn ingesteld, moet men bepalen op welke manier de motor zijn referenties gaat bepalen. Meestal stuurt een stappenmotor een lineaire drive aan die beveiligd is met limietschakelaars. Via de “Homing” instellingen, kan men in de controller bepalen in welke richting men die limietschakelaars moet zoeken en hoe de referentie nadien moet liggen. De bedradingstool heeft echter geen limietschakelaars omdat deze steeds in dezelfde richting moet bewegen, daarom is voor de optie “Actual position” gekozen (zie Figuur 6.23). De controller neemt hierbij de huidige waarde als referentie voor de motor.



Figuur 6.23: Instellingen homing positie

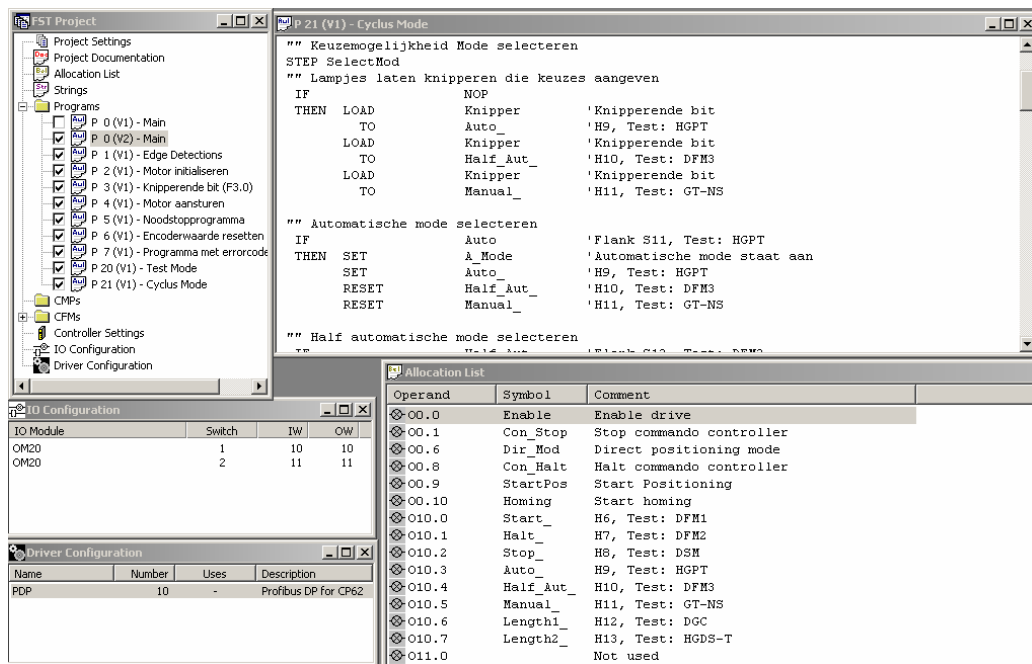
Eenmaal alle instellingen zijn gedaan, moet men het programma uploaden naar de motion controller. Men kan trouwens ook online de status bekijken. Zo kan men ondermeer zien op welke positie de motor staat, welke het doel is en welke stroom de motor opneemt. Daarnaast zijn er ook verschillende statusbits weergegeven, deze geven bijvoorbeeld aan of de voedingsspanning van de motor aanwezig is, of de controller klaar is om te bewegen, ... De instellingen van de motion controller zijn opgenomen op de cd-rom van deze scriptie onder “Programma’s / FCT / MASTERPROEF.zip”.



Figuur 6.24: Online status motion controller

6.3.3 PLC Programmeren

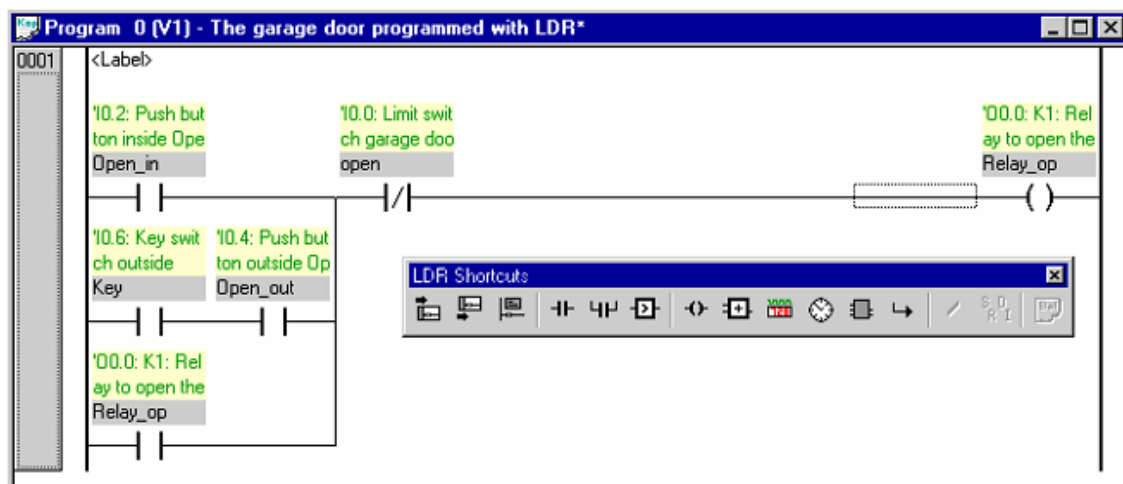
Eenmaal het Profibusnetwerk en de motion controller correct zijn ingesteld, kan men beginnen met het programmeren van de PLC. Dit gebeurt via het programma FST (Festo Software Tool). Als men een nieuw project opstart moet men eerst ingeven met welk type processor men werkt (in dit geval het type HC2X).



Figuur 6.25: Hoofdscherm FST

Figuur 6.25 toont de belangrijkste vensters van een FST programma. Linksboven staat de “Project Tree” die een overzicht geeft van alle onderdelen in het project (programma’s, drivers, instellingen). Linksonder staan twee vensters om de uitbreidingskaarten van de PLC te configureren. Bij het opstarten van het project is namelijk enkel de processormodule gekend, andere modules zoals de I/O kaarten en de Profibusmodule moet men handmatig invoeren en instellen. Eenmaal dit gedaan is, kan men best de variabelen declareren in de Allocation List (het venster rechtsonder). De I/O kaarten werken namelijk met namen zoals I0.2 of O3.5 voor hun in- en uitgangen maar dit is onpraktisch om mee te programmeren. Via de Allocation List kan men deze variabelen een duidelijkere naam geven (bv. “Startknop” of “Lamp_Aan”) zodat het makkelijker is om te programmeren. Het schrijven van de code zelf gebeurt in het programmavenster, rechtsboven op Figuur 6.25.

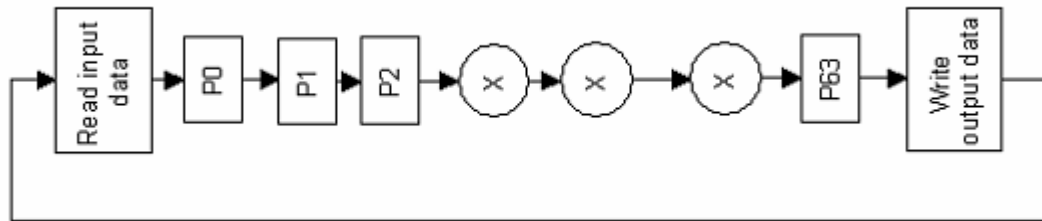
Men kan op twee manieren programmeren in FST, ofwel via een ladderdiagram (zie Figuur 6.26) ofwel via een statement list (puur tekstueel). Bij Festo raadde men echter aan om steeds via een statement list (STL) te werken omdat dit meer mogelijkheden biedt en in het algemeen handiger is om mee te werken.



Figuur 6.26: Ladderdiagram in FST [FST p3-23]

Men kan echter in één project zowel STL als LDR programma’s hebben. In totaal kan men met FST 64 programma’s in één project aanmaken. Figuur 6.27 toont de cyclus waarin de PLC de programma’s afloopt. Eerst leest deze de inputdata in, vervolgens loopt de PLC alle programma’s af om tenslotte de uitgangen aan te passen aan de

nieuwe waarden. Merk op dat de PLC standaard enkel het programma P0 cyclisch doorloopt, andere programma's moet men eerst activeren alvorens ze in de cyclus worden opgenomen.



Figuur 6.27: Cyclus van PLC [FST p6-4]

Een voordeel van FST is dat men sequentieel kan programmeren via de “STEP” instructie. Figuur 6.28 toont een voorbeeld van een programma waar de STEP instructie in is verwerkt. Bij het doorlopen van het programma gaat de PLC enkel kijken naar de huidige stap. Zolang niet aan de voorwaarden binnen die stap voldaan is, wordt de rest van de code niet geactiveerd. Hierdoor kan de PLC een stuk sneller werken, in plaats van een heel programma in te laden, volstaat het bij het sequentieel programmeren om enkel de huidige stap uit te voeren, de cyclustijd is dus een stuk korter.

```

P 2 (V1) - Motor initialiseren

"" Halt en stop deactiveren
STEP Stop
IF Enabled 'Drive is enabled
THEN SET Con_Halt 'Halt commando controller
      SET Con_Stop 'Stop commando controller

"" Kijken of controller klaar is om te positioneren
STEP Free
IF Con_Free 'Controller klaar voor positioneren
THEN SET TO 'Timer: Initialisation

"" Homing positie aanrijden
STEP Homing
IF N TO 'Timer: Initialisation
THEN SET Homing 'Start homing
      SET TO 'Timer: Initialisation

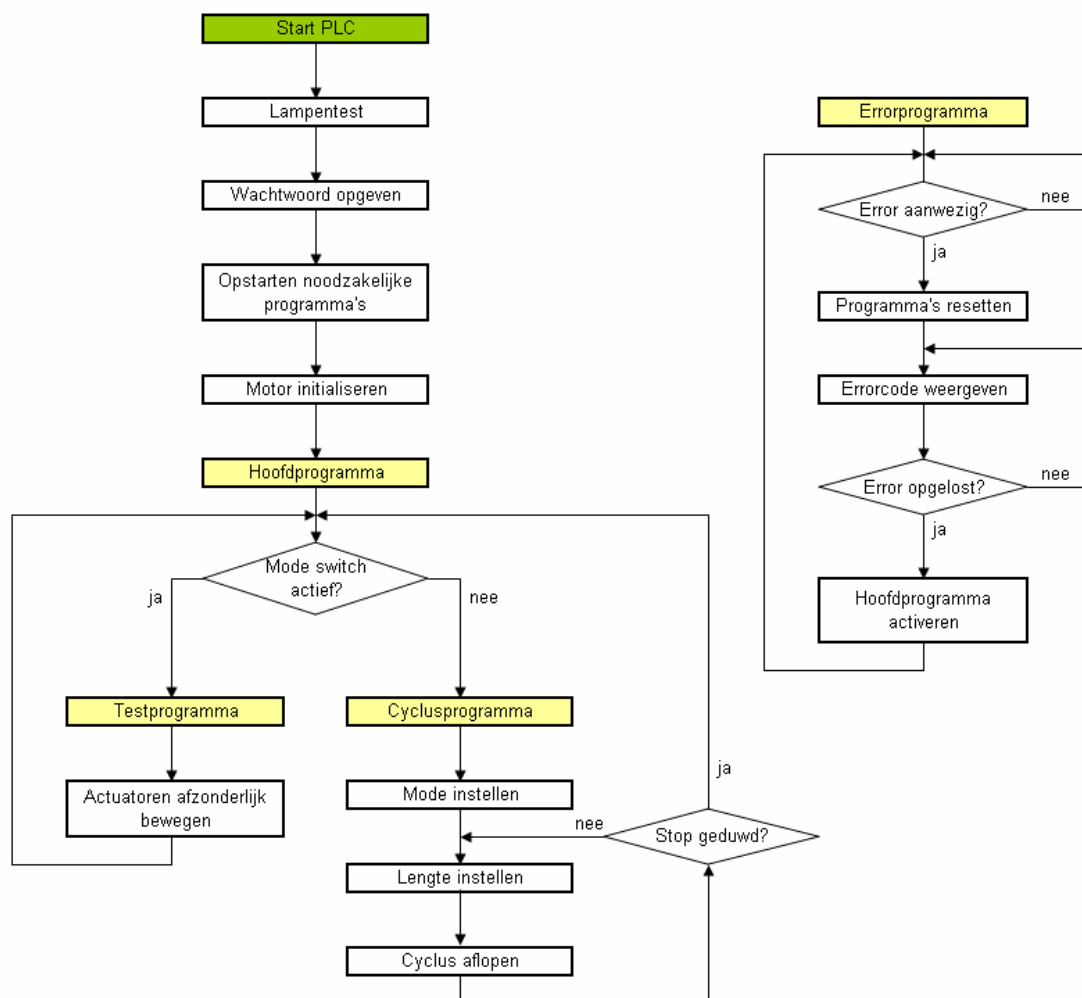
"" Homing gedaan + terug 0 als referentie nemen en direct mode opzetten
STEP Reference
IF AND N Ref_Ok 'Motor heeft referentie
      TO 'Timer: Initialisation
THEN RESET Homing 'Start homing
      SET Dir_Mod 'Direct positioning mode
      SET TO 'Timer: Initialisation
      LOAD VO
      TO Position 'Positie die motor moet aanrijden

"" Eindstep
STEP Einde
IF N TO 'Timer: Initialisation
THEN NOP
  
```

Figuur 6.28: STL programma met STEP instructie

Figuur 6.29 toont de structuur van het programma voor de bedradingstool. Als men de PLC opstart, wordt er eerst een lampentest uitgevoerd. Dit betekent dat alle lampen (die de PLC stuurt) even aangaan zodat men kan controleren of er defecte lampen zijn. Alvorens de PLC doorgaat met het programma, moet men een wachtwoord opgeven, dit is om te verhinderen dat onbevoegden de bedradingstool kunnen activeren.

Vervolgens start de PLC een aantal noodzakelijke programma's op. Hier zit onder andere een programma bij dat flankdetectie van alle knoppen doet en ook het errorprogramma dat beslist wat er moet gebeuren in geval van fouten (bijvoorbeeld het induwen van de noodstop). Vervolgens moet de PLC de motor initialiseren door de motion controller te activeren en de motor een referentiepositie te geven.



Figuur 6.29: Overzicht cyclus PLC programma

Op dit moment start de PLC het hoofdprogramma op dat twee grote modes heeft. Indien de “mode” schakelaar actief is, kan men via het testprogramma alle actuatoren afzonderlijk bewegen (om bijvoorbeeld afstellingen te doen). Als de “mode” schakelaar inactief is, komt men in het cyclusprogramma. Na het instellen van de juiste mode (automatisch of manueel) en de draadlengte, loopt de bedradingstool de volledige cyclus af. Afhankelijk van het indrukken van de stopknop, vraagt de PLC op het einde van de cyclus een nieuwe draadlengte of gaat deze terug naar het hoofdprogramma.

Indien er een error is, bijvoorbeeld het induwen van de noodstop of het wegvallen van de perslucht, moet de PLC op de juiste manier reageren. Afhankelijk van de fout, gaat het errorprogramma de nodige acties doen (bv. actieve programma's resetten). Daarnaast geeft de PLC ook een errorcode weer aan de hand van enkele lampen op de deur. Hierdoor weet de gebruiker welke fout precies is opgetreden en welke acties hij moet ondernemen om de fout op te lossen. Eenmaal men de fout oplost, gaat de PLC door met zijn activiteiten.

Hoewel het programma nog niet volledig geschreven is bij het inleveren van deze scriptie, is de voorlopige versie van het project toch opgenomen op de cd-rom van de scriptie onder “*Programma's / FST / MASTERPROEF.zip*”.

6.4 Nog te doen

Omdat het project van de bedradingstool dermate groot is, loopt de realisatie ervan nog door na de inleverdatum van de scriptie. Zowel de bedradingstool als de stuurkast zijn volledig geassembleerd, op sommige plaatsen zijn nog instellingen nodig. Zo moet men alle debietregelaars juist instellen zodat de bewegingen soepel verlopen. Dit kan echter pas juist gebeuren indien men de volledige cyclus van de tool programmeert. Ook dit is nog niet volledig afgerond bij het indienen van de scriptie.

In de weken tussen het inleveren van de scriptie en de verdediging voor de jury, gebeuren deze instellingen, samen met het verder programmeren van de cyclus in de PLC. Indien er geen grote problemen meer opduiken, moet dit alles gebeurd zijn voor de juryverdediging van de Masterproef. Tijdens de verdediging zou men de bedradingstool dan ook volledig in werking moeten zien.

7 Besluiten

7.1 SWOT analyse

Om een evaluatie van het project te kunnen doen, is er een SWOT analyse uitgevoerd. Deze SWOT analyse onderzoekt de positieve en negatieve eigenschappen van de Masterproef. Men kan ook een SWOT analyse doen van de bedradingstool maar dit is niet nuttig aangezien de tool nooit op zichzelf kan werken, het is slechts een deel van de bedradingsmachine. De analyse van de machine in zijn geheel is echter reeds besproken in punt 1.5. De analyse gaat dus over een project en niet over een product (zoals meestal het geval is). De SWOT analyse geeft dan ook eerder aan hoe wij als studenten de Masterproef hebben ervaren. Hieronder staat de opsomming van de brainstormsessie.

Sterktes

- Leren denken op “industrieel” niveau
- Relatief lage kosten voor het project (t.o.v. gehele concept)
- Grote gedrevenheid van de studenten
- Ook realisatie van het project

Zwaktes

- Beperkte kennis automatisatie
- Slechts twee dagen per week lesvrij
- Geen kennis van leveranciers

Kansen

- Contacten met de industrie
- EPlan opleiding kunnen volgen
- Technische beurzen bezoeken in het kader van de Masterproef
- Bedrijven overtuigen om mee te stappen in het project
- Goede ondersteuning door andere bedrijven (bv. IMA)

Bedreigingen

- Lange levertijden
- Vertrouwen op raad van anderen
- Gevoelige informatie moet gedeeld worden
- Moeilijk om contacten te leggen met bedrijven als student
- Wegens drukte in bedrijven, moeilijk om vergaderingen te regelen

Figuur 7.1 toont de belangrijkste sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen van de Masterproef, schematisch voorgesteld in een SWOT matrix.

	Positief	Negatief
Intern	<p style="text-align: center;"><u>Sterktes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Denken op industrieel niveau • Realisatie van het project • Grote gedrevenheid 	<p style="text-align: center;"><u>Zwaktes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Beperkte kennis • Slechts twee dagen per week lesvrij • Geen kennis leveranciers
Extern	<p style="text-align: center;"><u>Kansen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Contacten met de industrie • Bedrijven overtuigen • Goede ondersteuning 	<p style="text-align: center;"><u>Bedreigingen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lange levertijden • Vertrouwen op raad van anderen • Gevoelige informatie delen

Figuur 7.1: SWOT matrix Masterproef

7.2 Technische conclusie

Uit de Bachelorproef van vorig academiejaar bleek dat er economisch potentieel is voor een machine die een gedeelte van de draden in een schakelkast automatisch kan leggen. Na deze Masterproef blijkt dat ook de technische mogelijkheden er zijn. Een eerste aanduiding hiervan is de CC-Matic van Wago. Deze machine kan echter enkel toestellen met de Cage Clamp technologie aansluiten, waardoor het toepassingsgebied erg klein is.

De CC-Matic toont echter wel aan dat een bedradingsmachine technisch mogelijk is en door het concept aan te passen kan men de machine veel meer mogelijkheden geven. Het concept dat in de Masterproef is ontwikkeld, vertrekt van twee robots met elk hun specifieke taken. Door de taken te verdelen kan men de complexe handelingen die gepaard gaan met het aansluiten van een draad veel gemakkelijker uitvoeren.

Het gehele project brengt echter grote financiële kosten met zich mee en om die reden is gekozen om tijdens de Masterproef één van de meest kritische onderdelen te ontwikkelen. Dit is de bedradingstool die op het uiteinde van één van de robots moet komen. Tijdens het tweede deel van deze Masterproef is deze tool ontwikkeld en gebouwd. Hoewel er nog testen moeten gebeuren na het indienen van deze scriptie zijn de resultaten tot nu toe zeer positief. Er zijn nog enkele problemen die opduiken maar deze zijn niet van zo'n aard dat men ze niet kan oplossen.

Het project is echter niet afgelopen na deze Masterproef, eenmaal dat de bedradingstool werkt, kan men bij P&V met de verdere ontwikkeling van de bedradingsmachine beginnen. Vanwege de kosten en complexiteit van het project, moet men op zoek gaan naar partners die het project kunnen en willen ondersteunen. De bedradingstool is in die zin het perfecte middel om de partners te overtuigen dat een bedradingsmachine niet zomaar een vaag idee is, maar dat het wel degelijk mogelijk is, zowel op economisch als op technologisch gebied.

7.3 Persoonlijke conclusie

Doorheen deze Masterproef hebben we erg veel bijgeleerd, mede omdat het project zo gevarieerd was. In eerste instantie moesten we het probleem “van bovenaf” bekijken en heel oppervlakkig uitwerken om tot een totaalconcept te komen. Vervolgens moesten we inzoomen op een deel van het grote project: de bedradingstool. Ook hier zijn we begonnen met “van bovenaf” een oppervlakkig concept te bedenken. Vervolgens moest dit concept in een concreet ontwerp gegoten worden (zowel mechanisch, elektrisch als pneumatisch).

Pas tijdens het maken van het echte ontwerp bleek dat het contrast tussen het bedrijfsleven en de lessen op school vaak erg groot is. Daar waar de vakken op school de dingen meestal theoretisch benaderen, was het voor deze Masterproef zeer belangrijk om ook naar de praktische kant te kijken. Dat betekent ook dat we met alle kleinigheden rekening moesten houden. Vooral naar de keuze van componenten was dit zeer belangrijk. Een voorbeeld hiervan is de lagering van de lineaire drives: er zijn verschillende types die ogenschijnlijk weinig verschillen maar toch moet men de juiste selecteren voor de toepassing. Het zijn al deze kleine dingen die het ontwerpen van de bedradingstool erg ingewikkeld (maar tegelijk ook zeer leerrijk) maakten. Gelukkig konden we terugvallen op verschillende ervaren mensen bij P&V, IMA en Festo die ons gedurende het hele project met raad hebben bijgestaan.

Algemeen kunnen we concluderen dat we met deze Masterproef hebben kunnen proeven van de vele aspecten die het ingenieursberoep rijk is. We hebben zowel deelgenomen aan de conceptontwikkeling van een project, het ontwerpen ervan om dan tenslotte een deel ervan te realiseren. Tijdens het project zijn we ook met verschillende takken van de techniek in contact gekomen: mechanica, elektriciteit, pneumatica en ook informatica zijn aan bod gekomen.

We willen eindigen met Ghislain Vanherle van P&V nogmaals te bedanken voor deze kans om onze schoolcarrière op zo’n unieke manier te mogen afsluiten.

8 Bijkomende informatie

8.1 Overzicht der bijlagen

Omdat de bijlagen deze scriptie te veel zouden verzwaren zijn ze in een apart deel opgenomen (Deel 2: Conceptontwikkeling, ontwerp en realisatie van een bedradingstool: Bijlagen). Hieronder staat een overzichtslijst van de verschillende bijlagen en het aantal pagina's.

Bijlage	Naam bijlage	# pagina's
Bijlage A:	Specificaties	6
Bijlage B:	Proefopstellingen	9
Bijlage C:	Materialenlijst	7
Bijlage D:	Technische tekeningen	29
Bijlage E:	Pneumatisch schema	1
Bijlage F:	Elektrisch schema	36
Bijlage G:	Tijdsverdeling	1
Bijlage H:	Cyclustijd	2
Bijlage I:	Contactgegevens leveranciers	2
Bijlage J:	Risicoanalyse	9
Bijlage K:	Curriculum Vitae	4

8.2 Literatuurlijst

Opmerking: de product catalogi, handleidingen en datasheets die in deze literatuurlijst zijn opgenomen, zijn ook aanwezig op de cd-rom van deze scriptie onder de map “*Documentatie*”.

- [BECK]: Beck, Product catalogus 1997, [online] available at <http://www.beck-ipc.com/en/download/index.asp>, © 2008
- [BUS]: Bustechnologie, Introductie van bussystemen in het onderwijs, [online] available at <http://www.bustechnologie.nl/>, updated 07-07-2001
- [CMMS]: Festo, Motor controller CMMS-ST-C8-7: Brief Overview, 2007
- [FES]: Festo, Product catalogus 2007-2008, [online] available at <http://www.festo.com/>, © 2008
- [FST]: Festo, Automating with FST, [online] available at <http://www.festo.com/>, © 2008
- [JDV]: JDV, Tools for the plastics industry; [online] available at <http://www.vesseltools.com/download.html>, © 2006
- [KOM]: Komax, Website Komax: Professionals in advanced automation, [online] available at <http://www.komax.ch/>, © 2007
- [MIS]: Misumi, Product catalogus 2007, [online] available at <http://www.misumi-europe.com/>, © 2008
- [P&V]: P&V Elektrotechniek, Website P&V: Uniek in elektrotechniek, [online] available at <http://www.pnv.be/>, © 2008
- [PHOE]: Phoenix Contact, Product catalogus 2007-2008, [online] available at <http://www.phoenixcontact.be/>, © 2008
- [ROT]: Rotech, Website Rotech Tooling Sweden, [online] available at <http://www.rotech.se/>, Updated 12-12-2001
- [SCHU]: Schunk, Website Schunk: Automation components, [online] available at <http://www.schunk.com/>, © 2008
- [YOU]: YouTube, Website voor video's, [online] available at <http://www.youtube.com/>, © 2008

8.3 Overzicht cd-rom scriptie

Titel cd-rom: Conceptontwikkeling, ontwerp en realisatie van een bedradingstool

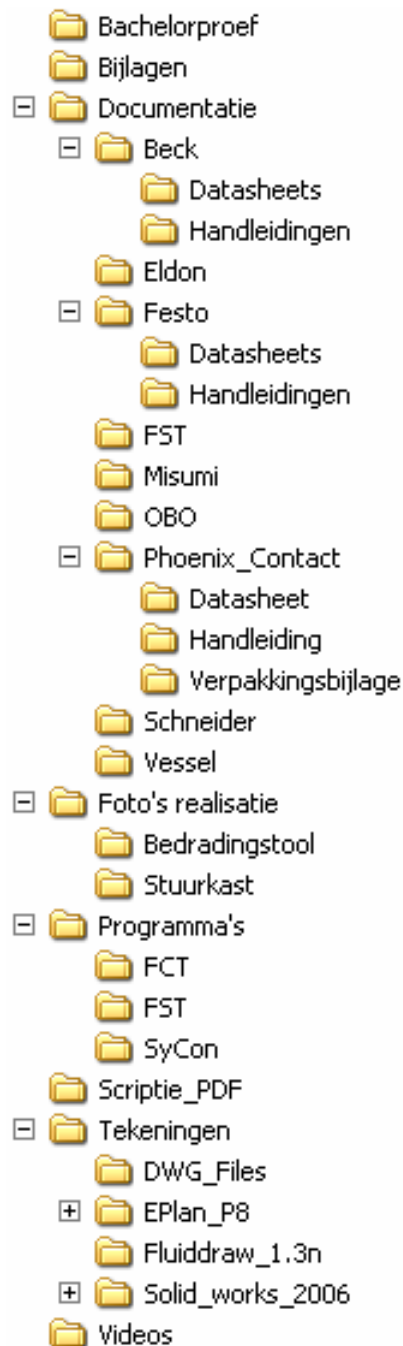
Jan Comhair 200400192

Bernd Mouchaers 200400441

2007 - 2008

Grootte: 480MB

Mappenstructuur:



Figuur 8.1: Mappenstructuur cd-rom

8.4 Figurenlijst

Figuur 1.1: Luchtfoto P&V Elektrotechniek [P&V].....	10
Figuur 1.2: Grafiek omzet P&V [P&V].....	10
Figuur 1.3: Voorbeeld van schakelbord 1 [P&V]	11
Figuur 1.4: Voorbeeld van schakelbord 2 [P&V]	11
Figuur 1.5: Perforex frees- en boormachine	13
Figuur 1.6: Verdeling omzet éénmalige projecten 2006.....	14
Figuur 1.7: Omzet waarbij gedeeltelijke automatisatie mogelijk is.....	15
Figuur 1.8: Besparingen bij het gebruiken van bedradingsmachine	16
Figuur 1.9: SWOT matrix bedradingsmachine	17
Figuur 1.10: Partijen met een bijdrage in het project.....	19
Figuur 1.11: RASCI Matrix	21
Figuur 2.1: Eerste uitgewerkte concept.....	23
Figuur 2.2: Draad uit het rek halen	24
Figuur 2.3: Draad oprollen in flexibele buis	24
Figuur 2.4: Twee grippers nemen de draad.....	25
Figuur 2.5: Draad tussen ribben kabelgoot leggen	25
Figuur 2.6: Achterste gripper omhoog.....	26
Figuur 2.7: Draad in aansluiting brengen.....	27
Figuur 2.8: Revolversysteem met vier bits	27
Figuur 2.9: Klaarmaken om draad af te rollen	28
Figuur 2.10: Draad afrollen in de kabelgoot.....	28
Figuur 2.11: Vastgrijpen tweede uiteinde	29
Figuur 2.12: Omdraaien bedradingstool	29
Figuur 2.13: Concept met robot en XYZ tafel	31
Figuur 2.14: Komax Zeta 633 [KOM]	32
Figuur 2.15: Gereedschapswisselsysteem [SCHU]	32
Figuur 2.16: Halen van de draad en scannen eindpunten.....	33
Figuur 2.17: Aansluiten eerste uiteinde	34
Figuur 2.18: Aansluiten tweede uiteinde	34
Figuur 2.19: Cage clamp technologie Wago [YOU]	36
Figuur 2.20: Opbouw CC-Matic [YOU].....	37
Figuur 2.21: De draad de juiste kleur geven [YOU].....	37

Figuur 2.22: Aanbrengen label op de draad [YOU].....	37
Figuur 2.23: Gedeeltelijk strippen van de draad [YOU].....	38
Figuur 2.24: Samenpersen draad [YOU]	38
Figuur 2.25: Knipsysteem CC-Matic [YOU].....	38
Figuur 2.26: Aansluiten eerste draadeinde [YOU]	39
Figuur 2.27: Omkeren van de draad [YOU]	39
Figuur 2.28: Overzicht uiteindelijke concept.....	41
Figuur 2.29: Scannen toestellen	42
Figuur 2.30: Bevestigen eindhuls.....	43
Figuur 2.31: Aansluiten eerste draadeinde.....	44
Figuur 2.32: Draad in de kabelgoot leggen.....	44
Figuur 2.33: Tweede uiteinde aansluiten	45
Figuur 3.1: Basistaken bedradingstool.....	49
Figuur 3.2: Voeding lasrobot [ROT].....	50
Figuur 3.3: Draadvoedingssysteem Wago [YOU]	50
Figuur 3.4: Ontwikkeling knipsysteem	51
Figuur 3.5: Kant-en-klaar knipsysteem [VES p7]	51
Figuur 3.6: Kleine en grote grijper.....	52
Figuur 3.7: Grijper in positie via rotatie of translatie	53
Figuur 3.8: Problemen bij het leggen van de draad in de kabelgoot.....	54
Figuur 3.9: Systemen om draad in kabelgoot te leggen	55
Figuur 3.10: Corrigerend effect grote grijparmen.....	55
Figuur 3.11: Omgekeerd uiteinde draad	55
Figuur 3.12: Mogelijkheden om draad om te draaien	56
Figuur 3.13: Basisframe en draadgeleiding	57
Figuur 3.14: Componenten grijperarm.....	58
Figuur 3.15: Knipunit en omkeerunit.....	59
Figuur 3.16: Vastgrijpen eerste uiteinde	60
Figuur 3.17: In positie brengen eerste uiteinde.....	61
Figuur 3.18: Draad in de kabelgoot leggen.....	61
Figuur 3.19: Draadeinde omkeren	62
Figuur 4.1: Schematische opstelling draadvoedingssysteem.....	64
Figuur 4.2: Dimensies T5 [MIS p1527].....	65

Figuur 4.3: Opstelling riemschijven.....	66
Figuur 4.4: Riemschijven met spanrol [MIS p1518]	66
Figuur 4.5: Gegroefde lagers Misumi [MIS p1776]	66
Figuur 4.6: Krachten op draad in voedingssysteem.....	67
Figuur 4.7: Richting wrijvingskrachten op draad	68
Figuur 4.8: Krachten op getande riem	69
Figuur 4.9: Richting wrijvingskrachten op getande riem.....	70
Figuur 4.10: Moment bij getande riem	71
Figuur 4.11: Stappenmotor en reductie [FES p5/2.2-19 en -23].....	72
Figuur 4.12: Koppel-toerental karakteristiek EMMS-ST-42 [FES p5/2.2-19].....	73
Figuur 4.13: Radiale krachten op reductie	73
Figuur 4.14: Principe van krachten bij botsing	74
Figuur 4.15: Algemene opstelling voor impactkracht.....	75
Figuur 4.16: Parallelgrijper HGPT [FES p1/7.7-4].....	77
Figuur 4.17: Vingerlengte i.f.v. excentriciteit [FES p1/7.7-10].....	77
Figuur 4.18: Maximale kracht en moment op HGPT-25 [FES 1/7.7-5]	78
Figuur 4.19: Botsingskrachten bij grijper	78
Figuur 4.20: Botsingskrachten bij draaimodule	79
Figuur 4.21: Varianten DSM draaimodule [FES p1/4.1-2].....	80
Figuur 4.22: Berekening traagheidsmomenten	81
Figuur 4.23: Traagheidsmoment grijperconstructie.....	82
Figuur 4.24: Maximaal traagheidsmoment in functie van snelheid [FES p1/4.1-23].....	83
Figuur 4.25: Lineaire drive DFM [FES p1/6.2-70].....	83
Figuur 4.26: DSM als stopper [FES p1/6.2-65 en -75].....	84
Figuur 4.27: Lagering in DFM modules [FES p1/6.2-74]	84
Figuur 4.28: GT-NS Productgamma [JDV p6]	85
Figuur 4.29: N20AP Scharen [JDV p15]	86
Figuur 4.30: DFM-12 gebruikt als lift [FES p1/6.2-76]	86
Figuur 4.31: Zuigerstangloze cilinder DGC [FES p1/3.1-40].....	87
Figuur 4.32: Maximale krachten en momenten op DGC [FES p1/3.1-46].....	87
Figuur 4.33: zwaai-grijpmodule HGDS [FES p1/7.8-4]	88
Figuur 4.34: Grijpkracht per vinger HGDS [FES p1/7.8-7]	88
Figuur 5.1: L-profiel met flens.....	89

Figuur 5.2: Basisframe bedradingstool	90
Figuur 5.3: Riemschijfopstelling draadvoeding.....	91
Figuur 5.4: Werking klembus [MIS p1507].....	91
Figuur 5.5: Pasbout [MIS p911]	92
Figuur 5.6: Slede en rail tegendrukwielen	92
Figuur 5.7: Binnenkomst van de draad	94
Figuur 5.8: Telescopische buis.....	95
Figuur 5.9: Constructie grijperarm.....	96
Figuur 5.10: Grijpervingers hoofdgrijper.....	97
Figuur 5.11: Knipmes en draadcentrering.....	98
Figuur 5.12: Vingers omkeerunit en centreerplaatjes	99
Figuur 5.13: Ventieleiland en sensorblok	100
Figuur 5.14: Gatensensoren en leidingen.....	101
Figuur 5.15: Kabelrups voor de grijperarm	102
Figuur 5.16: Alles demonteerbaar langs voorkant	103
Figuur 5.17: Overzicht voorkant.....	104
Figuur 5.18: Overzicht achterkant.....	104
Figuur 5.19: Grijperarm volledig uitgestrekt	105
Figuur 5.20: Close up knipmes	105
Figuur 5.21: Telescopische buis naar beneden	106
Figuur 5.22: Close up omkeerunit.....	106
Figuur 5.23: CPV Ventieleiland [FES p4/2.1-2].....	107
Figuur 5.24: Fieldbus Direct systeem [FES p4/2.1-6]	108
Figuur 5.25: Opbouw CPV ventieleiland [FES p4/2.1-8].....	108
Figuur 5.26: Eindplaten type D [FES p4/2.1-17].....	109
Figuur 5.27: Stuurlucht 5/2 Ventiel [FES p4/2.1-9]	109
Figuur 5.28: Dubbel 3/2 ventiel [FES p4/2.1-9]	110
Figuur 5.29: Grijper aansturen met 3/2 ventiel	110
Figuur 5.30: Debietregelaar type GRLA [FES p2/5.6-13].....	111
Figuur 5.31: Naderingssensoren [FES p1/10.2-13]	112
Figuur 5.32: Plaatsing naderingssensoren [FES p1/6.2-68].....	113
Figuur 5.33: Output naderingssensor [FES p1/10.2-13]	113
Figuur 5.34: Ingangsmodule sensoren [FES p4/5.1-85]	114

Figuur 5.35: Overzicht Profibus systemen [BUS]	115
Figuur 5.36: Opbouw Profibus systeem [BUS]	116
Figuur 5.37: Aansluiting Profibuskabel [BECK].....	117
Figuur 5.38: Profibuskabel en stekkers [BUS]	117
Figuur 5.39: IPC Busboard [BECK]	118
Figuur 5.40: Processormodule [BECK]	119
Figuur 5.41: Profibusmodule [BECK]	120
Figuur 5.42: I/O module [BECK]	121
Figuur 5.43: Klemmenstrook voor I/O module.....	121
Figuur 5.44: Aansluitschema motion controller [CMMS p46].....	122
Figuur 5.45: Motorkabel met screening [CMMS]	123
Figuur 5.46: Overzicht aansluiting CMMS Controller [CMMS].....	124
Figuur 5.47: Intern schema voeding [PHOE]	124
Figuur 5.48: Veiligheidsrelais [PHOE].....	125
Figuur 5.49: Aansluitschema veiligheidsrelais [PHOE]	126
Figuur 5.50: Factoren risicoanalyse	129
Figuur 6.1: Samengesteld frame van de bedradingstool	132
Figuur 6.2: Montage onderdelen draadgeleiding	132
Figuur 6.3: Motor gemonteerd op het frame	133
Figuur 6.4: Subassemblages bedradingstool	134
Figuur 6.5: Eindaanslagen DSM [FES p1/4.1-3]	134
Figuur 6.6: Aansluiten persluchtleidingen	135
Figuur 6.7: Sensorkabels leggen op de tool	135
Figuur 6.8: Aansluiten van ventieleiland en inputmodule	136
Figuur 6.9: Voorkant afgewerkte bedradingstool	137
Figuur 6.10: Achterkant afgewerkte bedradingstool.....	137
Figuur 6.11: Gaten in wartelplaat.....	138
Figuur 6.12: Onderdelen op de montageplaat	138
Figuur 6.13: Samenstelling noodstop.....	139
Figuur 6.14: Overzicht achterkant deur	139
Figuur 6.15: Phoenix sleeves	140
Figuur 6.16: Draden gemonteerd op deur	141
Figuur 6.17: Montageplaat met gemonteerde draden	142

Figuur 6.18: Binnenkant afgewerkte stuurkast	143
Figuur 6.19: Buitenkant afgewerkte stuurkast	143
Figuur 6.20: Dipswitches voor Profibusadres	144
Figuur 6.21: Sycon software voor het instellen van Profibusnetwerk	145
Figuur 6.22: Algemene instellingen motion controller	146
Figuur 6.23: Instellingen homing positie	146
Figuur 6.24: Online status motion controller	147
Figuur 6.25: Hoofdscherm FST	147
Figuur 6.26: Ladderdiagram in FST [FST p3-23].....	148
Figuur 6.27: Cyclus van PLC [FST p6-4].....	149
Figuur 6.28: STL programma met STEP instructie	149
Figuur 6.29: Overzicht cyclus PLC programma	150
Figuur 7.1: SWOT matrix Masterproef.....	154
Figuur 8.1: Mappenstructuur cd-rom	159