

Woord vooraf

Hierbij stellen wij graag onze thesis voor welke het “ontwerp van een universele toren voor een automatisch aanpasbare lasmal voor uitlaatsystemen” inhoudt. Deze thesis vormt het afsluitend deel van onze opleiding industriële wetenschappen met afstudeerrichting elektromechanica.

In de eerste plaats zijn wij het bedrijf Bosal heel dankbaar dat wij voor hun een project hebben mogen uitwerken. Wij hebben dit als zeer leerrijk en interessant ervaren, daar dit project zeer veel vakgebieden van onze opleiding bestreek. In het bijzonder willen wij ons met een woord van dank richten tot onze interne promotor ing. Jos Reeskens en externe promotor ing. John Bijmens voor hun steun en begeleiding gedurende het hele traject. Ook willen we graag de heer Koen Kerkhofs van het bedrijf Beckhoff bedanken voor zijn expertise bij de ontwikkeling van het elektrisch aspect van deze masterproef.

Tot slot bedanken wij ook graag onze ouders voor, niet enkel de steun en het vertrouwen dat zij in ons hadden, maar ook voor de kansen die zij ons al jarenlang geven.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Abstract	9
Abstract in English	11
1 Inleiding	13
1.1 Situering.....	13
1.2 Probleemstelling.....	13
1.3 Doelstellingen.....	14
1.4 Methode.....	15
1.5 Vooruitblik.....	15
2 Voorstudie	17
2.1 Bestuderen van het huidig ontwerp van de lasmallen.....	17
2.2 Herhaling doelstellingen.....	17
2.3 Gevonden oplossingen.....	17
2.4 Ontwerpspecificaties.....	18
2.5 Concept van een universele toren.....	19
3 Marktstudie	23
3.1 Lineaire componenten.....	23
3.2 Elektrische aandrijvingen.....	27
3.2.1 De stappenmotor.....	27
3.2.2 De servomotor.....	28
3.2.3 De keuze van aandrijving.....	29
4 Ontwerp van een universele toren	31
4.1 Mechanisch ontwerp.....	31
4.1.1 Dimensionering van de lineaire modules.....	31
4.1.2 Ontwerpen van de verbindingselementen.....	35
4.1.3 Ontwerpen van de tools.....	38
4.2 Elektrisch ontwerp.....	42
4.2.1 Keuze van het type servomotor.....	42
4.2.2 Keuze van de motorsturing.....	44
4.2.3 Uitwerking van de industriële PC-sturing.....	45
4.3 De universele toren.....	48

5 Koppeling tussen Creo Parametric en TwinCat 3	51
5.1 Verzamelen en exporteren van data uit Creo Parametric	51
5.2 Inladen van data binnen TwinCat 3	55
6 Kosten-batenanalyse	59
7 Implementatie	63
7.1 Voorbeeldopstelling van een samenwerking tussen 3 torens	63
8 Besluit	67
Literatuurlijst	69
Bijlagen	73
Bijlage A: Schetsen van de eerste ideeën	74
Bijlage B: Prijsofferten lineaire modules	76
Bijlage C: 2D-tekeningen mechanisch ontwerp	80
Bijlage D: Berekening koppel voor aandrijving lineaire modules	87
Bijlage E: Prijsofferten componenten Beckhoff	89
Bijlage F: Datasheets componenten Beckhoff	92

Lijst van tabellen

Tabel 1: Bepalen eindscores geleiding en aandrijving	24
Tabel 2: Beslissingstabel voor samenbouw van een lineaire module	25
Tabel 3: Gewicht universele toren.....	50
Tabel 4: Totale kostprijs universele toren.....	60
Tabel 5: Totale kost voor een extra universele toren	60
Tabel 6: Kostprijs tien universele torens	61
Tabel 7: Gegevens module slag 210 mm.....	87

Lijst van figuren

Figuur 1: Voorbeeld van een lasmal	13
Figuur 2: Toren voor rechte buis (links) en demper (rechts).....	14
Figuur 3: Werkbereik van de verschillende bewegingen	18
Figuur 4: Specificaties inbouwgruote	18
Figuur 5: Verduidelijking van de gekozen configuratie.....	19
Figuur 6: Toren met YXZ-configuratie (links) Toren met XYZ-configuratie (rechts).....	20
Figuur 7: Situatieschets van de maximale hoogte van de YXZ-tafel.....	21
Figuur 8: Gekozen lineaire module, Hiwin KK-serie	26
Figuur 9: Opbouw van een stappenmotor	27
Figuur 10: Opbouw van een servomotor.....	28
Figuur 11: Koppel- toerentalkarakteristiek van servo- en stappenmotor	28
Figuur 12: Enkele typen van servomotoren van Beckhoff.....	29
Figuur 13: Specificaties KK60 (Standard)	32
Figuur 14: Vereenvoudigde weergave situatie	32
Figuur 15: Vrij-lichaamsschema.....	33
Figuur 16: Verbindingselement, verbinden van de gehele toren met balk	35
Figuur 17: Verbindingselement, verbinden van de modules voor beweging in X- en Y-richting.....	35
Figuur 18: Voet (1), rug (2) en verstevingen (3)	36
Figuur 19: Verbindingselement, verbinden van de modules voor beweging in X- en Z-richting	36
Figuur 20: Verbindingselement, verbinden van tool met module voor beweging in Z-richting	37
Figuur 21: 3D-voorstelling van de samengebouwde lineaire modules	37
Figuur 22: Vooraanzicht ondersteunen van een uitlaatbuis.....	39
Figuur 23: Bovenaanzicht ondersteunen van een uitlaatbuis	39
Figuur 24: Tool voor een volledige vergrendeling	40
Figuur 25: Tools voor een vergrendeling in de Y- en Z-richting	40
Figuur 26: Tools voor een vergrendeling in de Z-richting	41
Figuur 27: Bevestigingselementen voor de klem	41
Figuur 28: PLE60	43
Figuur 29: WPLE60.....	43
Figuur 30: AM8111	43
Figuur 31: CX9020-0115 (CPU-module) en EL7211-0010 (ingangskaat).....	44
Figuur 32: Interface voor aansturing X-as	45
Figuur 33: Main met de verschillende subprogramma's.....	45
Figuur 34: Global Variable List.....	46
Figuur 35: functieblok MC_Power	46
Figuur 36: functieblok MC_MoveAbsolute	46
Figuur 37: Set/reset van start- en stoplampje	47
Figuur 38: MC_Halt en MC_Stop	47
Figuur 39: MC_Reset.....	48
Figuur 40: Begrenzing van inbouwgruote.....	48
Figuur 41: Verbindingsflens tussen de reductor en de lineaire geleiding	49
Figuur 42: Klauwkoppeling 6 - 10 mm.....	49
Figuur 43: Samenbouw aandrijving.....	49
Figuur 44: De universele toren	50
Figuur 45: Aanmaken analysis feature.....	51
Figuur 46: Aanmaken parameters en verzamelen van data.....	52
Figuur 47: Aanmaken van een tabel	53
Figuur 48: Ingeven van de parameters	53
Figuur 49: Weergeven van de parameters.....	53
Figuur 50: Exporteren data van één toren	53
Figuur 51: Exporteren data van meerdere torens tezamen	54

Figuur 52: Uitvoeren conversieprogramma.....	54
Figuur 53: Functieblok “File open”	55
Figuur 54: Functieblok “File gets”	55
Figuur 55: Functieblok “File close”.....	56
Figuur 56: Functieblokken “File open”, “File gets” en “File close”	56
Figuur 57: Variabele voor wegschrijven van rijen tekst	56
Figuur 58: Uitlezen coördinaten	56
Figuur 59: Nieuw formaat tekstbestand en code	57
Figuur 60: Interface voor aansturing X-, Y- en Z-as	57
Figuur 61: Overzicht kosten huidige toren.....	59
Figuur 62: Overzicht kosten universele toren.....	59
Figuur 63: balk en onderdeel uit de voorbeeldopstelling	63
Figuur 64: de torens (in volgorde 1,2 en 3) met de nodige tools	64
Figuur 65: nodige punten voor onderdeel en tool.....	64
Figuur 66: gehele lasopstelling	64
Figuur 67: interface voor de aansturing van meerdere torens	65
Figuur 68: Situatieschets	87
Figuur 69: Snelheidsprofiel van de kogelomloopspindel.....	87

Abstract

Bosal Emission Control Systems gelegen te Lummen is een ontwikkelingsafdeling voor uitlaatsystemen. De huidige lasmallen om zo'n uitlaatsysteem in op te spannen zijn statisch en uniek per uitlaat. Daarom wil Bosal graag een lasmal opbouwen die bestaat uit meerdere universele ondersteuning. Deze ondersteuning, torens genaamd, moeten op basis van coördinaten die uit een CAD-model komen, worden aangestuurd om dan automatisch daarheen te bewegen. Deze masterproef heeft tot doel om theoretisch een *proof of concept* uit te werken rond zo'n automatische universele toren.

Om dit te realiseren moeten eerst de huidige lasmallen geanalyseerd worden om de problemen in kaart te brengen. Daarna volgt een marktstudie om tot een geschikte oplossing te komen. Vervolgens wordt via Creo Parametric, een 3D-tekenpakket, een mechanisch ontwerp van de universele toren gemaakt. De aansturing voor de aandrijvingen van deze toren op basis van de coördinaten uit het CAD-model van de toren, wordt uitgewerkt met een PC-sturing van Beckhoff en bijbehorende software TwinCat 3.

Uit de marktstudie bleek dat de samenbouw van drie lineaire modules tot één XYZ-opstelling, aangedreven door drie servomotoren, het beste concept is. Daarnaast kon een koppeling gerealiseerd worden tussen Creo Parametric en TwinCat 3 om de coördinaten uit te wisselen en via enkele muisklikken de modules in simulatie naar hun gewenste posities te bewegen. Deze *proof of concept* toont aan dat het ondersteunen van uitlaatsystemen met een universele toren zeker mogelijk is.

Abstract in English

Bosal Emission Control Systems located in Lummen is a R&D department for exhaust systems. The current welding jigs that disable the movement of the exhaust system are static and unique per exhaust. That is why Bosal wants to build a welding jig that consists of several support systems. These support systems, known as towers, must be controlled based on coordinates coming from a CAD file and then need to move to these coordinates automatically. The purpose of this master's thesis is to develop a theoretical *Proof of concept* of such an automatic universal tower.

To achieve this, the current welding jigs must first be analysed to master the problems. After that, a market study is conducted to reach a suitable solution. Then, with Creo Parametric a 3D drawing package, a mechanical design is made of the universal tower. The control of the drives of this tower is worked out with a PC control from Beckhoff and the software TwinCat 3, so that the coordinates can be sent from the CAD model of the tower to the drives.

The market study showed that the assembly of three linear guides into one XYZ setup, powered by three servo motors, is the best concept. In addition, a link was realised between Creo Parametric and TwinCat 3 to exchange the coordinates and simulate the moving of the linear guides to their desired positions with a few mouse clicks. This *Proof of concept* shows that supporting the exhaust system with a universal tower, is certainly possible.

1 Inleiding

1.1 Situering

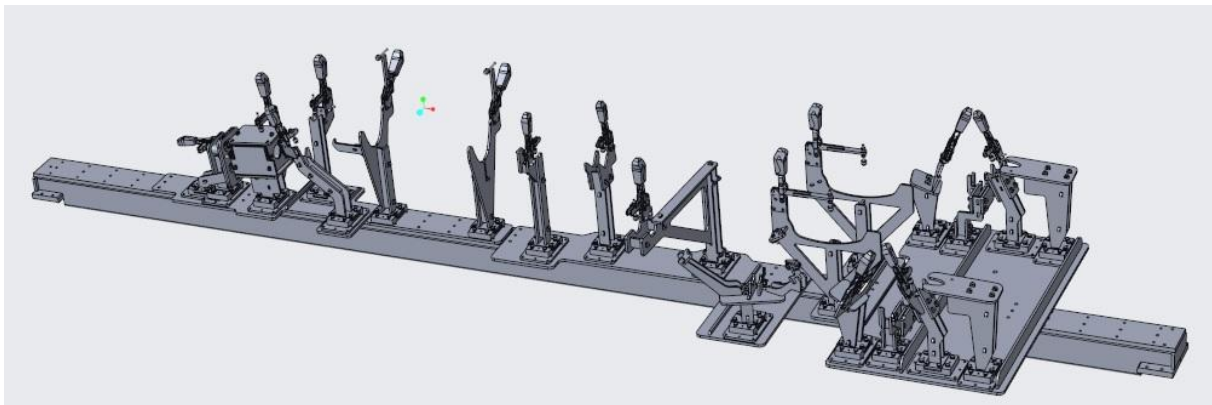
Deze masterproef werd uitgevoerd bij het bedrijf Bosal International NV, gelegen in Lummen. Bosal ontwerpt en produceert geavanceerde systemen voor emissiecontrole (uitlaatsystemen), sleep en vervoer (trekhaken, fietsdragers), dragers voor autodaken, hefbomen, toolkits, enz. Bosal is marktleider in de automobielindustrie op vlak van OEM (Original Equipment Market) en de aftermarket. Wereldwijd stelt Bosal 4700 werknemers te werk verspreid over zes R&D vestigingen, 29 productievestigingen en 18 distributiecentra.

Op de site in Lummen bevindt zich naast het hoofdkwartier van Bosal ook de afdeling die gespecialiseerd is in Emission Control Systems (ECS). Deze afdeling is een onderzoeks- en ontwikkelingsafdeling voor uitlaatsystemen van personenwagens en commerciële voertuigen. Dit is ook meteen het domein waarbinnen onze masterproef zich situeert [1].

1.2 Probleemstelling

In nauwe samenwerking met verschillende autoconstructeurs maakt de afdeling ECS prototypes van uitlaatsystemen voor de automobielindustrie. Deze prototypes worden gemaakt op basis van CAD-modellen die door Bosal ontwikkeld zijn.

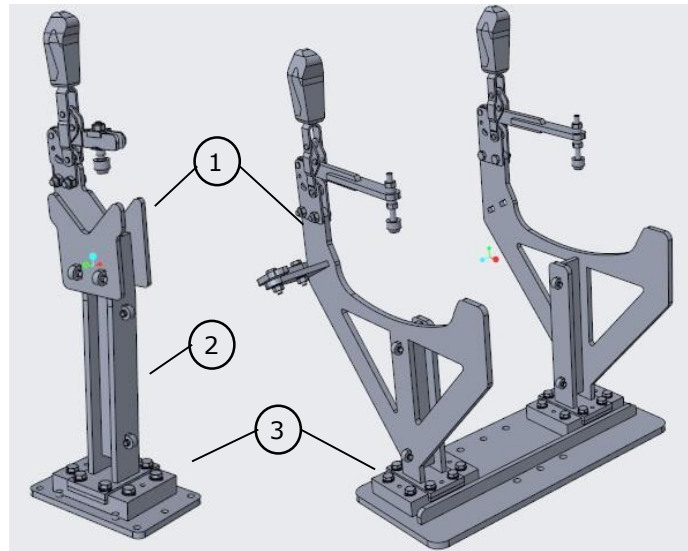
Een uitlaatsysteem bestaat vaak uit dezelfde componenten, maar de configuratie waarin het uitlaatsysteem wordt opgebouwd verschilt van automerk tot automerk en per model van auto. Om een prototype van een uitlaatsysteem te produceren worden de verschillende componenten aan elkaar gelast. De onderdelen worden in een zogenaamde *welding jig* of lasmal ingeklemd. Figuur 1 geeft weer hoe een lasmal eruit kan zien.



Figuur 1: Voorbeeld van een lasmal

Deze lasmal heeft als doel om de verschillende onderdelen geometrisch correct in te klemmen, alsook het tegen gaan van eventuele vervormingen en verplaatsingen om zo reproduceerbare producten te maken.

Momenteel wordt per motorvariant een nieuwe lasmal ontwikkeld en opgebouwd. De lasmal bestaat uit een balkprofiel waarop de zogenaamde *towers* bevestigd worden. Deze torens zijn de elementen die zorgen voor een optimale inklemming en ondersteuning van het uitlaatsysteem. Per component van het uitlaatsysteem is er een speciaal gedimensioneerde toren voorzien. Figuur 2 op volgende pagina geeft een verduidelijking weer van hoe torens eruit kunnen zien.



Figuur 2: Toren voor rechte buis (links) en demper (rechts)

Een specifieke toren, zoals weergegeven in Figuur 2, bestaat uit verschillende onderdelen namelijk: de tool (1), het tussenstuk (2) en de voet (3). De toren zorgt ervoor dat de vrijheidsgraden, die elke component heeft, correct worden weggenomen. Hierbij heeft ieder onderdeel van het uitlaatsysteem afzonderlijk zes *degrees of freedom* (DOF). Deze vrijheidsgraden bestaan uit drie translaties in de X-, Y- en Z-richting en drie rotaties rond de X-, Y-, Z-as. De bevestiging met de balk gebeurt via boutverbindingen.

Het probleem van deze lasmallen is dat de torens, vanwege hun specifiek en statisch ontwerp, niet hergebruikt kunnen worden voor andere uitlaatsystemen. Daarom is Bosal op zoek naar een universele oplossing waarbij met een druk op de knop vanuit het CAD-model van het uitlaatsysteem coördinaten voor de ondersteuningspunten gegenereerd worden. Hierdoor kunnen de torens automatisch naar deze punten worden gestuurd. Dit kan verwezenlijkt worden met behulp van positiemeetsystemen (encoders, resolvers, sensoren) en bijbehorende mechanismen om een rechte lijnige beweging te verkrijgen (lineaire modules, lineaire motoren).

Een verbetering van de huidige lasmal zorgt ervoor dat Bosal de ontwikkelingstijd van zes à acht weken tot enkele minuten kan reduceren. Ook de totale kost van een afgewerkte lasmal kan door de nieuwe lasmal voor een fikse reductie zorgen. Er moet namelijk maar één keer een toren gebouwd worden die daarna vele keren hergebruikt kan worden [2]. Verderop in de thesis wordt de kostprijsreductie verduidelijkt aan de hand van een kosten-batenanalyse

1.3 Doelstellingen

De hoofddoelstelling van deze masterproef is het uitwerken van een *proof of concept* rond één universele toren en zijn bijbehorende tools. Hiermee zou dan in een later stadium een volledig automatisch aanpasbare lasmal opgebouwd kunnen worden. Het uitwerken van deze universele toren wordt onderverdeeld in verschillende deeldoelstellingen.

In eerste instantie worden de huidige lasmallen bestudeerd en wordt de lasmalproblematiek eigen gemaakt. Zo wordt een beter inzicht verworven in hoe uitlaatsystemen worden ondersteund en waarom ze op deze specifieke plaatsen worden ondersteund.

Eenmaal dit volledig duidelijk is, kan worden overgegaan tot het bedenken en uitwerken van mogelijke oplossingen voor een universele toren. De bedoeling is dat het ondersteuningspunt van de toren automatisch naar een voorop gedefinieerde positie beweegt. Hoe dit moet gebeuren hangt af van het ontwerp dat uitgedacht wordt voor de *proof of concept*. Hierbij moet natuurlijk wel rekening gehouden worden met de ontwerpsspecificaties opgegeven door Bosal.

Daarnaast moeten ook verschillende tools ontworpen worden die naargelang de manier van ondersteunen op de universele toren geplaatst worden. Voor een eerste *proof of concept* moeten hiervoor enkel de tools voor het ondersteunen en vergrendelen van een buisprofiel worden uitgewerkt.

Eenmaal er een oplossing gevonden is, moet van de volledige universele toren een 3D-ontwerp worden gerealiseerd. Ook op elektrisch vlak moet de toren volledig ontworpen worden. Deze twee ontwerpen hebben tot doel na te gaan of het idee van een automatische aanpasbare lasmal met universele torens gerealiseerd kan worden binnen de opgegeven randvoorwaarden.

1.4 Methode

Om tot een universele oplossing te komen waarbij automatisch vanuit het CAD-model de ondersteuningspunten voor het uitlaatsysteem correct gepositioneerd worden, wordt er gestart met de studie rond de lasmal zelf. Hiervoor worden er samen met de interne begeleider enkele lasmallen overlopen en geanalyseerd. Daarnaast is het verdiepen in de nodige ondersteuningspunten en hun zes DOF op basis van CAD-modellen nodig. Dit gebeurt aan de hand van enkele uitlaatsystemen die Bosal ons ter beschikking stelt.

Vervolgens moet er een correct positiemeetsysteem en bijbehorend mechanisme geselecteerd worden. Hiervoor worden verschillende systemen zoals lineaire technieken, handlingsystemen en elektromechanische aandrijvingen bekeken en hun voor- en nadelen ten opzichte van elkaar afgewogen. Ook moet er op dit moment al rekening gehouden worden met prijzen van bepaalde componenten en systemen. Het is dus van groot belang dat er goed geïnformeerd wordt bij fabrikanten en er prijsoffertes worden opgevraagd.

In tussentijd wordt er ook al gestart met de mechanische uitwerking van het ontwerp in het 3D-tekenprogramma Creo Parametric. Welk programma voor het elektrische aspect van de universele toren gebruikt zal worden, zal blijken uit de marktstudie.

Aangezien een praktische opbouw niet mogelijk is zal via Creo Parametric en aan de hand van simulaties gekeken worden of alle vooropgestelde specificaties en doelstellingen van de universele toren gehaald worden. Hetzelfde wordt gedaan voor een lasmal die is opgebouwd met meerdere universele torens.

1.5 Vooruitblik

In het verdere verloop van deze thesis wordt eerst in de voorstudie het eisenpakket aangehaald om hieruit het concept te laten voortvloeien. Hierna wordt er aan de hand van een marktstudie gezocht naar geschikte componenten voor de uitwerking van het concept. In hoofdstuk vier worden deze resultaten verder verwerkt in een mechanisch en elektrisch ontwerp. Vervolgens wordt in hoofdstuk vijf de totstandkoming van de communicatie tussen de PLC-software en het CAD-programma besproken, waarna in hoofdstuk zes een kosten-batenanalyse van het uiteindelijke ontwerp weergegeven wordt. Het laatste hoofdstuk geeft de universele toren weer in een praktische opstelling van een lasmal zodat de werking van deze *proof of concept* aangetoond wordt.

2 Voorstudie

In dit deel van de thesis wordt beschreven hoe er inzicht verkregen werd rond het gebruik van de lasmallen en worden nog eens kort de doelstellingen aangehaald. Vervolgens worden de eerste ideeën voor een concept van een universele toren verduidelijkt en de specificaties waaraan deze toren en de opbouw van de lasmal moeten voldoen, uitgeschreven. Tot slot wordt er aan de hand van deze specificaties een concreet concept uitgewerkt.

2.1 Bestuderen van het huidig ontwerp van de lasmallen

Voor er wordt overgegaan tot het zoeken naar oplossingen moest er eerst kennis worden opgedaan rond de door Bosal gebruikte lasmallen. Dit houdt in dat er inzicht verworven wordt in hoe de verschillende torens de onderdelen waaruit een uitlaatsysteem bestaat ondersteunen en vergrendelen en waarom ze daar worden ondersteund en vergrendeld. Dit gebeurde door het analyseren van CAD-modellen van de lasmallen en uitgebreide gesprekken met de interne promotor. Zo werd een goede basis gevormd omtrent het huidige ontwerp.

2.2 Herhaling doelstellingen

Zoals eerder in de inleiding vermeld werd, worden bij Bosal Emission Control Systems (ECS) prototypen van uitlaatsystemen geproduceerd. De verschillende componenten worden gepositioneerd in een lasmal waarna deze onderdelen tot een uitlaatsysteem aan elkaar worden gelast. Deze mal zorgt ervoor dat het uitlaatsysteem correct wordt geklemd zodat de geometrie behouden blijft tijdens het lasproces. Doordat Bosal nu per motorvariant een nieuwe lasmal nodig heeft, wil men deze lasmallen automatiseren. Het automatiseren houdt in dat elke toren, die een welbepaald punt van het uitlaatsysteem ondersteunt, over een afstand in zowel de X-, Y- als Z-richting moet bewegen.

Er wordt dus gezocht naar een oplossing die deze verplaatsingen kan realiseren zodat er een universele toren ontstaat. De uiteindelijke lasmal zal dan bestaan uit een aantal universele torens die deze verplaatsingen, afhankelijk van de motorvariant, kunnen opvangen.

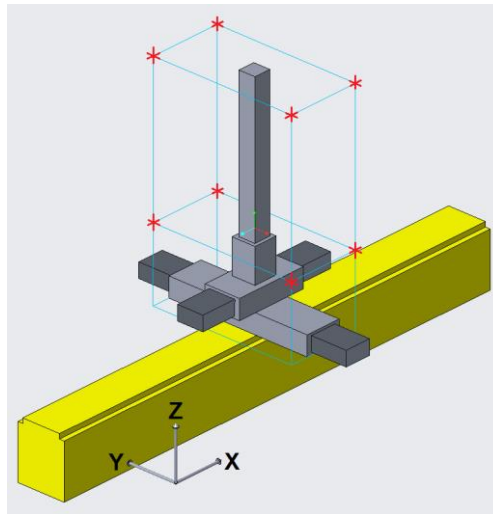
2.3 Gevonden oplossingen

Tijdens eerdere brainstormsessies over de automatisatie van de lasmal werden er al heel wat mogelijke oplossingen gevonden. Zo bestond een van de oplossingen uit een carrousel die een reeks torens bevatte en waarbij de torens dan door een robotarm op de juiste positie op de balk gezet konden worden. Een andere oplossing was dat er gebruik gemaakt werd van een grote tafel waarop torens met een magnetische voet op hun gewenste posities geplaatst konden worden. Schetsen van deze ideeën zijn in bijlage A terug te vinden. Al snel werd op het probleem van compactheid van deze oplossingen gestoten en na overleg met de interne promotor werd het steeds duidelijker dat er in de richting van lineaire modules gekeken moest worden.

Voordat er met het idee van de lineaire oplossingen werd verder gegaan, werd eerst in samenspraak met de promotor een lijst met specificaties waar het uiteindelijke ontwerp aan moet voldoen opgesteld.

2.4 Ontwerpspecificaties

De eerste specificatie is de bewegingsruimte van het ondersteuningspunt van de toren. Dit punt is aangeduid in Figuur 3 met een rood kruis. De verplaatsing van punt tot punt bedraagt in de X-richting +/- 75 mm en in de Y- en Z-richting +/- 150 mm.

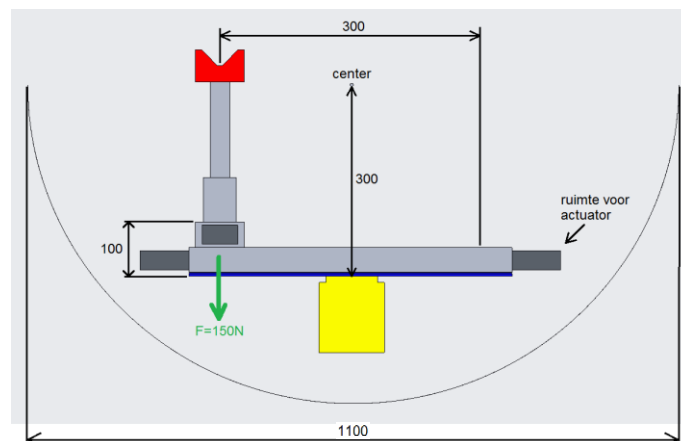


Figuur 3: Werkbereik van de verschillende bewegingen

Naast deze verplaatsing/slaglengte moet er ook aandacht geschonken worden aan het feit dat als de torens op de balk geplaatst worden, twee of meer torens mogelijk zeer dicht in elkaars buurt komen te staan. Botsingen moeten hierbij vermeden worden maar nog steeds moet een ondersteuning met een minimum afstand van twintig millimeter tussen twee opnamepunten in de ruimte mogelijk blijven.

De inbouwmaat van de universele toren beperkt zich tot een cirkel met het middelpunt gelegen op een afstand van 300 mm ten opzichte van de bovenkant van de balk en een straal van 550 mm. Dit komt doordat de balk, met de torens, in een lascel wordt geplaatst en er natuurlijk geen interferenties mogen ontstaan tussen het frame van de lasrobot en de lasmal. In Figuur 4 wordt dit met een schets verduidelijkt. Daarnaast moeten de kritische componenten, die gebruikt worden in de universele toren, beschermd worden tegen lasspatten afkomstig van het lasproces.

Een tweede specificatie is het gewicht van één universele toren. Dit gewicht moet beperkt blijven tot achttien kilogram aangezien één werknemer de lasmal handmatig moet opbouwen en zijn werk nog steeds ergonomisch uitvoerbaar moet blijven. Om de toren eenvoudig op de balk van de lasmal te bevestigen wordt er gebruik gemaakt van een vast gatenpatroon dat tijdens deze masterproef mee ontwikkeld wordt. De bevestiging gebeurt met twee pennen en minimaal twee, maximaal vier bouten. Daarnaast moeten de bouten van een hexagonaal type zijn.



Figuur 4: Specificaties inbouwmaat

Aangezien een uitlaatsysteem gebouwd wordt met toleranties van plusminus drie millimeter moet er gezorgd worden dat de eindoplossing voor de universele toren een nauwkeurigheid heeft die maximaal tien procent bedraagt van deze tolerantie. Voor de herhaalnauwkeurigheid van de bewegingen wordt een tolerantie geëist van 0,1 mm.

Naast de nauwkeurigheid is ook de stijfheid belangrijk aangezien we niet willen dat ten gevolge van de belasting de toren kromtrekt. Een doorbuiging van 0,30 mm wordt toegelaten.

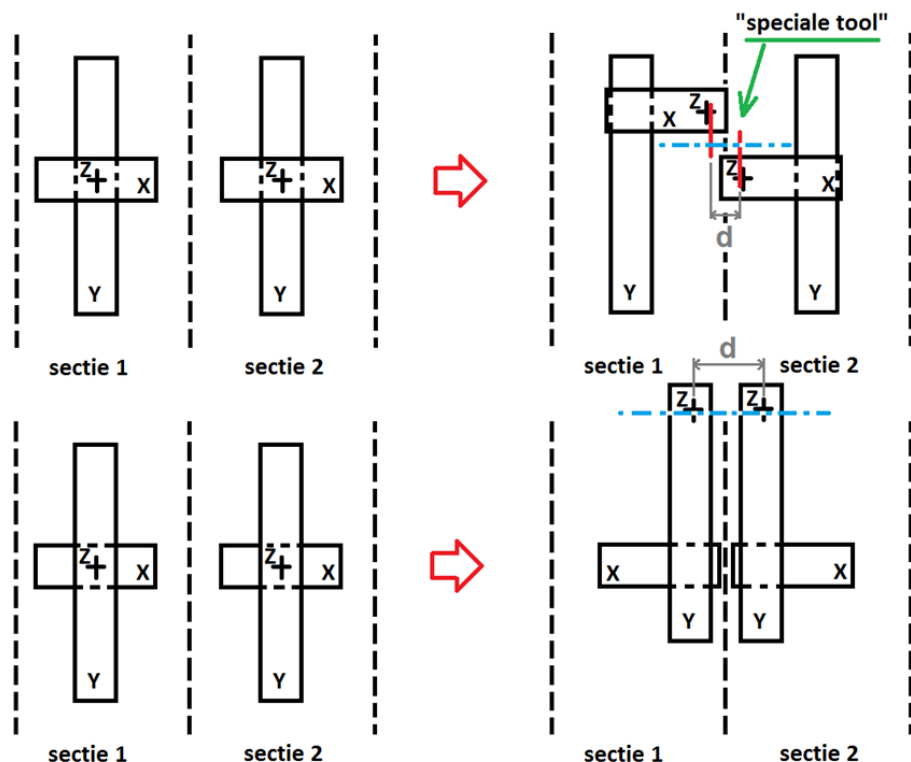
De laatste specificatie voor de universele toren is de uiteindelijke kostprijs. Deze mag liefst niet hoger zijn dan achtduizend euro.

2.5 Concept van een universele toren

Zoals reeds werd vermeld, zal nu verder gekeken worden of de implementatie van lineaire modules in een universele toren haalbaar zijn. Het concept waarvan vertrokken wordt is één module per bewegings-as zodat een XYZ-tafel verkregen wordt.

Om het concept al zo goed mogelijk af te stemmen op de specificaties wordt meteen onderzocht of een ondersteuning gerealiseerd met twee opnamepunten op een minimum afstand van twintig millimeter haalbaar is. De configuratie van de X- en Y-as spelen daarbij een grote rol. Zo heeft het eerst plaatsen van de Y-as op de balk meerdere voordelen ten opzichte van het eerst plaatsen van de X-as. Er wordt dus gekozen voor een YXZ-opstelling in plaats van een XYZ-opstelling. Deze keuze wordt in onderstaande alinea's verder toegelicht en verduidelijkt.

De opname van een punt in de ruimte zal eenvoudiger zijn en op de stijfheid van de constructie zal deze configuratie ook een effect hebben. Deze twee kenmerken worden verder beschreven en verduidelijkt aan de hand van Figuur 5.



Figuur 5: Verduidelijking van de gekozen configuratie

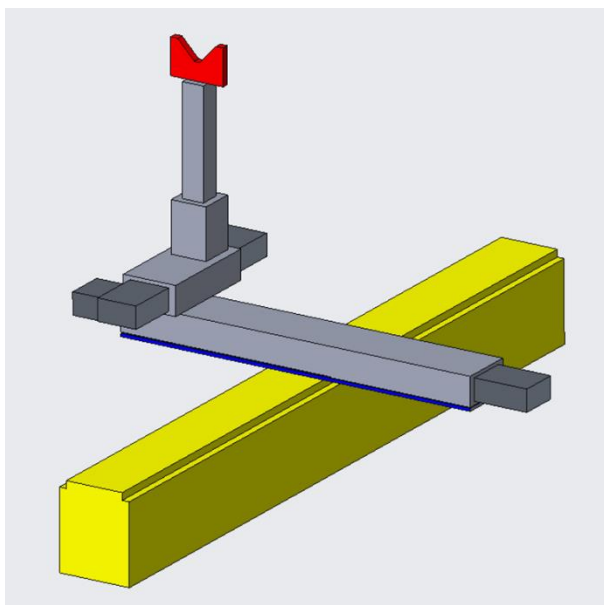
Linksboven in bovenstaande schets is de Y-beweging als eerste op de balk geplaatst. Dit geeft een voordeel voor de opname van een punt in de ruimte. Maar hoe komt dat nu juist?

Daarvoor moeten we naar de tekening rechts van de rode pijl kijken. Hierop staan twee identieke torens afgebeeld met elk een speciaal ontworpen tool. Deze tool zorgt voor een verplaatsing van het nulpunt van de toren. Stel dat er nu op een zeer kleine afstand twee ondersteuningpunten voor een welbepaalde component nodig zijn (blauwe stippenlijn is de centerlijn van het op te nemen onderdeel) dan zal met de YXZ-configuratie een kleinere tussenafstand tussen de ondersteuningpunten in de ruimte behaald kunnen worden. Dit is afstand "d" die op de schets weergegeven is en minimum twintig millimeter moet bedragen.

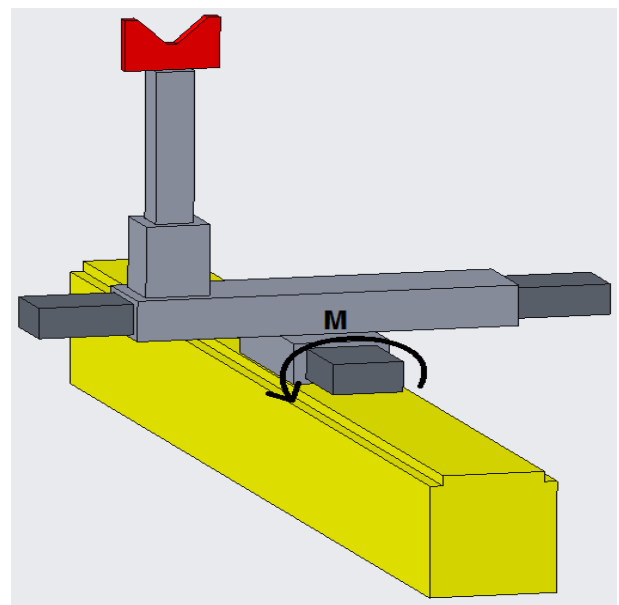
Waarom wordt er nu niet voor een XYZ-configuratie gekozen? Deze configuratie staat linksonder in Figuur 5 afgebeeld. Als nu een component ondersteund wordt (blauwe stippenlijn) dan zal de afstand tussen de nulpunten van de torens groter zijn. Dit komt mede door het feit dat er op voorhand niet geweten is hoeveel ruimte erover zal blijven tussen de Y-tafels na het plaatsen van de aandrijvingen. Op voorhand kan er dus niet bepaald worden of de opnamepunten van beide tafels kunnen samenwerken om zo één ondersteuningpunt te creëren. Met andere woorden, de afstand "d" is in de YXZ-configuratie zonder probleem op voorhand te definiëren terwijl dit bij de XYZ-configuratie quasi onmogelijk is.

Naast het voordeel van een kleinere afstand "d" en dus het kunnen bereiken van meer ondersteuningpunten op korte afstand, is ook de stijfheid van een YXZ-configuratie beter. Het is namelijk zo dat bij het eerst plaatsen van de Y-richting deze tafel over de hele lengte extra kan worden ondersteund om eventuele doorbuiging, bij het bewegen van de toren in de Y-richting, tegen te gaan. Dit is op Figuur 6 weergegeven met een blauwe lijn. Bij het eerst plaatsen van de X-richting zal dit niet zo evident zijn aangezien bij het uitwijken van de toren in de Y-richting dit een momentbelasting rond de X-as veroorzaakt die volledig door de tafel en geleidingen van de X-richting opgevangen moet worden. Hierbij heeft een extra ondersteuning in de X-richting, in de vorm van een onderplaat, dus ook geen meerwaarde.

In Figuur 6 zijn deze verschillen tussen de twee opstellingen verduidelijkt.



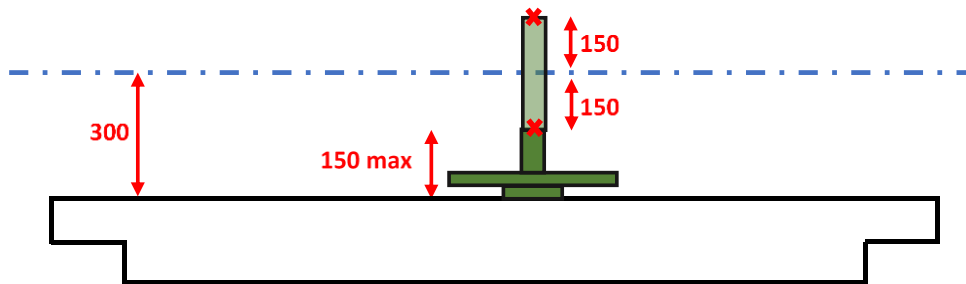
Figuur 6: Toren met YXZ-configuratie (links)



Toren met XYZ-configuratie (rechts)

Nu de X- en Y-bewegingen vastliggen kan er verder worden gegaan met de Z-beweging. Aangezien er in de opgegeven specificaties beschreven staat dat er aan bepaalde inbouwgrootten moet voldaan worden, zal er net zoals voor X en Y ook voor Z een compacte oplossing gevonden moeten worden. We zullen namelijk maar een totale hoogte verkrijgen van 150 mm waarbinnen de volledige YXZ-tafel moet passen.

Deze waarden bekomen we door volgende redenering. In de hoogte is er een strikt bereik van 450 mm en aangezien de centerlijn waarrond de lasmal in de robot zal bewegen op 300 mm van de balk ligt en daarbij het opnamepunt in de positieve en negatieve Z-richting over 150 mm verplaatsbaar moet zijn, is er nog 150 mm in hoogte over waarbinnen de afmetingen van de YXZ-tafel moet liggen. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van Figuur 7 op volgende pagina.



Figuur 7: Situatieschets van de maximale hoogte van de YXZ-tafel

Er kan dus geconcludeerd worden dat voor zowel de bereikbaarheid van het toolcenterpunt, de stijfheid en de compactheid van de constructie het verstandig is om te kiezen voor een toren met een YXZ-configuratie.

3 Marktstudie

In dit hoofdstuk wordt er aan de reeds gekende oplossing vormgegeven. Er wordt gekeken naar wat er op de markt voorhanden is van bruikbare componenten en dewelke hiervan het beste beantwoorden aan de door Bosal opgegeven ontwerpspecificaties. Aan het einde van dit hoofdstuk zal duidelijk zijn welke componenten en fabrikanten op zowel mechanisch als elektrisch vlak gekozen werden.

3.1 Lineaire componenten

Zoals reeds besproken in de voorgaande sectie zal er gebruik worden gemaakt van YXZ-tafels voor de opbouw van een automatische lasmal. Hierbij wordt zo'n tafel opgebouwd uit drie lineaire modules. Aangezien het aanbod omtrent lineaire componenten aanzienlijk groot is, werd er beslist om met een keuzetabel te werken. Deze werd opgesteld met behulp van de opgegeven specificaties en hetgeen over de opbouw van een lineaire module te vinden is. Op deze manier wordt objectief beslist welke geleiding en aandrijving voor de drie lineaire modules geselecteerd wordt.

Voor het opstellen van de keuzetabel voor de modules werd in eerste instantie gekeken naar alle mogelijke componenten waaruit een lineaire module kan worden opgebouwd. Alle componenten kregen eerst een score toegekend van één tot en met vijf naargelang het bereik waarbinnen ze in de rechtse beslissingstabel vielen (afgebeeld in Tabel 1). De volgende stap was het vermenigvuldigen van deze scores met een wegingsfactor van één tot en met vier. Zo kon de mate van belangrijkheid tussen de nauwkeurigheid, stijfheid, kostprijs, ... onderling ook meegenomen worden in de uiteindelijke score voor het type geleiding. Voor de keuzetabel van de aandrijvingen werd juist dezelfde methode gehanteerd. Het resultaat is weergegeven in Tabel 1 [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Tabel 1: Bepalen eindscores geleiding en aandrijving

Geleidingszet	Rail				As							
	wegingsfactor 1 - 4	Loopwiel	Kogelomloop	Glijdend	Kogelomloop	Glijdend	As	1	2	3	4	5
Nauwkeurigheid	2	3	4,5	4	5	5	015	zeer slecht	slecht	voldoende	goed	zeer goed
Stijfheid	3	2	4	3	3	3		0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	< 0,02
Statische belasting	3	3	5	5	4	3		0,8-0,4	0,4-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	< 0,05
Snelheden	1	4	3,5	2	4,5	3		< 5	5-10	10-15	15-20	> 20
Inbouw grootte	4	4	4	5	3	5		< 0,2	0,2-0,5	0,5-2	> 2	> 2
Duurzaamheid	2	2	5	2	5	2		> 500	450-500	450-300	450-300	< 300(y/z) en < 150(x)
Onderhoudsvriendelijkheid	2	2	4	4	5	3		1	2	3	4	5
Kostprijs	4	5	4	5	4	5		> 3000	> 1500	> 900	> 750	< 750
Per as												
Geleiding + Aandrijving												
TOTAAL:												
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 69 89,5 86 83,5 81 </div>												

Aandrijvingen	Rail				As					
	wegingsfactor 1 - 4	Lineaire motor	Kogelomloopspindel	Tandriem	Tandlat	1	2	3	4	5
Nauwkeurigheid	2	4,5	4,5	3	2,5	zeer slecht	slecht	voldoende	goed	zeer goed
Repeteer nauwkeurigheid	3	4,5	5	3	2,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	< 0,02
Onderhoudsvriendelijkheid	1	5	4	4	4	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	< 0,02
Inbouw grootte / compactheid	4	3	4	3	2	1	2	3	4	5
Snelheden	1	5	3,5	4	5	> 500	450-500	450-300	450-300	< 300(y/z) en < 150(x)
Kostprijs	4	1	3	5	4,5	> 1200	> 800	> 500	> 200	< 200
Per as										
TOTAAL:										
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 48,5 59,5 55 47,5 </div>										

wegingsfactor 1 - 4
1
2
3
4

Tabel 2: Bestellingstabel voor samenbouw van een lineaire module

Rail			As	
Loopwiel	Kogelomloop	Glijdend	Kogelomloop	Glijdend
69	89,5	86	83,5	81
Kogelomloopspindel	Tandriem	Tandlat		
59,5	55	47,5		

incl. afdekplaat lasspatten
excl. afdekplaat lasspatten

Lineaire bewegingen														
Rail						As								
Loopwiel		Kogelomloop		Glijdend		Kogelomloop		Glijdend		Kogelomloop				
Kogelomloopspindel	Tandriem	Tandlat	Kogelomloopspindel	Tandriem	Tandlat	Kogelomloopspindel	Tandriem	Tandlat	Kogelomloopspindel	Tandriem	Tandlat			
Vergelijkingswaarde / wegingsgetal:	128,5	124	116,5	149	137	145,5	141	135,5	143	138,5	131	140,5	136	128,5
Prijzen oplossingen: (excl. BTW)				€ 1.173,39										
				€ 1.271,99										
				€ 1.530,09										
				€ 1200 tot €1600										
				MSA belt drive										
				€ 400 tot € 1000										

Omdat een lineaire module kan bestaan uit een combinatie van verschillende geleidingen en aandrijvingen wordt nog een finale tabel opgesteld. Deze is weergegeven in bovenstaande tabel (zie Tabel 2). Hierbij is de vergelijkingswaarde/het wegingsgetal niets anders dan de som van één type geleiding en één type aandrijving. Dit toegepast voor alle vijftien keuzemogelijkheden geeft uiteindelijk de finale score. Zo is de score het grootste voor de samenbouw van een lineaire module bestaande uit een rail met daarop een kogelomloopwagentje dewelke wordt aangedreven door een kogelomloopspindel. Hieruit kan dus besloten worden dat deze lineaire module het meest geschikt is voor de YXZ-tafel.

Hierna werd er gezocht naar verschillende fabrikanten die de lineaire modules kon aanbieden. De prijzen van enkele van deze fabrikanten werden bekomen (zie bijlage B). Hieruit volgde dat de KK serie van Hiwin de beste keuze was. Figuur 8 toont een beeld van lineaire module. De specificaties en meer uitleg omtrent deze module worden beschreven in volgend hoofdstuk.

KK Series



Configure Series

The KK single axis robot combines both ballscrew and guideway to achieve better performance on accuracy, stiffness, rapid installation, and space saving. The optimized U-rail not only guides the movement of the slider being driven by the ballscrew, but also can be used as a structural component when assembled into a multi-axis motion system.

Features:

- »» Easy for system design, installation and maintenance
- »» Compact and lightweight
- »» High accuracy and high stiffness
- »» Well equipped with required accessories
- »» Design Optimization*

* high stiffness + lightweight structure

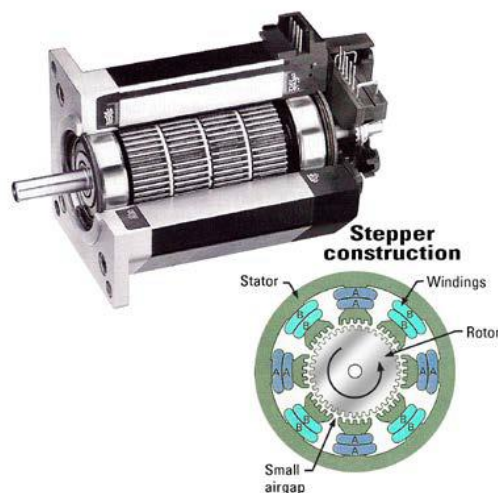
Figuur 8: Gekozen lineaire module, Hiwin KK-serie [11]

3.2 Elektrische aandrijvingen

Parallel met het zoeken naar de geschikte lineaire modules liep ook de zoektocht naar het vinden van een daarbij passende elektrische aandrijving voor de YXZ-tafel. Net zoals bij de lineaire modules waren ook hier verschillende keuzemogelijkheden, echter was het aanbod hiervoor redelijk beperkt. Hierdoor werd het gebruik van een keuzetabel overbodig. Er sprongen voor deze toepassing meteen twee soorten motoren in het oog. Dit zijn de servomotor en de stappenmotor. In onderstaande tekst zal een afweging/vergelijking tussen deze twee motoren worden gemaakt en vervolgens de keuze voor de motor die gebruikt zal worden.

3.2.1 De stappenmotor

Een stappenmotor is opgebouwd uit een rotor met een groot aantal permanente magneten en een stator met windingen (zie Figuur 9). Door stroom te sturen doorheen deze windingen zal een magnetische flux ontstaan die zal interfereren met het magnetische veld van de permanente magneten. Dit zorgt voor een kracht tussen stator en rotor die de motor laat draaien. Door nu de windingen in de juiste volgorde te bekrachtigen kan zo een verdraaiing van de rotor verkregen worden. Bestaat de rotor uit bijvoorbeeld 50 polen dan wordt een stapgrootte van $1,8^\circ$ verkregen en zijn er 200 pulsen of stappen, afkomstig van de sturing, nodig om één omwenteling ($= 360^\circ$) te verkrijgen. Dat is een voordeel aangezien er een rechtstreeks verband is tussen de gewenste positie en het aantal pulsen. Hierdoor kan de sturing als *open loop* uitgevoerd worden. Dit houdt in dat er geen positieterugkoppeling van de motoras nodig is wat op zijn beurt weer een reductie in kostprijs betekent [12], [13].



Figuur 9: Opbouw van een stappenmotor [13]

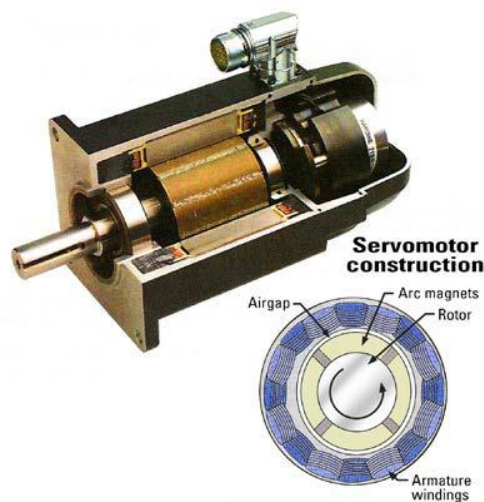
Een ander voordeel is het hoge koppel bij zeer lage snelheden. Dit is te zien in Figuur 11 op volgende pagina. Ook de compactheid en de grote beschikbaarheid aan producenten is zeker niet onbelangrijk.

Naast deze voordelen zijn er ook enkele nadelen. Zo neemt het koppel zeer snel af wanneer er met hogere snelheden gewerkt wordt. In Figuur 11 is dit te zien wanneer de groene curve wordt gevolgd. Een tweede nadeel dat kan voorkomen is het overslaan van stappen wat resulteert in een verlies van positie. Dit treedt op doordat er niet direct bij het ontvangen van pulsen door de motor koppel kan genereerd worden en nog vóór de motor bewogen heeft alweer nieuwe pulsen naar de stappenmotor worden gestuurd. Enkele van deze eerst gestuurde pulsen zullen dus overgeslagen worden en is de motor kwijt. Dit kan worden vermeden door gebruik te maken van een terugkoppeling op de motor maar ook door de belasting aan te passen aan de specificaties van de gekozen stappenmotor [12], [14].

3.2.2 De servomotor

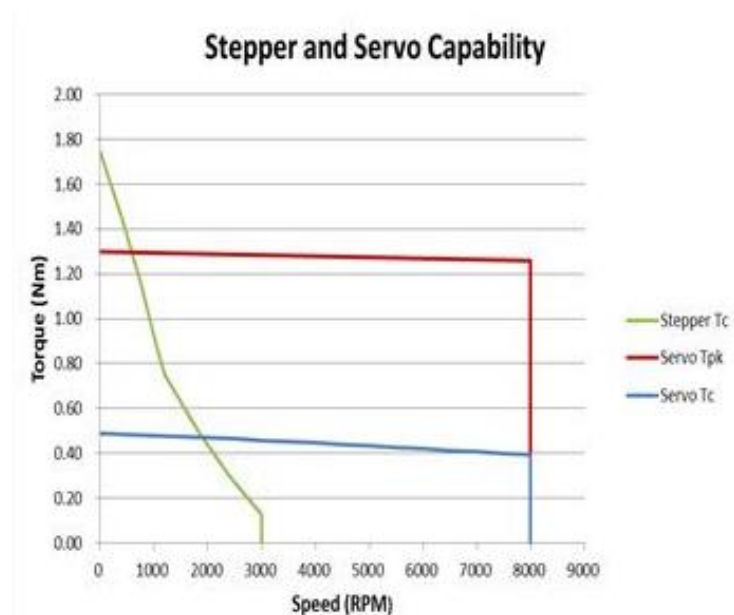
Een servomotor is net zoals een stappenmotor opgebouwd uit een rotor met permanente magneten en een stator met windingen (zie Figuur 10). Het grote verschil met een stappenmotor is dat het aantal polen varieert tussen vier en twaalf in plaats van 50. Door nu stroom te sturen richting de stator zal een magnetisch veld worden gevormd wat op zijn beurt inwerkt op de rotor en zo een koppel genereert [14].

De sturing van een servomotor is anders dan deze van een stappenmotor. Door het lagere aantal polen wordt er gebruik gemaakt van een *closed loop* regeling met behulp van een *resolver*. Deze regeling meet de actuele positie van de as en vergelijkt deze met de gewenste positie. Wanneer er een verschil is, wordt een bepaalde hoeveelheid stroom richting de stator gevoerd zodat de rotor naar zijn gewenste positie draait. Door deze regeling is een servomotor meer nauwkeuriger en preciezer dan de stappenmotor. Via de *closed loop* sturing kunnen namelijk geen stappen worden overgeslagen [12].



Figuur 10: Opbouw van een servomotor [13]

Als gekeken wordt naar wat het koppel van een servomotor doet bij verschillende snelheden dan zal de servomotor bij hoge toerentallen wel zijn koppel behouden. Dit wordt aangetoond in Figuur 11 met de blauwe en rode lijn. Ook is een meer gelijkmatiger verloop van het koppel over een groot toerentalbereik mogelijk [12].



Figuur 11: Koppel- toerentalkarakteristiek van servo- en stappenmotor [13]

Naast de vele voordelen heeft een servomotor ook enkele nadelen. Zo mag een *closed loop* regeling niet ontbreken op de motor omdat anders geen aansturing en positieregeling mogelijk is. Deze sturing zorgt voor een complexer mechanisch ontwerp wat leidt tot meer onderhoud van het systeem. Ook de kostprijs van deze regeling mag niet onderschat worden [14].

3.2.3 De keuze van aandrijving

Nu de verdieping in de mogelijke aandrijvingen afgerond was, kon er worden overgegaan tot het zoeken naar mogelijke producenten of verdelers van deze motoren en bijbehorende aanstuur-elektronica. Via internet werden vele kleine aanbieders bezocht maar ook grote fabrikanten zoals Siemens, SEW, Schneider Electric, Kollmorgen en Beckhoff. Al snel werd duidelijk dat de kleinere spelers die deze motoren verkochten, niet relevant waren. Zo bleek vaak dat de websites geen totaalpakket (motor + sturing) konden aanbieden, er geen of weinig ondersteuning was bij de keuze van bijvoorbeeld het benodigde vermogen, van motor en sturing, voor deze toepassing en er geen dienst of service na verkoop was.

Na ook ten rade te zijn gegaan bij een docent van de universiteit werd het meer en meer duidelijk dat de voorkeur ging naar de gevestigde waarden. Zij kunnen immers goede informatie, support, service en vervangonderdelen leveren. Dit is natuurlijk ook een groot voordeel voor Bosal aangezien zij dan met hardware en software werken waar snel info en hulp over gevonden kan worden bij mogelijke defecten in de toekomst.

Daarnaast kwam tijdens het gesprek met de docent de producent Beckhoff ter sprake aangezien de school juist hun practicalokalen hadden vernieuwd met materiaal afkomstig van Beckhoff. Van dit materiaal was de docent zeer tevreden. Daarbij was Beckhoff sinds oktober 2015 ingetrokken in een nieuwe vestiging gelegen aan het klaverblad in Lummen op enkele minuten verwijderd van Bosal [15]. Dit alles maakte van Beckhoff een interessante onderneming om informatie omtrent hun aandrijvingen op te vragen.

Al deze gevonden informatie werd daarna voorgelegd aan onze interne promotor waarna besloten werd dat Beckhoff de leverancier zou worden van de elektrische componenten. Op dit moment was er nog steeds enige onduidelijkheid of gekozen moest worden voor een stappenmotor of servomotor. Daarom werd een vertegenwoordiger van Beckhoff gecontacteerd. Tijdens een meeting werd via info die wij aanbrachten een simulatie uitgevoerd met behulp van software van Beckhoff om zo te kijken welke typen aandrijvingen geschikt waren voor onze toepassing. Via dit simulatieprogramma en bijbehorend advies werd besloten dat een servomotor voor onze toepassing de beste keuze was. Meer details omtrent deze beslissing van het type servomotor met de bijbehorende sturing worden in volgend hoofdstuk besproken.



AM80xx
Synchronous Servomotors
for applications with highest demands on dynamics and performance, single-cable solution for power and feedback



AM81xx
Synchronous Servomotors
suitable for operation on the EL7201-0010 OCT servo terminal.



AM85xx
Synchronous Servomotors
Increased rotor moment of inertia is ideal for applications with large loads and high synchronism requirements.

Figuur 12: Enkele typen van servomotoren van Beckhoff [16]

4 Ontwerp van een universele toren

Aangezien er voor de mechanische en elektrische componenten reeds enkele voorkeurstypes werden geselecteerd, kan er vervolgens worden overgegaan tot de correcte dimensionering van deze componenten. Dit zal in de eerste twee paragrafen van dit hoofdstuk uitvoerig worden besproken. In het derde deel van dit hoofdstuk wordt de uiteindelijke samenbouw van een universele toren weergegeven.

4.1 Mechanisch ontwerp

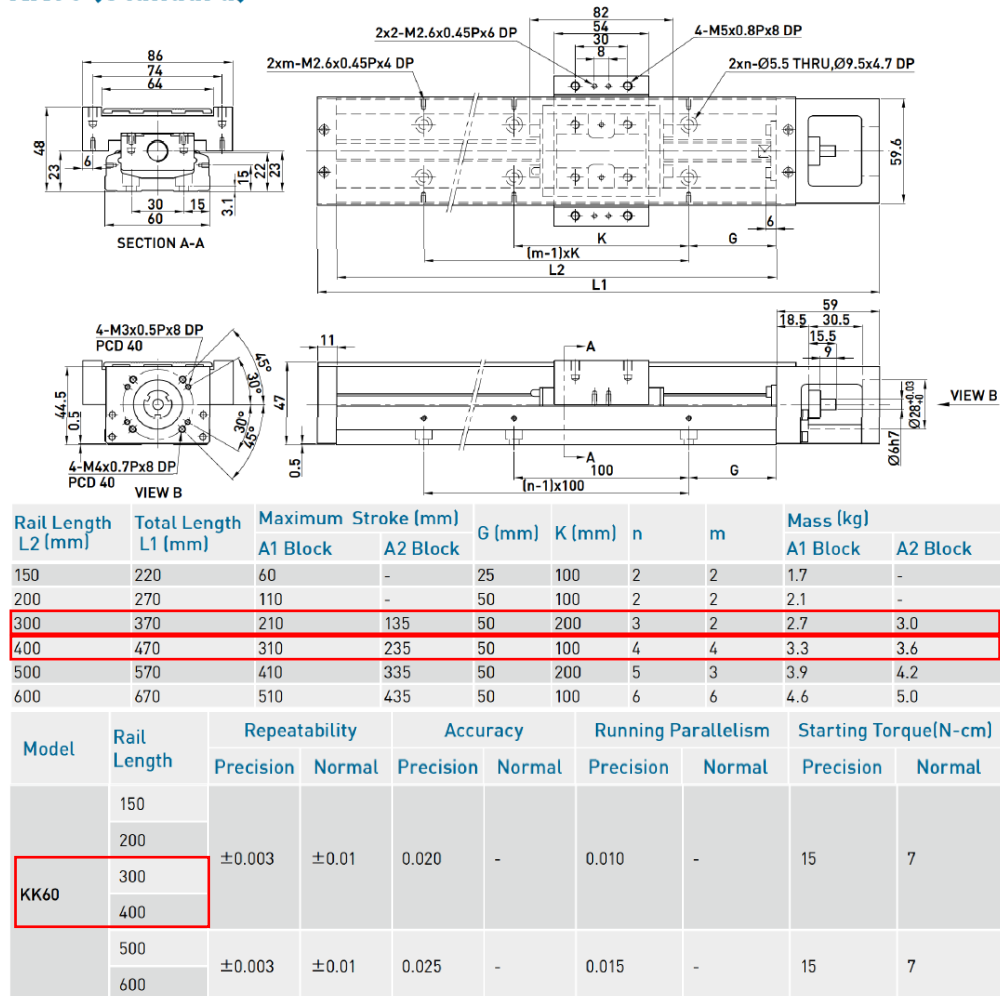
4.1.1 Dimensionering van de lineaire modules

Om na te gaan welk type uit de KK-serie het meest geschikt is moet er in eerste instantie rekening worden gehouden met de door Bosal opgegeven specificaties. Deze werden reeds in de voorstudie uitgebreid aangehaald. Tijdens de marktstudie werd hiervan gebruik gemaakt om zo uit een groot aanbod van lineaire componenten het beste alternatief naar voren te schuiven. Dit bleek een lineaire module uit de KK-serie van Hiwin te zijn. Echter werd bij het maken van deze keuze enkel rekening gehouden met de normale wijze van montage. Dit wil zeggen dat een lineaire module zoals deze van de KK-serie normaal gezien over de gehele lengte en breedte wordt ondersteund. Aangezien dit bij de automatische toren niet het geval is, moet er, ter controle van een zo laag mogelijke doorbuiging van de lineaire modules, een controleberekening worden uitgevoerd.

Alvorens deze controleberekening voor de doorbuiging kan worden uitgevoerd moet eerst worden bepaald welk type uit de KK-serie het meest geschikt is. Zoals reeds uit de keuzetabellen van de marktstudie mocht blijken, scoorden de componenten waaruit de KK-serie is opgebouwd behoorlijk goed. Vooral de inbouwgroote, herhaalnauwkeurigheid en uiteraard de kostprijs van een lineaire module waren zeer belangrijke factoren. Daar de toren enkel in beweging wordt gebracht tijdens de opbouw van een lasmal werd de snelheid waarmee een lineaire module zich positioneert een minder belangrijke factor. Voor het beschermen van een lineaire module tegen lasspatten, tijdens het lasproces van een uitlaatsysteem, moet een afscherming voor de kritische componenten worden voorzien. Dit kan bijvoorbeeld door het plaatsen van een eenvoudige afdekplaat op de module. Zo wordt voldoende bescherming geboden aan de lineaire componenten wat uiteindelijk resulteert in een verlenging van de levensduur. Aangezien het type KK60 (Standard), welke geleverd kan worden met afdekplaat, al deze positieve eigenschappen bezit, is dit type de beste keuze om mee verder te werken in het mechanisch ontwerp.

Zoals reeds eerder werd vermeld wordt er gebruik gemaakt van drie lineaire modules die telkens een bewegingsas voorstellen. Hierbij zullen de lineaire modules voor de beweging in de Y- en Z-richting dezelfde zijn, voor de beweging in de X-richting wordt een kortere module gebruikt. Deze keuze is het gevolg van de voorgeschreven bewegingsvrijheid waarover de toren mag beschikken. Voor de Y- en Z-richting wordt een slaglengte van 310 mm voorzien. Hierdoor wordt aan de eis om een beweging van 300 mm uit te kunnen oefenen voldaan. Voor de X-richting wordt een slaglengte van 210 mm gekozen zodat ook het gewenste bereik van 150 mm gehaald kan worden. Figuur 13 geeft een overzicht weer van de specificaties van de gekozen lineaire modules.

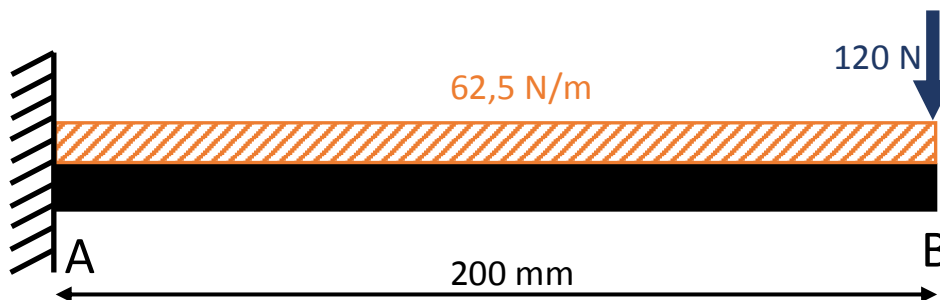
KK60 (Standard)



Figuur 13: Specificaties KK60 (Standard)

Voor de controleberekening wordt er gekeken naar de minst gunstige situatie. Deze treedt op wanneer de toren zich in de uiterste positie in de Y-richting aan de kant van de aandrijving bevindt. Hierbij wordt het grootste moment rond de X-as gecreëerd. Omdat hierbij enkel de module voor de beweging in de Y-richting de grootste vervorming ondervindt en deze ook tijdens de verplaatsing van het ondersteuningspunt doorheen het volledige bereik van de toren telkens de grootste vervorming ondergaat, wordt voor de controleberekening enkel deze module in beschouwing genomen. Eventuele vervormingen van de andere modules mogen verwaarloosd worden.

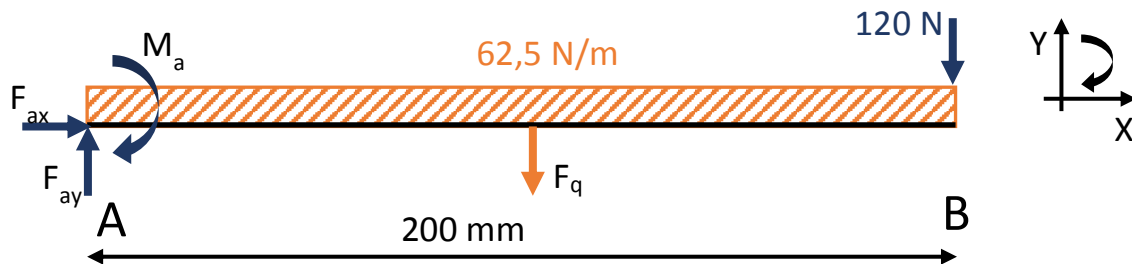
Voor het bepalen van de maximale doorbuiging wordt gebruik gemaakt van de discontinuïteitsfuncties uit de sterkteleer. Voor de berekening zijn enkele afmetingen van de module alsook de volledige belasting tijdens de minst gunstige situatie nodig. Onderstaande afbeelding geeft een schets van het probleem weer.



Figuur 14: Vereenvoudigde weergave situatie

Er wordt verondersteld dat de slede in punt A is ingeklemd waardoor daar een moment kan worden opgevangen. Daarnaast is er een verdeelde belasting van 62,5 N/m aangelegd wat in dit geval overeenkomt met het eigen gewicht van de lineaire module. Met het kennen van dit eigen gewicht, het maken van een schatting van de nodige grootte van de verbindingselementen (zie 4.1.2) en het in rekening brengen van de aandrijvingen en een tool (zie 4.1.3) wordt het gewicht van de toren geschat op 15 kg. De belasting in punt B zal bestaan uit het gewicht van de gehele toren verminderd met het eigen gewicht van de module voor de beweging in de Y-richting.

Bij aanvang van de berekening wordt gestart met het tekenen van een vrij-lichaamsschema (VLS). Hierop zijn alle krachten en momenten getekend die zullen zorgen voor de doorbuiging.



Figuur 15: Vrij-lichaamsschema

De som van de krachten in de X-richting is nul aangezien er geen tegengestelde kracht aanwezig is.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$+F_{ay} - F_q - 120 \text{ N} = 0$$

$$+F_{ay} = +120 \text{ N} + 62,5 \text{ N/m} * 0,2 \text{ m} = 132,5 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$+M_a + F_q * 0,1 \text{ m} + 120 \text{ N} * 0,2 \text{ m} = 0$$

$$+M_a = -120 \text{ N} * 0,2 \text{ m} - 62,5 \text{ N/m} * 0,2 \text{ m} * 0,1 \text{ m} = -25,25 \text{ Nm}$$

Vervolgens wordt via de methode van de discontinuïteitsfuncties de maximale doorbuiging berekend.

$$EI \frac{dv^2(x)}{dx^2} = 132,5 \text{ N} * \langle x - 0 \rangle^1 - 25,25 \text{ Nm} * \langle x - 0 \rangle^0 - \frac{62,5 \text{ N/m}}{2} * \langle x - 0 \rangle^2 - 120 \text{ N} * \langle x - 0,2 \rangle^1$$

$$EI \frac{dv(x)}{dx} = \frac{132,5 \text{ N}}{2} * \langle x - 0 \rangle^2 - 25,25 \text{ Nm} * \langle x - 0 \rangle^1 - \frac{62,5 \text{ N/m}}{6} * \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{120 \text{ N}}{2} * \langle x - 0,2 \rangle^2 + C_1$$

$$EI v(x) = \frac{132,5 \text{ N}}{6} * \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{25,25 \text{ Nm}}{2} * \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{62,5 \text{ N/m}}{24} * \langle x - 0 \rangle^4 - \frac{120 \text{ N}}{6} * \langle x - 0,2 \rangle^3 + C_1 * x + C_2$$

Hierna worden er randvoorwaarden opgesteld waaraan bovenstaande formules moeten voldoen. Zo weet men dat in een inklemming geen doorbuiging ($v(x)$) kan optreden en dat er daar ook geen hoekverdraaiing ($\theta(x)$) mogelijk is. Aan de hand van de randvoorwaarden worden de waarden voor de constanten C_1 en C_2 uitgerekend.

$$RV: \theta(0) = 0$$

$$EI \frac{dv(x)}{dx} = EI * \theta(0) = \frac{132,5 \text{ N}}{2} * (0 - 0)^2 - 25,25 \text{ Nm} * (0 - 0)^1 - \frac{62,5 \text{ N/m}}{6} * (0 - 0)^3 + C_1 = 0$$

$$\Rightarrow C_1 = 0$$

$$RV: v(0) = 0$$

$$EI v(x) = \frac{132,5 \text{ N}}{6} * (0 - 0)^3 - \frac{25,25 \text{ Nm}}{2} * (0 - 0)^2 - \frac{62,5 \text{ N/m}}{24} * (0 - 0)^4 + 0 * x + C_2 = 0$$

$$\Rightarrow C_2 = 0$$

Tot slot wordt de doorbuiging in punt B, dat op 200 mm afstand gelegen is van punt A, bepaald. Deze afstand wordt ingevuld voor x.

$$\Rightarrow v(0,2 \text{ m})$$

$$EI v(0,2) = \frac{132,5 \text{ N}}{6} * (0,2 - 0)^3 - \frac{25,25 \text{ Nm}}{2} * (0,2 - 0)^2 - \frac{62,5 \text{ N/m}}{24} * (0,2 - 0)^4 - \frac{120 \text{ N}}{6} * (0,2 - 0,2)^3$$

$$EI v(0,2 \text{ m}) = -0,3325 \text{ Nm}$$

Met:

- E de elasticiteitsmodulus van aluminium: $E = 70 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$
- I het traagheidsmoment van een module: $I = 2,056 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

$$v(0,2 \text{ m}) = \frac{-0,3325 \text{ Nm}}{E * I} \Rightarrow v(0,5 \text{ m}) = \frac{-0,3325 \text{ Nm}}{70 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 2,056 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4} = -0,000231 \text{ m}$$

$$v(0,2 \text{ m}) = -0,231 \text{ mm}$$

Aangezien de doorbuiging in het slechtste geval 0,231 mm bedraagt is er ook aan deze eis voldaan. Deze doorbuiging zal geen nadelige invloed hebben op de repeteernauwkeurigheid van de gehele toren.

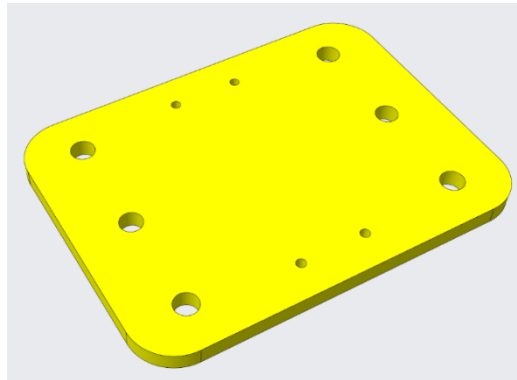
4.1.2 Ontwerpen van de verbindingselementen

Voor het samenbouwen van de lineaire modules tot de uiteindelijke toren zijn er enkele verbindingselementen nodig. Het ontwerp van deze elementen werd vooral bepaald door de bewegingsvrijheid van het ondersteuningspunt en de manier waarop de lineaire modules op elkaar worden gepositioneerd. Zo worden de modules voor de beweging in de X- en Y-richting gekruist ten opzichte van elkaar geplaatst en wordt de module voor de beweging in de Z-richting hier loodrecht op bijgeplaatst.

Om het geheel zo compact mogelijk te krijgen werden onderstaande elementen uitgewerkt. Deze worden in de volgorde van de opbouw van een toren weergegeven. Alle 2D-tekeningen van de hieronder omschreven verbindingselementen zijn terug te vinden in bijlage C.

1) Verbindingselement voor het verbinden van de gehele toren met de balk.

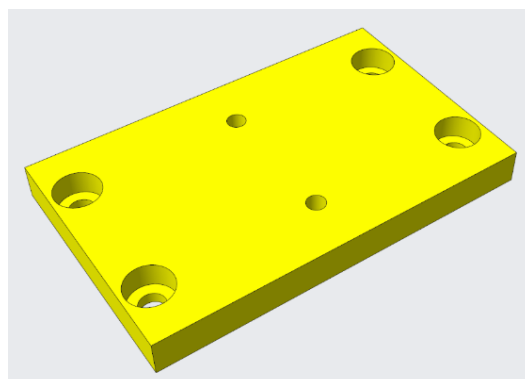
Voor het bevestigen van de gehele toren op de balk wordt er gebruik gemaakt van een aluminiumplaat (AlMgSi1). De plaat wordt gefreesd tot op een dikte van acht millimeter, voorzien van hetzelfde gatenpatroon als de balk voor een eenvoudige bevestiging van de toren op de balk en enkele draadgaten voor het bevestigen van de lineaire module voor de beweging in de Y-richting op de plaat. Figuur 16 geeft de 3D-voorstelling van het verbindingselement weer.



Figuur 16: Verbindingselement, verbinden van de gehele toren met balk

2) Verbindingselement voor het verbinden van de modules voor de beweging in de X- en Y-richting.

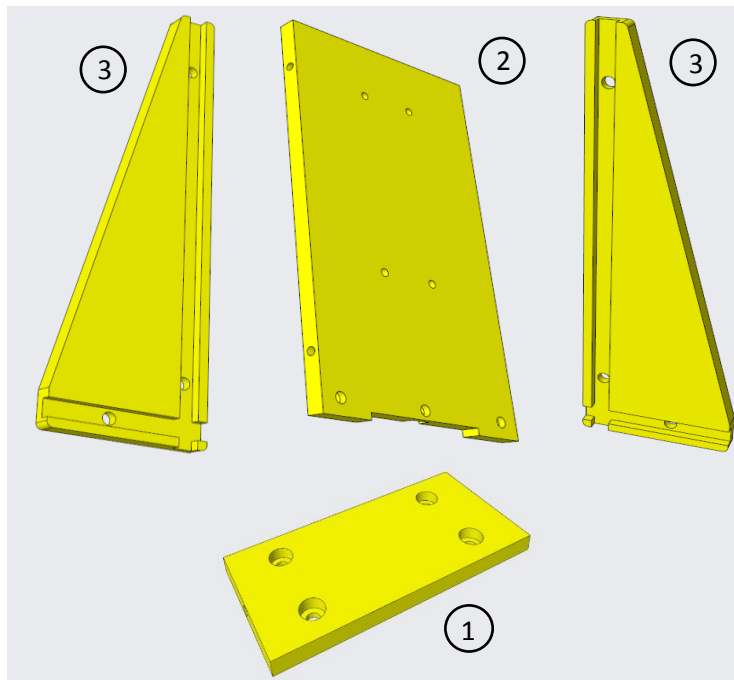
De verbinding van deze modules wordt zeer eenvoudig tot stand gebracht. Hiervoor wordt opnieuw gebruik gemaakt van een aluminium plaatje (AlMgSi1) dat wordt gefreesd tot op een dikte van acht millimeter. Voor de lengte en breedte van het plaatje werden gemakshalve dezelfde afmetingen als van de sledes van de lineaire modules gekozen. In het plaatje zijn vier doorvoergaten voorzien voor de bevestiging op de slede van de module voor de beweging in de Y-richting en twee draadgaten voor de bevestiging van de module voor de beweging in de X-richting. Figuur 17 geeft de 3D-voorstelling van het verbindingselement weer.



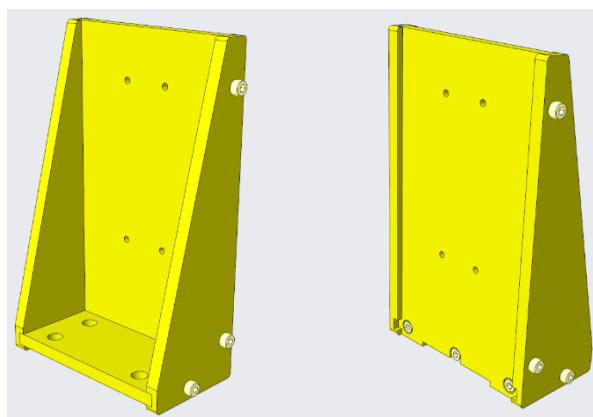
Figuur 17: Verbindingselement, verbinden van de modules voor beweging in X- en Y-richting

3) Verbindingselement(en) voor het verbinden van de modules voor de beweging in de X- en Z-richting.

Aangezien de module voor de beweging in de Z-richting loodrecht op de module voor de beweging in de X-richting wordt geplaatst, is er voor deze verbinding een ietwat complexer verbindingselement nodig. Het verbindingselement wordt opgebouwd uit vier delen, namelijk: een voet (1), een rug (2) en twee zijdelingse verstevigingen (3) (zie Figuur 18). Elk deel wordt vervaardigd uit een aluminium plaatje (AlMgSi1) dat wordt gefreesd tot op een dikte van 8 mm. In het voetplaatje worden vier doorloopgaten voorzien voor de bevestiging van het plaatje op de module voor de beweging in de X-richting en vijf draadgaten voor de bevestiging van de andere delen op dit voetplaatje. Het rugplaatje wordt voorzien van drie doorloopgaten voor de bevestiging op het voetplaatje, vier draadgaten voor het bevestigen van de verstevigingsplaatjes en vier draadgaten voor het bevestigen van de module voor de beweging in de Z-richting. Bijkomend wordt aan de onderkant van het rugplaatje een uitsparing voorzien zodat deze vrij boven de afdekplaat van de lineaire module kan bewegen. In de verstevigingsplaatjes worden drie doorloopgaten voor de bevestiging van de plaatjes op het voet- en rugplaatje voorzien en enkele gleuven waarin het voet- en rugplaatje passen. Dit zorgt ervoor dat een sterke mechanische versteviging wordt gerealiseerd. Figuur 19 geeft de 3D-voorstelling van het gehele verbindingselement weer.



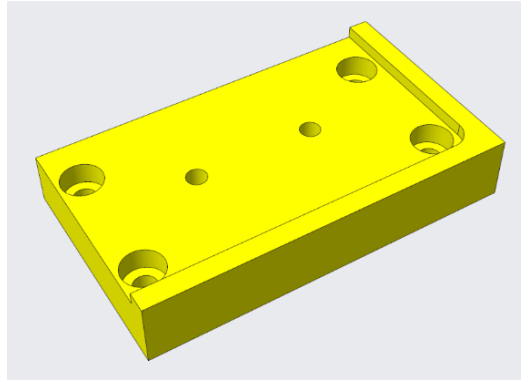
Figuur 18: Voet (1), rug (2) en verstevigingen (3)



Figuur 19: Verbindingselement, verbinden van de modules voor beweging in X- en Z-richting

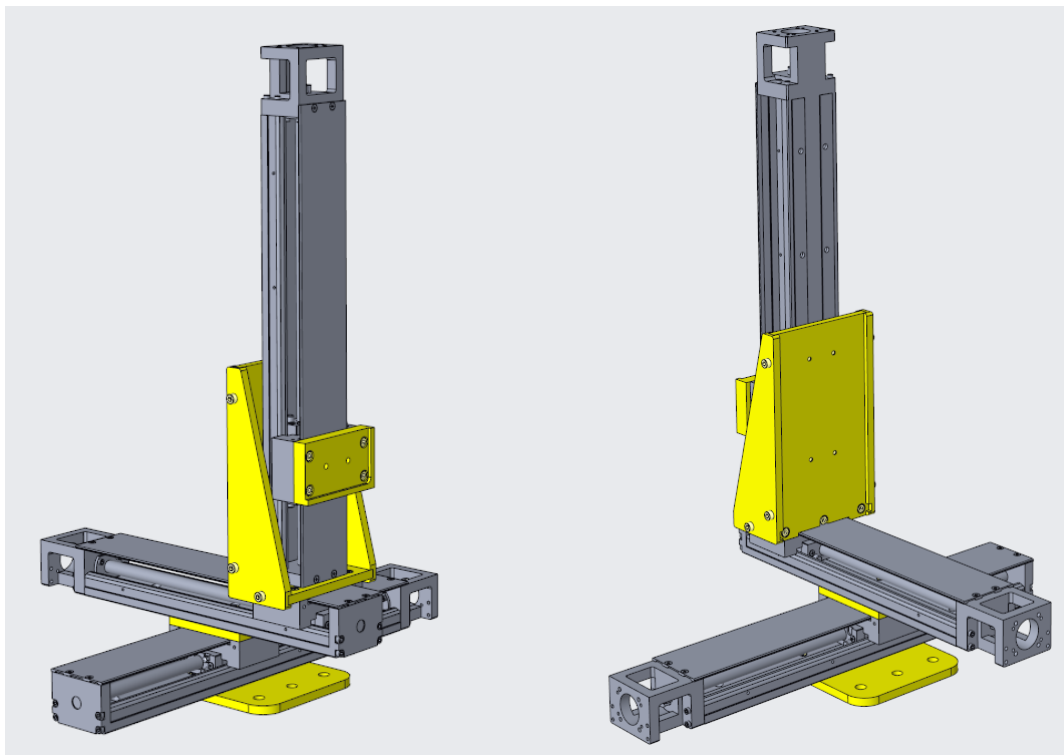
4) Verbindingselement voor het verbinden van een tool met de module voor de beweging in de Z-richting.

Deze verbinding wordt tot stand gebracht door een stalen plaatje (C45U) dat wordt gefreesd tot op een dikte van 13 mm en wordt voorzien van een opstaande rand. Deze rand is 3 mm hoog en zorgt ervoor dat de tool altijd correct wordt gepositioneerd. In het plaatje zitten vier doorloopgaten voor de bevestiging van het plaatje met de slede van de module voor de beweging in de Z-richting en twee draadgaten voor de bevestiging van de tool op het plaatje. Figuur 20 geeft de 3D-voorstelling van het verbindingselement weer.



Figuur 20: Verbindingselement, verbinden van tool met module voor beweging in Z-richting

De afmetingen van de verbindingselementen zijn telkens zo gekozen dat na het samenbouwen van de toren deze zich nog steeds binnen de opgelegde afmetingen bevindt. Figuur 21 geeft de 3D-voorstelling weer van de samengebouwde lineaire modules met behulp van de verbindingselementen.



Figuur 21: 3D-voorstelling van de samengebouwde lineaire modules

4.1.3 Ontwerpen van de tools

Tijdens de voorstudie werd er kennis opgedaan omtrent het gebruik van een lasmal. Zo werd er inzicht verworven in hoe de verschillende torens het uitlaatsysteem ondersteunen en vergrendelen en waarom ze daar worden ondersteund en vergrendeld. Dit houdt in dat voor het correct ondersteunen en vergrendelen van een onderdeel de vrijheidsgraden van dit onderdeel moeten worden weggenomen. Aangezien in de eerste fase van deze *proof of concept* enkel aandacht wordt geschonken aan het ondersteunen van ronde uitlaatbuizen zullen ook enkel de hiervoor benodigde tools ontworpen worden.

Voor het wegnemen van de vrijheidsgraden van een ronde uitlaatbuis moet een bepaalde werkwijze in acht worden genomen. Dit kan het best worden uitgelegd aan de hand van een voorbeeld. Op Figuur 22 en Figuur 23 staat een deel van een uitlaatsysteem weergegeven. Hierop staan enkele ondersteuningspunten aangeduid die samen zorgen voor een volledige vergrendeling van het onderdeel. De vrijheidsgraden die het onderdeel bezit, moeten op een zo efficiënt mogelijke manier worden weggenomen. Dat wil zeggen dat het onderdeel met zo min mogelijk torens moet ondersteund en vergrendeld worden.

Voor elk onderdeel kunnen, naar gelang de complexiteit van het onderdeel, onderstaande vergrendelingen worden toegepast.

1) XYZ-ondersteuning:

In het ondersteuningspunt worden de drie vrijheidsgraden voor de translatierichtingen weggenomen. In het voorbeeld wordt het ondersteuningspunt voorgesteld als “XYZ”.

2) YZ-ondersteuning:

In het ondersteuningspunt worden de twee vrijheidsgraden voor de translatierichtingen Y en Z weggenomen. Een vergrendeling van twee vrijheidsgraden tegelijkertijd wordt voorgesteld als “YZ”.

3) Z-ondersteuning:

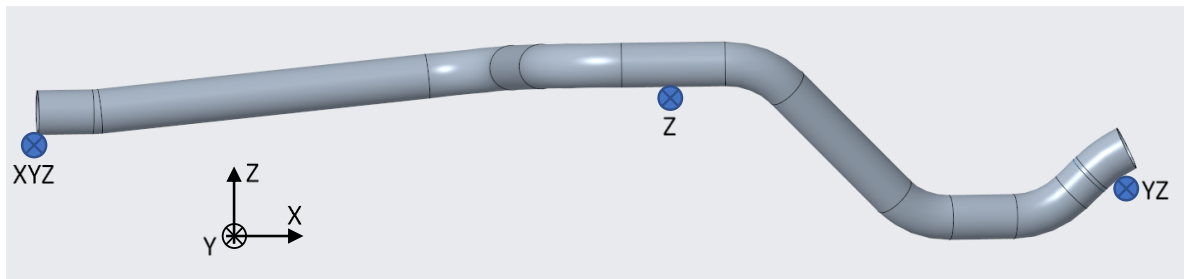
In het ondersteuningspunt wordt de vrijheidsgraad voor de translatierichting Z weggenomen. Deze vergrendeling kan perfect afzonderlijk worden toegepast, daar het de vergrendeling van een onderdeel in de hoogte voorziet. In het voorbeeld wordt het ondersteuningspunt voorgesteld als “Z”.

Naast de YZ- en Z-ondersteuning is het ook perfect mogelijk om voor een specifieke ondersteuning met de andere assen te werken. Zo zijn een XZ-, XY-, X- en Y-ondersteuning ook mogelijk. Bijkomend zijn voor een cilindrisch product, bij het gebruik van bovenstaande ondersteuning, nog steeds rotaties rond de X-, Y- en Z-as mogelijk.

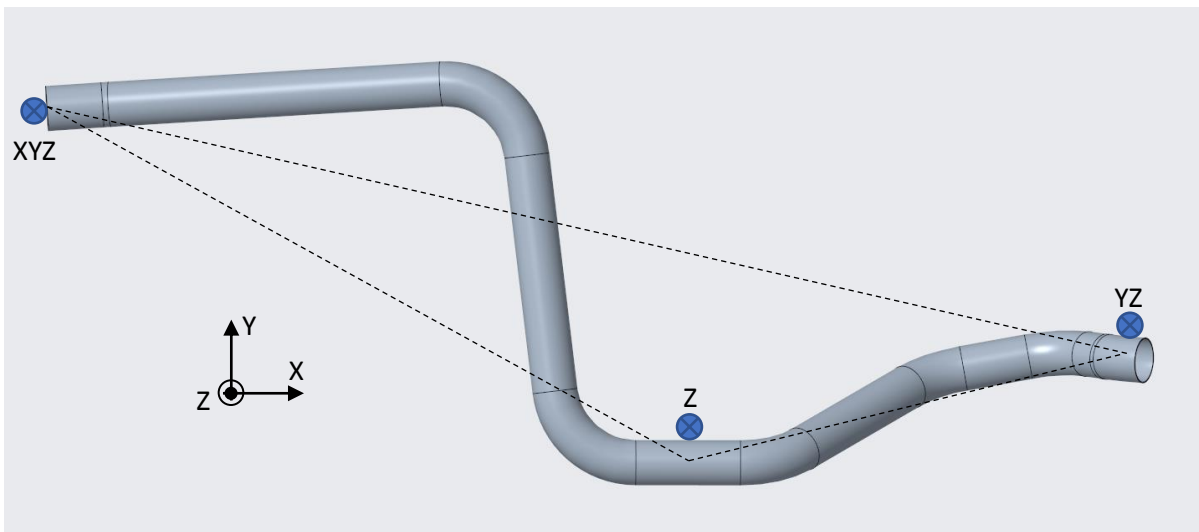
Zoals reeds werd aangehaald moet een onderdeel met zo min mogelijk torens ondersteund en vergrendeld worden. Daarom worden meestal torens ingezet op plaatsen waar in één keer meerdere vrijheidsgraden kunnen worden weggenomen. In onderstaand voorbeeld wordt gebruik gemaakt van drie ondersteuningspunten. Dit betekent dat er drie torens nodig zijn. De volledige vergrendeling wordt dus pas bekomen als minimum drie torens gebruikt worden. De plaatsing van deze torens wordt bepaald door het criterium van de grootst ingesloten driehoek. Dit wordt toegepast om ervoor te zorgen dat het massamiddelpunt van het opgenomen onderdeel zo centraal mogelijk in deze driehoek gelegen is (zie Figuur 23).

Eerst wordt het onderdeel door drie punten in de Z-richting opgenomen. Hierna kan het theoretisch enkel nog verschuiven in de X- en Y-richting, alsook loodrecht roteren in het vlak dat gevormd wordt door de drie punten van het ondersteunen in de Z-richting. Vervolgens worden de twee punten voor het ondersteunen in de Y-richting toegevoegd. Hierdoor is er enkel nog een translatie in de X-richting mogelijk. Deze laatste vrijheidsgraad wordt met een translatiestop in de X-richting weggenomen.

De samenwerking van deze drie ondersteuningspunten zorgt voor een vergrendeling tegen zowel translatie als rotatie van het onderdeel rond de X- Y- en Z-as. Hierdoor kunnen de verschillende componenten repetitief in de lasmal gelegd worden.



Figuur 22: Vooraanzicht ondersteunen van een uitlaatbuis

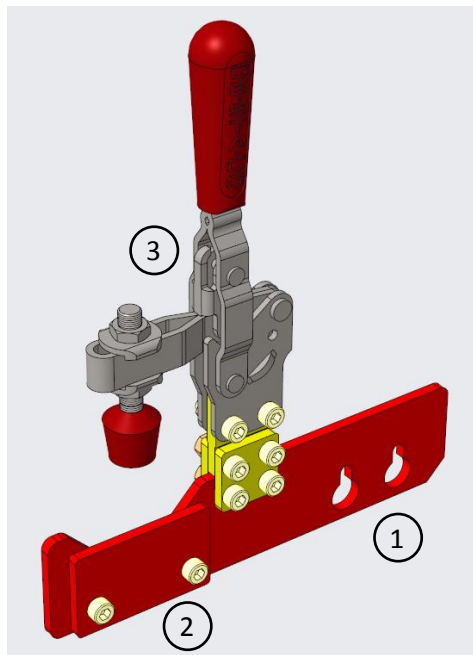


Figuur 23: Bovenaanzicht ondersteunen van een uitlaatbuis

Het vergrendelen van een onderdeel gebeurt door de opname van het onderdeel met behulp van enkele tools die gemonteerd zijn op een toren. Een tool heeft een welbepaalde vorm en is voorzien van een klem. Deze combinatie bepaalt de manier van ondersteunen en vergrendelen van een onderdeel. Mede hierdoor wordt het kromtrekken van het onderdeel tijdens het lasproces vermeden. In onderstaande opsomming worden alle tools weergegeven die bij het uitwerken van de *proof of concept* werden ontwikkeld. Alle 2D-tekeningen van deze tools en eventueel bijbehorende componenten zijn terug te vinden in bijlage C.

1) Tool voor een volledige vergrendeling:

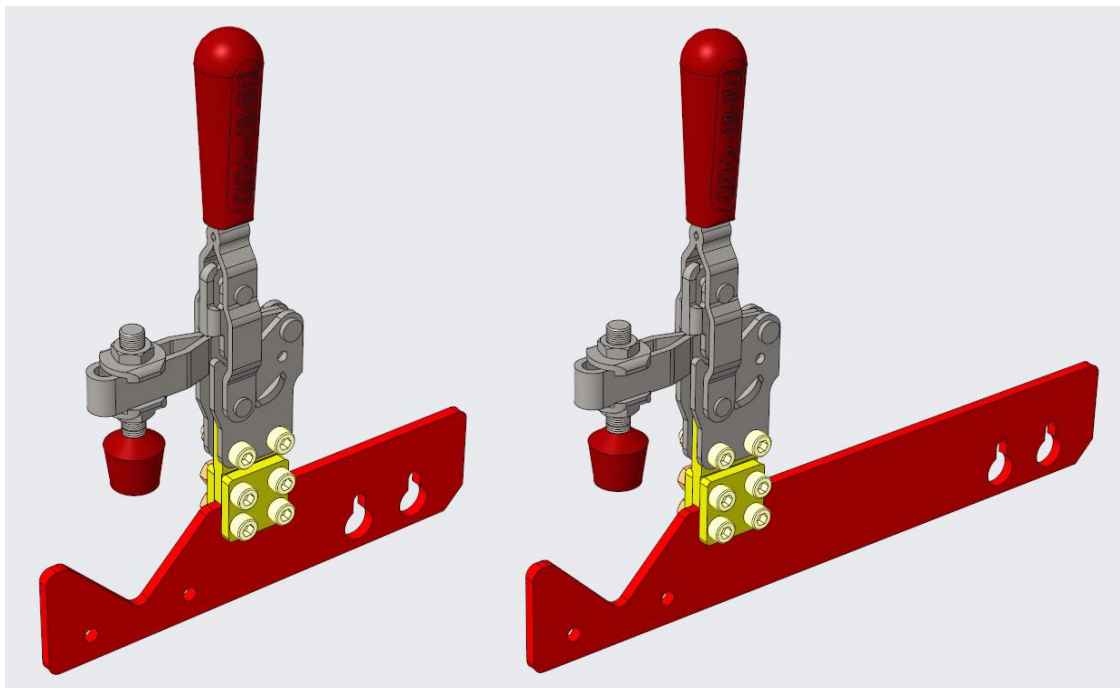
Deze tool bestaat uit een V-houder (1) voor het vergrendelen in de Y- en Z-richting, een plaatje (2) voor het vergrendelen in de X-richting en een klem (3) om het onderdeel op zijn plaats te houden tijdens het lasproces. Figuur 24 geeft de 3D-voorstelling van de tool weer.



Figuur 24: Tool voor een volledige vergrendeling

2) Tool voor een vergrendeling in de Y- en Z-richting:

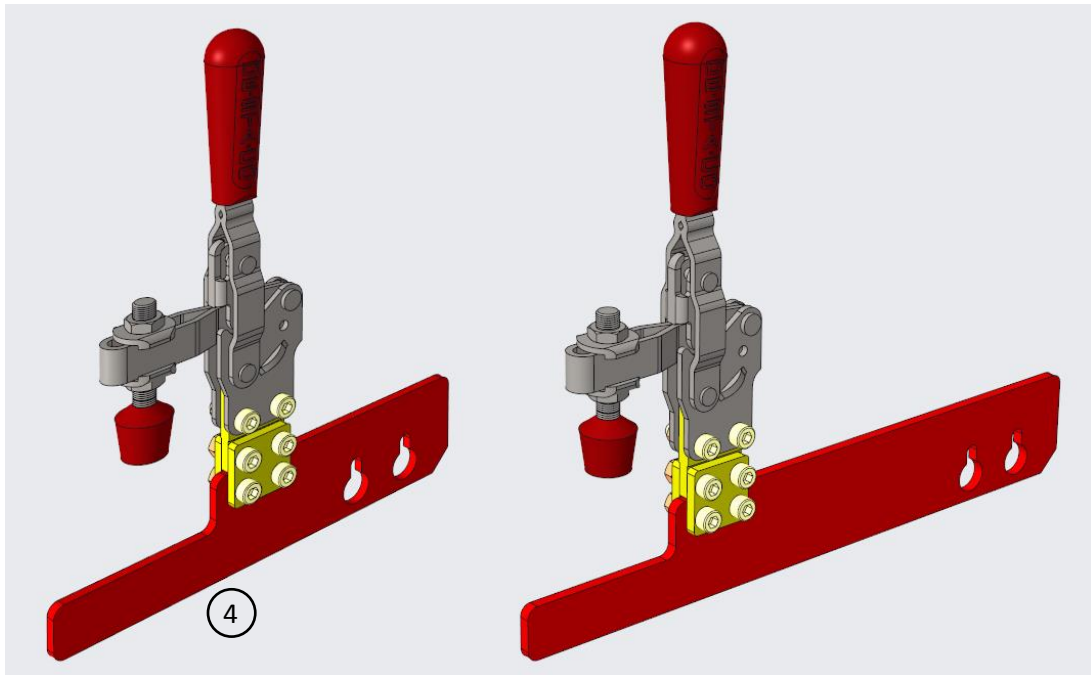
Deze tool vertoont veel gelijkenissen met de tool voor de volledige vergrendeling, echter ontbreekt hierbij het plaatje voor de vergrendeling in de X-richting. Van deze tool werden twee varianten voorzien, namelijk een korte- en een lange tool. Dit maakt het mogelijk om twee torens dicht bij elkaar te plaatsen en zo twee ondersteuningspunten te creëren op een korte afstand van elkaar. Dit principe werd reeds aangehaald in sectie 2.5. Figuur 25 geeft de 3D-voorstelling van de tools weer.



Figuur 25: Tools voor een vergrendeling in de Y- en Z-richting

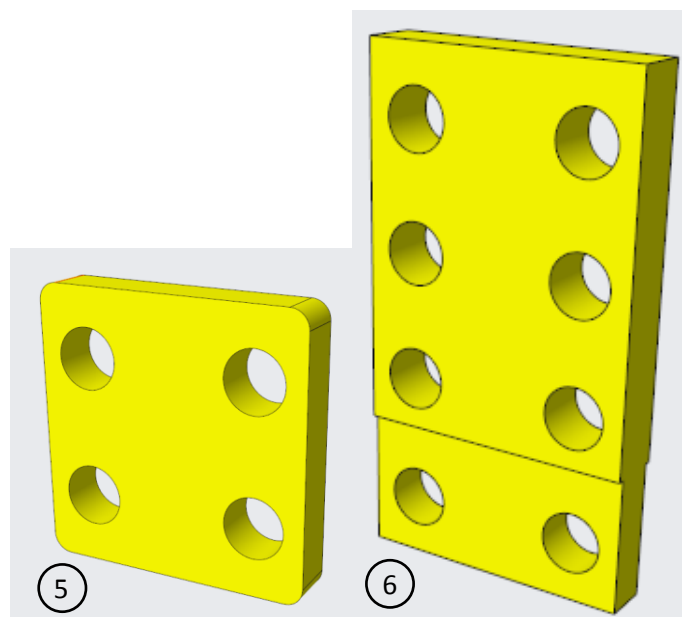
3) Tool voor een vergrendeling in de Z-richting:

Deze tool bestaat uit een vlakke houder (4) voor het vergrendelen in de Z-richting en een klem om het onderdeel op zijn plaats te houden tijdens het lasproces. Ook van deze tool werden twee varianten voorzien. Figuur 26 geeft de 3D-voorstelling van de tools weer.



Figuur 26: Tools voor een vergrendeling in de Z-richting

Voor het bevestigen van de klem op de tools wordt er gebruik gemaakt van twee eenvoudige vierkante plaatjes (5) en een rechthoekig stelplaatje (6). Met behulp van dit stelplaatje kan de klem hoger of lager worden gepositioneerd. Zo kan de tool buizen met een diameter van ongeveer 40 mm tot en met ongeveer 70 mm opnemen. Figuur 27 geeft de 3D-voorstelling van deze bevestigingselementen weer.



Figuur 27: Bevestigingselementen voor de klem

4.2 Elektrisch ontwerp

4.2.1 Keuze van het type servomotor

Zoals in hoofdstuk drie vermeld staat, werd er gekozen voor een aandrijving en sturing van Beckhoff. Daarbij werd ook al vermeld dat er voor de servomotor gekozen werd in plaats van de stappenmotor. De argumenten die geleid hebben tot deze keuze worden in dit hoofdstuk beschreven.

Een eerste belangrijk argument is dat elke universele toren aangestuurd wordt met behulp van één industriële PC-sturing maar daarna ook weer fysiek losgekoppeld wordt van deze sturing. Dit heeft als voordeel dat deze ene sturing meerdere torens kan aansturen wat kostenbesparend is, maar dat de aandrijvingen van een toren niet bekrachtigd blijven. Hierdoor kunnen de posities van de lineaire modules veranderen bij het weghalen van de stroom. Dat probleem kan verholpen worden door een motor te kiezen die een mechanische rem bezit. Daarnaast bezit het ontwerp ook een Z-as die invloed ondervindt van de zwaartekracht, wat nog meer kans op verplaatsingen geeft. Daarom raadde Beckhoff af om gebruik te maken van stappenmotoren aangezien deze geen mechanische rem bezitten en de kans op verplaatsingen reëel zijn.

Een tweede argument waarom voor een servomotor gekozen werd, is de nauwkeurigheid van de motor zelf. Op de servomotor zit namelijk een *resolver* wat maakt dat er een *closed loop* regeling aanwezig is. Zo is men altijd zeker dat de benodigde posities van de lineaire assen met een grote nauwkeurigheid bereikt worden. Dit is voor deze toepassing zeer belangrijk.

Het derde en laatste argument is het lage benodigde motorkoppel om de belasting op de lineaire modules in beweging te brengen. Via een berekening uitgevoerd op basis van formules en gegevens die in de catalogus van de gekozen lineaire modules van Hiwin gevonden werden, kon zo onderstaand resultaat verkregen worden. De volledige berekening is terug te vinden in de bijlage D [17].

$$M_{\text{tot}} = 0,0123 \text{ Nm} \quad (4.2.1)$$

Wordt op dit resultaat nog een veiligheidsmarge van x10 genomen dan bedraagt het minimum vereiste koppel 0,123 Nm. Binnen het assortiment van de stappenmotoren die Beckhoff aanbood, bedroeg het kleinste koppel dat geleverd kon worden 0,4 Nm wat voor deze toepassing onnodig veel was. Keek men echter naar de servomotoren dan bedroeg daar het kleinste koppel 0,2 Nm wat veel beter aansloot met de gevonden 0,123 Nm.

Deze drie argumenten zorgden ervoor dat de servomotor boven de stappenmotor verkozen werd.

Om het geschikte type servomotor te vinden werd met behulp van een simulatie, uitgevoerd door Beckhoff, gekeken wat allemaal mogelijk was op basis van de door ons aangereikte gegevens. Hieruit volgde dat een servomotor van het type AM8121 een geschikte keuze zou zijn. Daarbij gaf de simulatiesoftware wel aan dat het gebruik van een reductor type AG2250 – PLE60 of WPLE60 nodig was. Dit is een rechte of een haakse overbrenging. Deze overbrenging is nodig omwille van het feit dat de lineaire modules niet te snel naar hun posities mogen bewegen door de massa-tragheid van het systeem. De specificaties zijn weergegeven op de volgende pagina.

Voor de YXZ-toepassing zal zowel een rechte als een haakse overbrenging nodig zijn om aan de opgegeven specificaties door Bosal te voldoen. In de paragraaf “de universele toren” zal meer info gegeven worden waarom op welke slede gebruik werd gemaakt van een rechte of haakse overbrenging.

Belangrijkste specificaties van de AM8121 servomotor

Standstill torque:0,50 Nm
Rated torque:0,50 Nm
Rated speed:3000 min⁻¹
Weight:1,0 kg [18]
Length:146 mm [19]

Belangrijkste specificaties van de PLE60 reductor

Nominal output torque:40 Nm
Max. acceleration torque:64 Nm
Gear ratio:5
Weight:0,9 kg [20]
Length:106 mm [21]

Belangrijkste specificaties van de WPLE60 reductor

Nominal output torque:24 Nm
Max. acceleration torque:38 Nm
Gear ratio:5
Weight:1,7 kg [22]
Length:147 mm [21]



Figuur 28: PLE60 [20]



Figuur 29: WPLE60 [22]

Voor deze motor en de twee reductoren werd een voorlopige prijsopofferte opgesteld (zie bijlage E). Maar door even kritisch naar deze oplossing van Beckhoff te kijken, werd opgemerkt dat ook nog een ander type motor en reductor in aanmerking kwamen, namelijk de AM8111 en de AG2250 - PLE40, WPLE40.

De AM8111 is een motor uit dezelfde reeks en heeft het kleinste koppel van alle servomotoren maar wel nog steeds groot genoeg voor de aandrijving van de lineaire modules. Een verandering naar dit type zorgt voor een motor die goedkoper maar ook lichter en kleiner wordt, wat belangrijk is binnen onze toepassing. Ook de reductoren verkleinen wat eens zo positief is. Daarnaast is er wel een daling van het motorkoppel maar dit is niet erg aangezien de reductoren voor een vergroting van het koppel zorgen.

Om toch zekerheid te hebben dat deze motor-reductor combinatie nog steeds geschikt zou zijn, werd aan Beckhoff gevraagd wat zij van deze oplossing vonden. Voor Beckhoff was dit nog steeds een goede oplossing waardoor met deze componenten verder wordt gewerkt. De specificaties van de uiteindelijke gekozen motor en de twee reductoren zijn hieronder weergegeven.

Belangrijkste specificaties van de AM8111 servomotor

Standstill torque:0,20 Nm
Rated torque:0,19 Nm
Rated speed:4000 min⁻¹
Weight:0,8 kg [23]
Length:129 mm [24]

Belangrijkste specificaties van de PLE40 reductor

Nominal output torque:15 Nm
Max. acceleration torque:24 Nm
Gear ratio:4
Weight:0,35 kg [25]
Length:93,5 mm [21]



Figuur 30: AM8111 [23]

Belangrijkste specificaties van de WPLE40 reductor

Nominal output torque:6 Nm
Max. acceleration torque:10 Nm
Gear ratio:4
Weight:0,51 kg [26]
Length:110 mm [21]

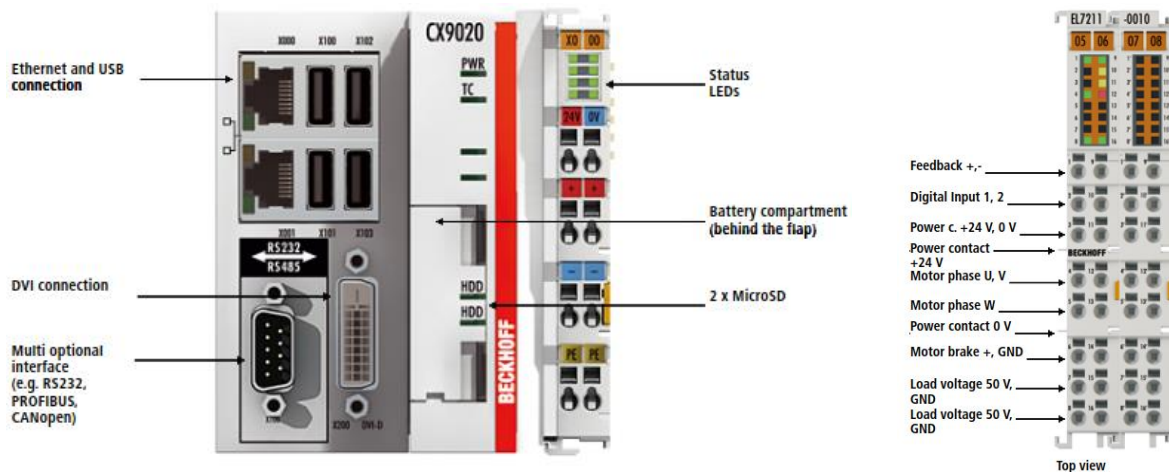
Meer specificaties van de gekozen motor en reductoren zijn terug te vinden in bijlage F.

4.2.2 Keuze van de motorsturing

Om de drie servomotoren aan te sturen werd geopteerd voor een industriële PC-sturing van Beckhoff. Deze PC-sturing bestaat uit een basis CPU-module (het hart van de sturing) aangevuld met drie ingangskarten. De CPU-module waarvoor gekozen werd kan rechtstreeks de servomotoren herkennen en bezit de TwinCat 3 PLC-software. Hierdoor kan de industriële PC snel in gebruik worden genomen en kan er via de software heel gemakkelijk aan *motion control* worden gedaan. Ook is de aankoop van visualisatiecomponenten zoals een *touch panel* niet nodig. Een gewone laptop volstaat om de gehele bediening van de aandrijvingen van de universele toren te doen [27].

De drie ingangskarten zijn voorzien van *One Cable Technology* (OCT) en een geïntegreerde elektronische herkenning van de motor die aangesloten wordt op deze kaart. Via OCT worden de motorkabels en deze voor de *feedback* sturing gecombineerd in één kabel. Dit betekent dat maar één kabel naar de motor gaat en er minder kosten zijn voor de bekabeling. Daarnaast zorgt de elektronische herkenning dat de motorparameters van de motor die aangesloten is, automatisch geconfigureerd worden [28].

In onderstaande afbeelding worden de gekozen CPU-module en ingangskart voor de PC-sturing weergegeven. De technische specificaties van beide componenten zijn in bijlage F terug te vinden.



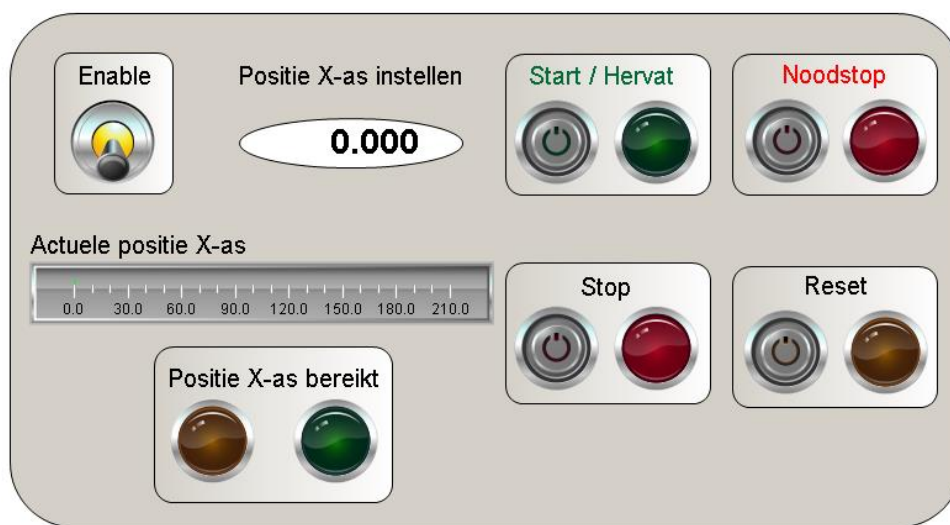
Figuur 31: CX9020-0115 (CPU-module) en EL7211-0010 (ingangskart) [27], [28]

4.2.3 Uitwerking van de industriële PC-sturing

Via de software TwinCat 3 kan het PLC-programma dat nodig is om de aandrijvingen van de universele toren aan te sturen aangemaakt worden. In dit hoofdstuk worden de basiselementen die gebruikt werden in het allereerste programma uitgelegd. Deze basis werd daarna verder uitgebreid tot het uiteindelijke eindresultaat dat weergegeven is in hoofdstuk vijf.

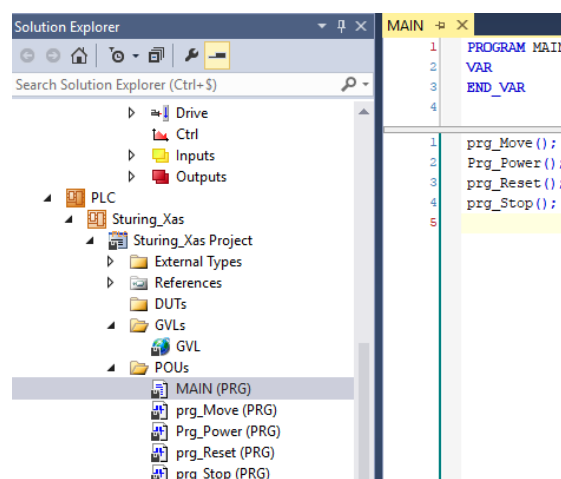
Het eerste PLC-programma was een testprogramma waarbij het de bedoeling was om één as aan te sturen. Dit gebeurt in dit programma nog niet op basis van coördinaten die uit Creo Parametric komen maar op basis van een getalwaarde die handmatig ingegeven wordt. Voor de rest bezit de sturing een activatie knop, een start/hervat knop, een stopknop, een noodstop en een reset. In volgende alinea's worden hun werking en functies beschreven.

In Figuur 32 is de interface weergegeven om de X-as aan te sturen. Op deze afbeelding is te zien dat er een invoerveld is om de gewenste positie in te vullen en dat de verschillende knoppen bijbehorende lampjes hebben als visuele ondersteuning.



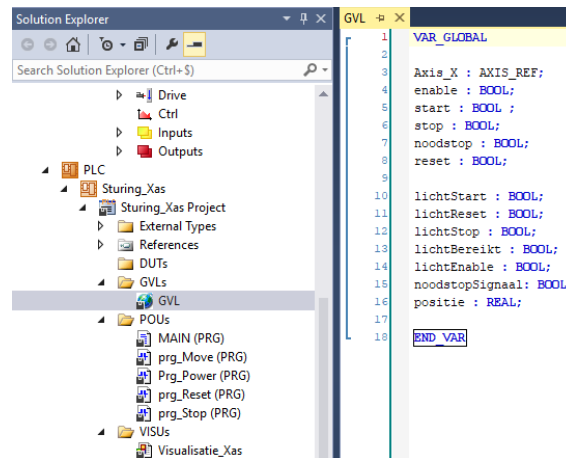
Figuur 32: Interface voor aansturing X-as

De code die geschreven werd om deze interface te bedienen kan binnen TwinCat zeer overzichtelijk en gemakkelijk gebeuren door middel van verschillende subprogramma's. Zo bezit dit PLC-programma vier kleine subprogramma's. Het uitvoeren van deze subprogramma's gebeurt door de *main* (zie Figuur 33). Daarbij is het voldoende om de naam van elk subprogramma dat uitgevoerd moet worden op te lijsten. De volgorde waarin deze opgesomd zijn is onbelangrijk en heeft geen effect op de werking van het PLC-programma.



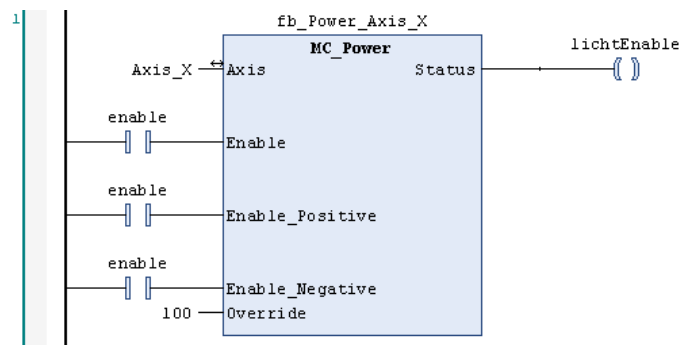
Figuur 33: Main met de verschillende subprogramma's

De verschillende variabelen die in deze subprogramma's worden gebruikt, kunnen ofwel binnen het subprogramma zelf gedefinieerd worden ofwel binnen een variabelenlijst, GVL (= Global Variable List). Voor dit programma werden alle variabelen in een GVL gedeclareerd, omdat het dan mogelijk is om dezelfde variabele in meerdere subprogramma's te gebruiken.



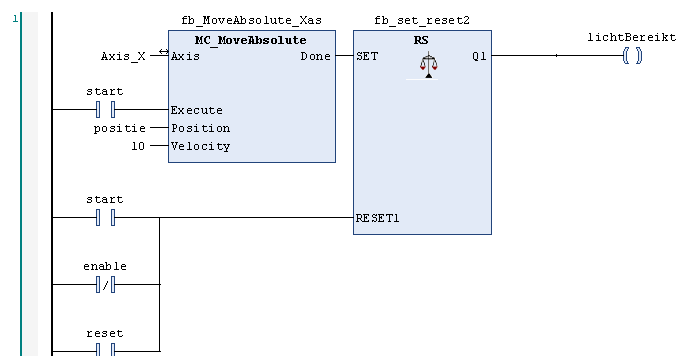
Figuur 34: Global Variable List

De *enable* schakelaar in de interface (zie Figuur 32) dient om de servomotor te activeren. Programmatorisch wordt dit binnen TwinCat geregeld in het subprogramma, *prg_Power*. In dit programma staat een functieblok genaamd *MC_Power* die zorgt voor de vrijgave van de motor [29]. In Figuur 35 is hiervan de code te zien. Daarbij is *enable* een variabele die gekoppeld is aan de schakelaar uit de interface en *lichtEnable* een uitgang die een lampje laat branden op voorwaarde dat de motor vrij gegeven is.



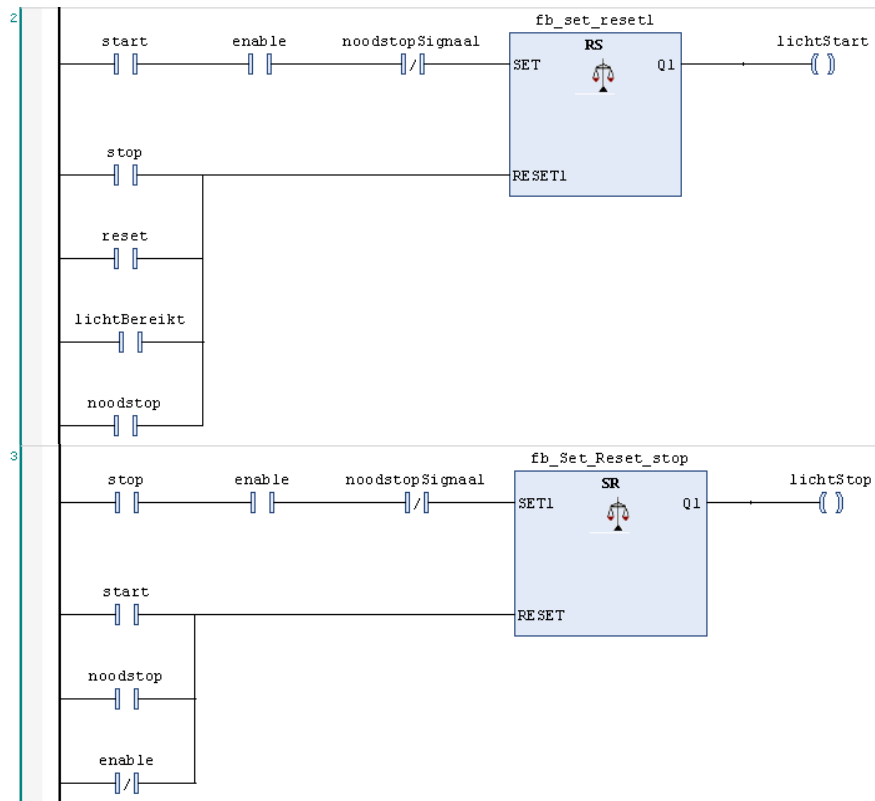
Figuur 35: functieblok MC_Power

Het volgende subprogramma is, *prg_Move*. Dit programma heeft tot doel om de X-as naar de ingegeven positie, afkomstig uit de interface, te sturen. Dit wordt met behulp van het functieblok *MC_MoveAbsolute* eenvoudig gerealiseerd [30]. Via een puls afkomstig van de startknop wordt de positie ingelezen en zal de motor beginnen draaien.



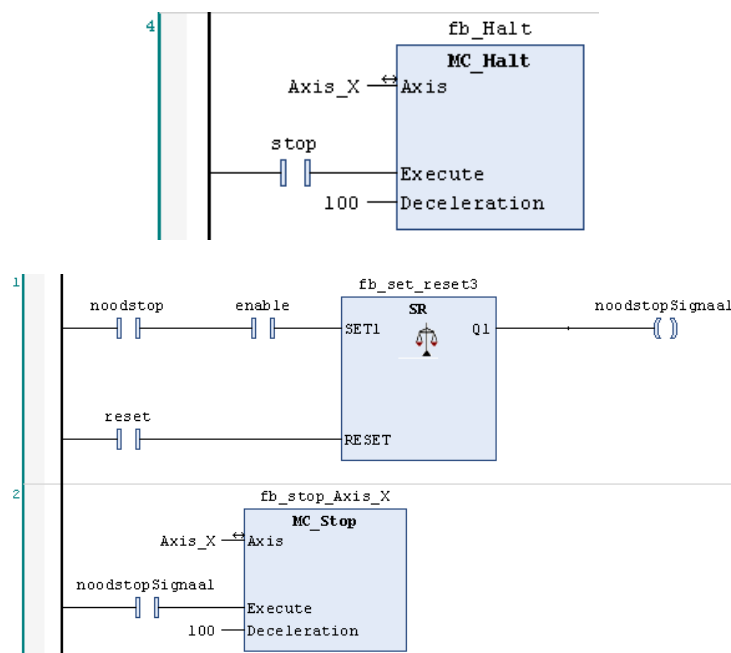
Figuur 36: functieblok MC_MoveAbsolute

Als de positie bereikt is stuurt de uitgang *Done* een puls uit (zie Figuur 36). Met de set/reset wordt dan de uitgang hooggehouden, zodat het groene lampje uit de interface bij “positie X-as bereikt” blijft branden. Ook de lampjes bij de start- en stopknop worden in dit programma hoog en laag gemaakt. De code hieromtrent is weergegeven in Figuur 37.



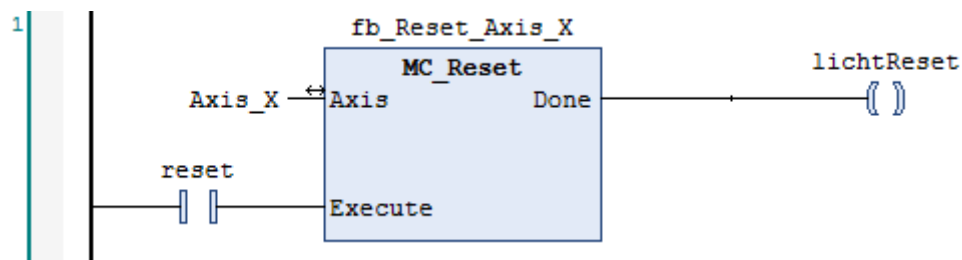
Figuur 37: Set/reset van start- en stoplampje

Wanneer de servomotor om de een of andere reden moet stoppen en de noodstop niet nodig is, kan met het functieblok *MC_Halt* gewerkt worden [31]. Dit blok zorgt voor een stilstand van de motoras zonder dat een reset van de sturing nodig is. Dit is tegengesteld aan de werking van de noodstop binnen het subprogramma *prg_Stop* want daar wordt gebruik gemaakt van het functieblok *MC_Stop* [32]. Onderstaande afbeelding toont beide functieblokken binnen hun programma's.



Figuur 38: MC_Halt en MC_Stop

Als op de noodstop gedrukt wordt en de motor is geactiveerd (*enable* hoog) wordt de variabele noodstopSignaal hoog. Daardoor wordt het functieblok MC_Stop geactiveerd en blijft deze hoog tot de variabele noodstopSignaal weer gereset wordt. Dat gebeurt door middel van de variabele genaamd reset. Ook hiervoor werd een standaard functieblok gebruikt [33]. Dit blok is gedefinieerd binnen het subprogramma prg_reset en is weergegeven in Figuur 39.

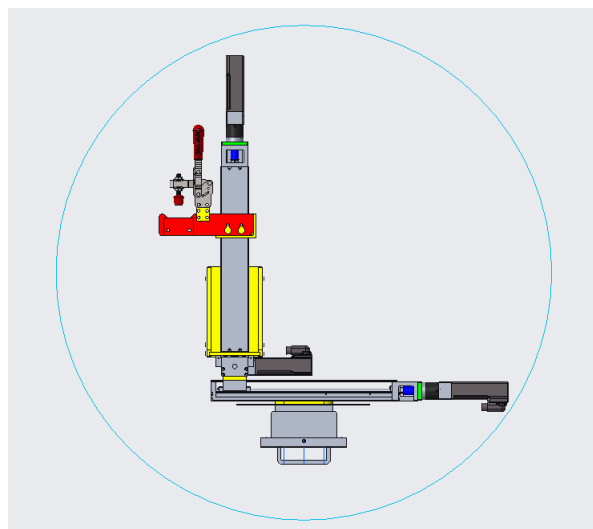


Figuur 39: MC_Reset

De uitgang *Done* wordt bij dit functieblok hoog op het moment dat de reset succesvol door de sturing uitgevoerd is. Het lampje bij de resetknop zal dan even branden als visuele controle dat de reset wel degelijk werd uitgevoerd.

4.3 De universele toren

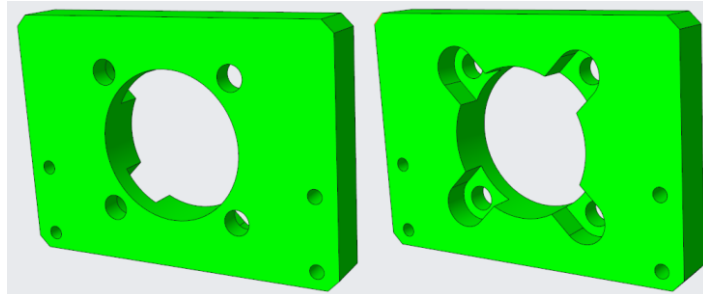
De uitwerking van zowel het mechanisch als elektrisch ontwerp is volledig afgerond wat betekent dat beide eindresultaten samengevoegd kunnen worden tot één universele toren. Hiervoor moeten de servomotoren en overbrengingen met hun lineaire modules verbonden worden. Zoals eerder vermeld, kan er gekozen worden voor een haakse- of een rechte overbrenging. Deze keuze wordt gemaakt op basis van een eis uit het eisenpakket die als volgt luidt: een volledige universele toren moet binnen een cirkel met straal 550 mm blijven waarvan het middelpunt op 300 mm ligt, gemeten vanaf de bovenkant van de balk. Figuur 40 vertaalt deze eis naar een grafische weergave.



Figuur 40: Begrenzing van inbouwgruotte

Deze afbeelding geeft grafisch zeer goed weer dat er genoeg ruimte is om voor de Y- en Z-modules om gebruik te maken van een rechte overbrenging. Dit is positief want een rechte overbrenging is goedkoper in aankoop dan een haakse overbrenging. De X-module krijgt wel een haakse overbrenging want alleen zo kan een opname met twee torens die zeer dicht bij elkaar moeten staan plaats vinden.

Om de overbrenging op de servomotor te monteren wordt gebruik gemaakt van een verbindingsflens. Normaal gezien wordt bij de aankoop van een lineaire module, op basis van de gekozen aandrijving, beslist welke flens kan worden toegepast. Maar in dit geval heeft de reductor een gatenpatroon dat met geen enkele flens uit het assortiment van Hiwin overeenstemt. Daarom moest er zelf een verbindingsflens ontworpen worden. In Figuur 41 is deze verbindingsflens weergegeven en in bijlage C is de 2D-tekening bijgevoegd.



Figuur 41: Verbindingsflens tussen de reductor en de lineaire geleiding

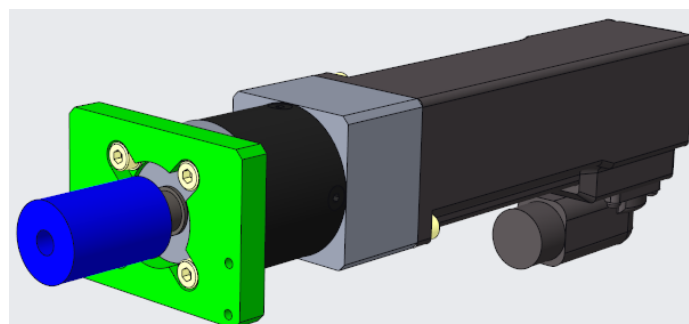
De vier doorloopgaten, die rond het middelste gat liggen, zijn 4,5 mm groot en bevinden zich op een steekcirkel met een diameter van 34 mm. Dit gatenpatroon komt overeen met dat van de reductor. Bij montage moet eerst deze bevestiging gerealiseerd worden alvorens de flens met motor en reductor aan de lineaire module gekoppeld kan worden. Deze verbinding komt tot stand met het gatenpatroon in de onderste helft van de flens. Dit patroon bestaat uit vier draadgaten met grootte M3.

Om nu de uitgaande as van de reductor met de as van de module te verbinden wordt gebruik gemaakt van een klauwkoppeling. Deze koppeling zal het diameterverschil tussen de twee assen opvangen en zorgt ook voor het opnemen van mogelijke uitlijnfouten bij montage van de aandrijving op de module. Figuur 42 geeft de gekozen koppeling weer. In het 3D-model van de universele toren wordt een vereenvoudigde weergave gebruikt (zie blauw onderdeel).



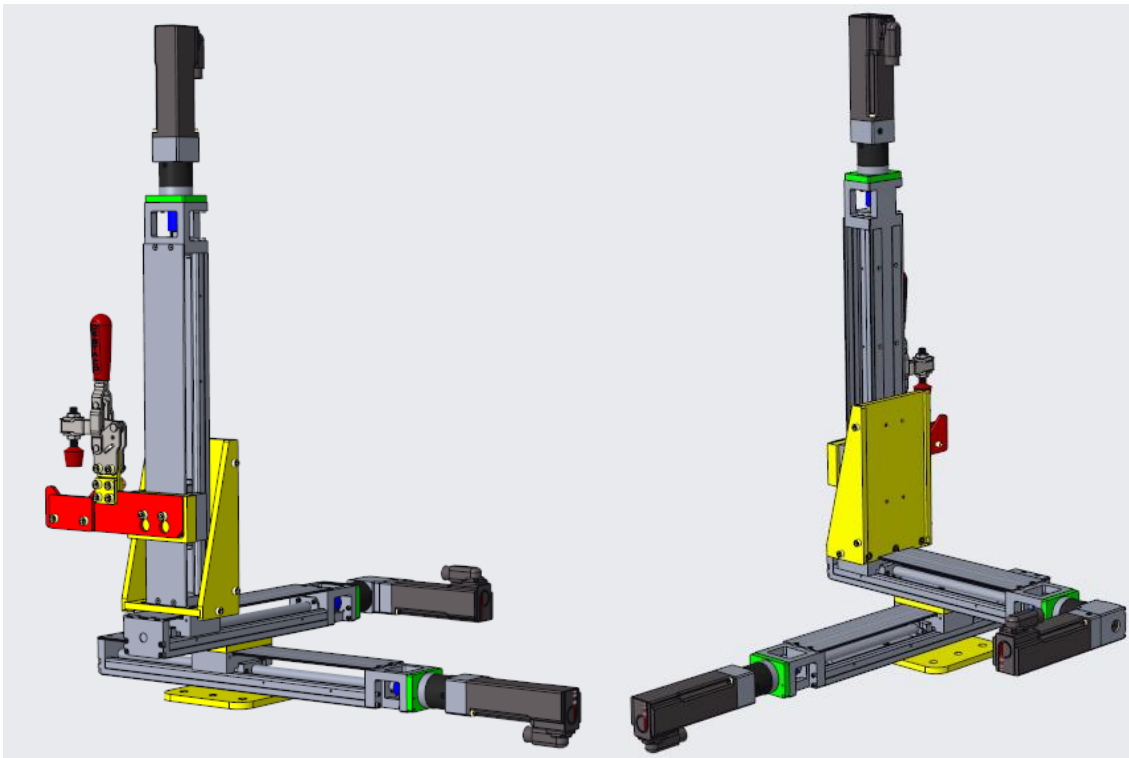
Figuur 42: Klauwkoppeling 6 - 10 mm [34]

De uiteindelijke samenbouw van een aandrijving met de motor en reductor, de bevestigingsflens en de klauwkoppeling is weergegeven in Figuur 43. Deze samenbouw is identiek voor een haakse reductor.



Figuur 43: Samenbouw aandrijving

De finale samenbouw van de aandrijving, de drie lineaire modules en een tool is weergegeven in Figuur 44.



Figuur 44: De universele toren

Het uiteindelijke gewicht van de universele toren die weergegeven is in Figuur 44 bedraagt ongeveer 15,5 kg. Dit gewicht ligt onder het geëiste gewicht van 18 kg zodat de operator nog steeds zijn werk ergonomisch kan uitvoeren. Tabel 3 geeft een overzicht weer van de massa van elke component.

Tabel 3: Gewicht universele toren

Gewicht van 1 toren

Naam onderdeel	Gewicht [kg]	Aantal
Slede 400 mm	3,300	2
Slede 300 mm	2,700	1
Motor	0,600	3
Reductie haaks	0,510	1
Reductie recht	0,350	2
Flange	0,042	3
Klauwkoppeling	0,024	3
Bevest. op balk	0,488	1
Bevest. xy	0,098	1
Bevest. xz	1,050	1
Bevest. tool	0,493	1
tool V kort	0,342	1
Bevest. klem	0,113	1
Klem	0,33	1
Totaal gewicht	15,422	

5 Koppeling tussen Creo Parametric en TwinCat 3

Om een beweging van een universele toren te kunnen realiseren op basis van de coördinaten van het CAD-model dient er een koppeling te worden gemaakt tussen het CAD-model en de PC-sturing. In dit hoofdstuk zal de totstandkoming van deze koppeling uitvoerig worden besproken.

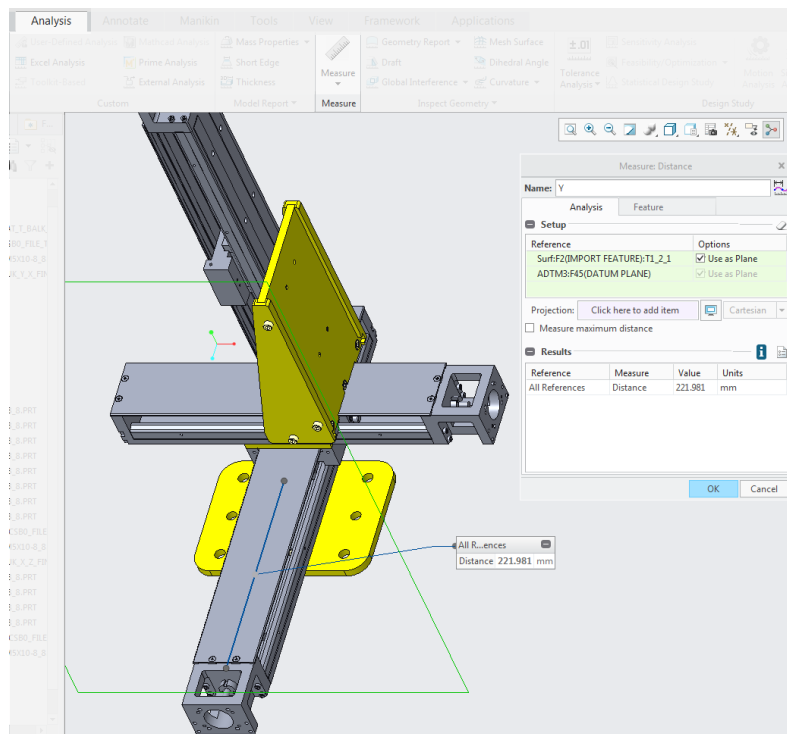
5.1 Verzamelen en exporteren van data uit Creo Parametric

Aangezien Creo Parametric een krachtig CAD-pakket is, biedt dit onder andere de mogelijkheid om op een makkelijke manier extra parameters aan een model toe te kennen en hiermee allerlei bewerkingen uit te voeren.

Alvorens er coördinaten voorhanden waren, moesten deze eerst worden aangemaakt. In Creo werd dit gerealiseerd met behulp van *analysis features*. Zo'n *analysis feature* maakt het mogelijk om tijdens manipulaties van een model bijvoorbeeld afstanden die wijzigen visueel zichtbaar te maken en deze info verder te gebruiken voor andere doeleinden. Aan de hand van onderstaand stappenplan wordt duidelijk gemaakt hoe de nodige coördinaten worden aangemaakt en vervolgens worden weggeschreven, om deze tot slot in de PC-sturing verder te gebruiken.

Stap 1: aanmaken van een *analysis feature*

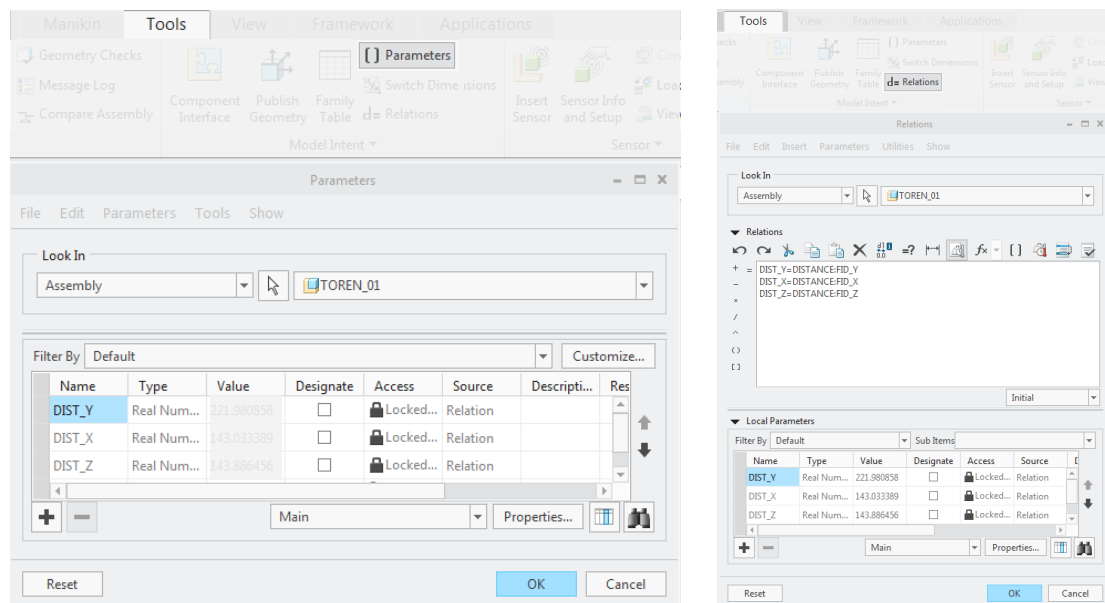
In onderstaande afbeelding is te zien hoe de uitlezing van de coördinaten voor de beweging van de toren in de Y-richting, met behulp van een *analysis feature*, tot stand komt. De *analysis feature* wordt aangemaakt via *Measure distance* in het tabblad *Analysis*. Hierbij moeten er twee vlakken worden geselecteerd waarmee een variabele afstand wordt aangemaakt die instaat voor de positiebepaling in de Y-richting. De *analysis features* voor een toren hebben X, Y en Z als naam.



Figuur 45: Aanmaken *analysis feature*

Stap 2: verzamelen van data

Om de data, die wordt bekomen met de *analysis features*, te kunnen gebruiken zijn er bijkomend nog enkele parameters nodig. Aan deze parameters worden de coördinaten van de lineaire modules meegegeven. Het gebruik van parameters laat toe om op een eenvoudige wijze bekomen data verder te gebruiken. Figuur 46 toont een beeld van hoe de nodige parameters voor een toren worden aangemaakt en gekoppeld aan de *analysis features*. Via *Parameters* in het tabblad *Tools* worden de nodige parameters aangemaakt. Deze zijn voor een toren TOREN_ID, DIST_Y, DIST_X en DIST_Z. Vervolgens wordt via *Relations* in het tabblad *Tools* de parameters DIST_Y, DIST_X en DIST_Z aan een *analysis feature* gekoppeld.

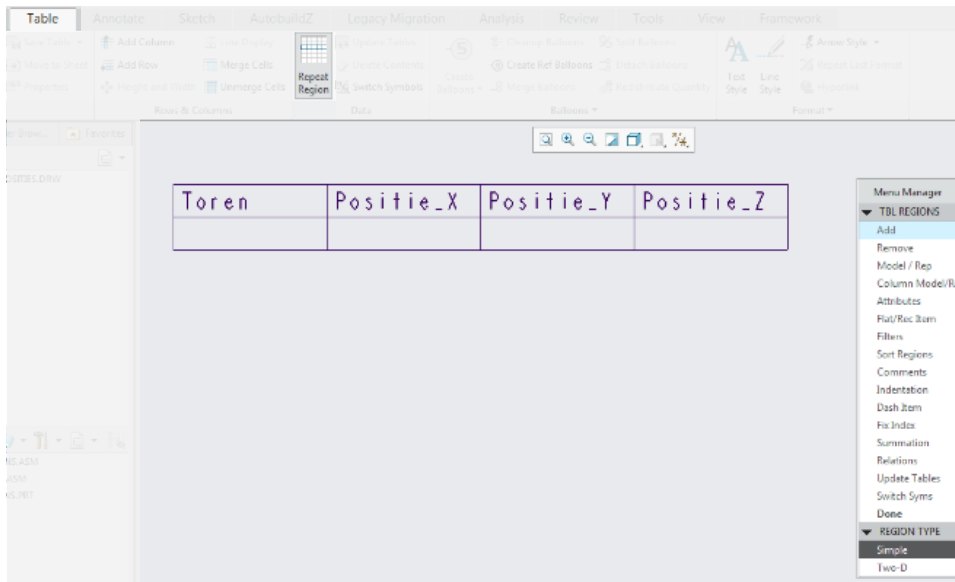


Figuur 46: Aanmaken parameters en verzamelen van data

Voor één toren staat de bruikbare data mooi verzameld in de lijst van de parameters en kan deze van hieruit worden geëxporteerd. Echter, deze manier van werken is niet zo eenvoudig wanneer er met meerdere torens tezamen wordt gewerkt. Dit zal zeker en vast het geval zijn bij een lasmal die is opgebouwd uit meerdere universele torens. Om de data, met andere woorden alle coördinaten, van deze torens te kunnen verzamelen zodat deze data in één keer kan worden geëxporteerd, is er gebruik gemaakt van een aparte tabel. Om alle data in éénzelfde tabel te verzamelen, wordt er van de samenstelling waarin de torens zijn gebruikt een 2D-tekening gemaakt waarin enkel de tabel met de data wordt weergegeven.

Met behulp van de reeds eerder aangemaakte parameters kan de tabel op een eenvoudige manier worden aangemaakt en ingevuld. Voor het aanmaken van de tabel worden vier rijen en twee kolommen geselecteerd, zo kan in de eerste rij info worden meegegeven over hetgeen in iedere kolom terug te vinden is. De tweede rij wordt gebruikt voor het automatisch uitbreiden en invullen van de tabel. Met behulp van de functie *Add* binnen de tab *Repeat Region* worden de vakjes van een rij aan elkaar gelinkt (zie Figuur 47). Hierdoor worden, bij het selecteren van een gebruikte toren, de juiste parameters meegegeven en wordt de tabel automatisch uitgebreid en ingevuld met deze parameters.

Om de inhoud van de parameters te kunnen weergeven in de tabel moeten deze worden opgeroepen met *asm.mbr.User Defined*. Dit wordt bekomen door te dubbelklikken op een leeg vakje en vervolgens *asm, mbr* en *User Defined* te selecteren. Na het selecteren van *User Defined* wordt er gevraagd om iets in te geven, in dit geval moet hier een parameter worden ingevuld. Voor het weergeven van de torens wordt *toren_id* ingegeven en voor de daarbij horende coördinaten respectievelijk *dist_x*, *dist_y* en *dist_z*. (zie Figuur 48). Wanneer tot slot op *Update Tables* wordt geklikt verschijnt de vervolledigde tabel die gebruikt zal worden voor het exporteren van de data (zie Figuur 49).



Figuur 47: Aanmaken van een tabel

Toren	Positie_X	Positie_Y	Positie_Z
asm.mbr.toren_id		asm.mbr.dist_y	

Figuur 48: Ingeven van de parameters

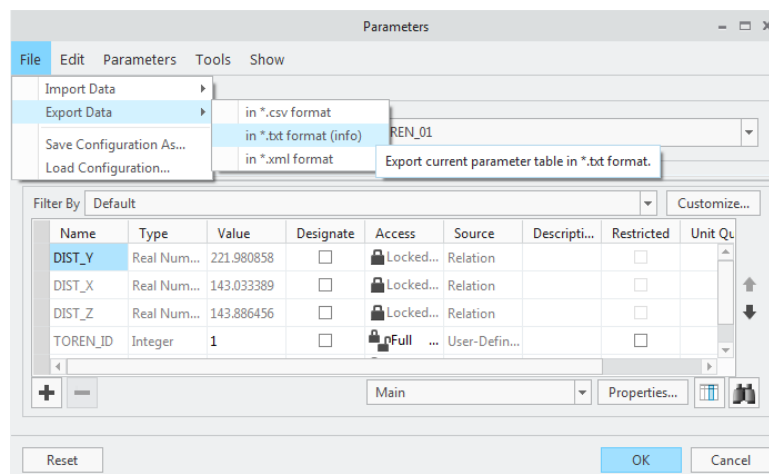
Toren	Positie_X	Positie_Y	Positie_Z
1	143,033	221,981	143,886
2	65,508	230,001	188,000
3	100,499	101,463	44,121

Figuur 49: Weergeven van de parameters

Stap 3: exporteren van data

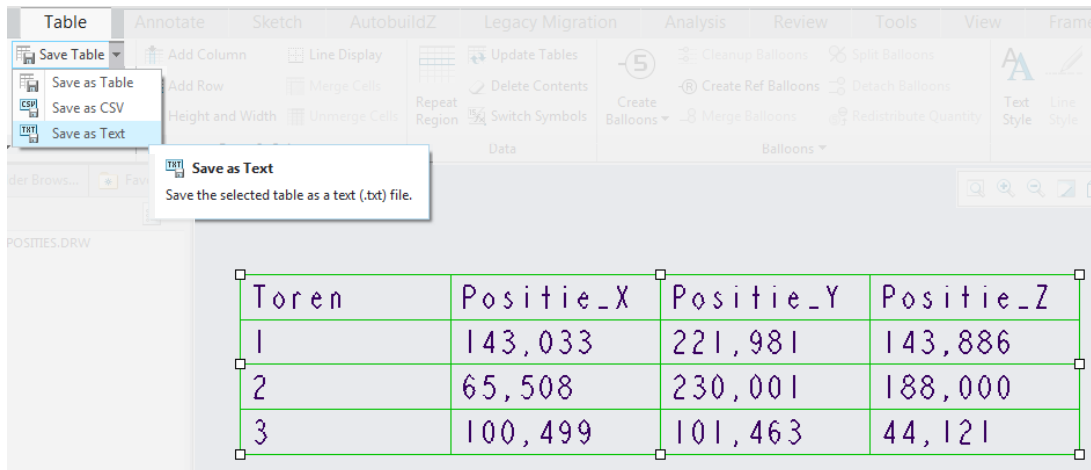
Zoals hierboven reeds werd vermeld verloopt het bekomen van data voor meerdere torens tegelijk ietsje anders dan voor één enkele toren. Dit heeft als gevolg dat het exporteren van de data voor beide situaties verschillend is, maar even gemakkelijk. Omdat het merendeel van programmeersoftware toelaat .txt- of .csv-bestanden in te lezen of iets in deze bestandsformaten weg te schrijven wordt de data weggeschreven in een .txt-bestand. Onderstaande afbeeldingen geven telkens weer hoe dit wordt gedaan voor één toren en voor meerdere torens tezamen.

Voor één toren gebeurt dit als volgt:



Figuur 50: Exporteren data van één toren

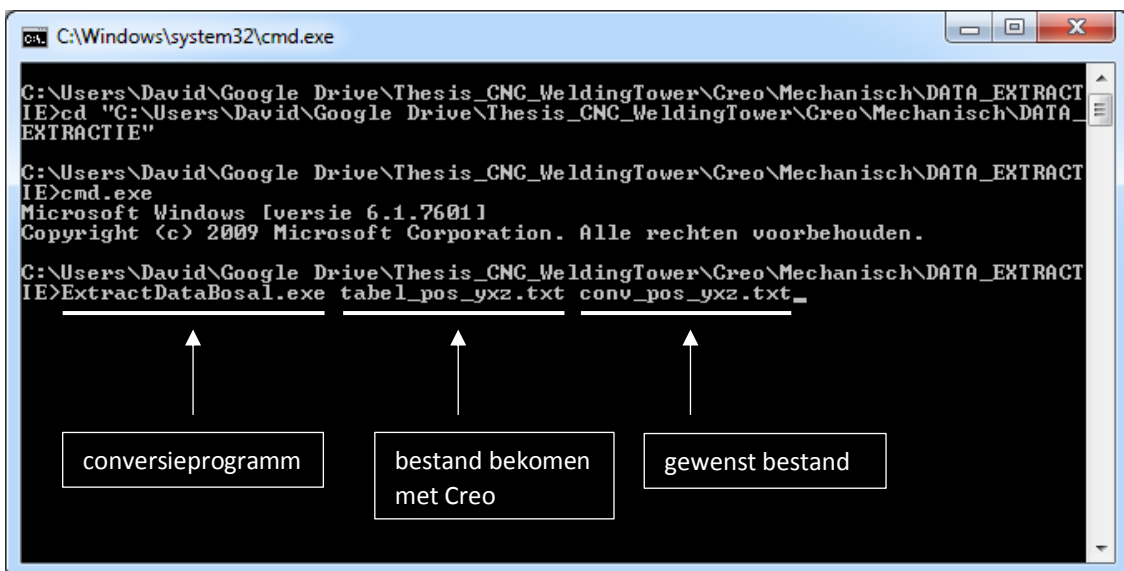
Voor meerdere torens tezamen gebeurt dit als volgt:



Figuur 51: Exporteren data van meerdere torens tezamen

Stap 4: conversie naar handelbaar bestand

Aangezien het tekstformaat van de .txt-bestanden die Creo aanmaakt Unicode is, is er bijkomend nog een klein programmaatje nodig om dit tekstformaat om te zetten naar het tekstformaat dat TwinCat 3 hanteert. Daar onze kennis van programmeren niet breed genoeg is heeft onze interne promotor een handje geholpen bij het maken van een conversie-programmaatje. Bij het uitvoeren van het programma in het *Command Prompt* wordt er gevraagd twee .txt-bestanden in te geven. Het eerste bestand is het bestand wat met Creo is aangemaakt, het tweede is het gewenste bestand waar de data in het aangepaste tekstformaat naartoe wordt geschreven. Wanneer er op enter wordt gedrukt zal de conversie worden uitgevoerd en kan vervolgens het nieuwe bestand zonder problemen worden ingeladen in TwinCat 3.



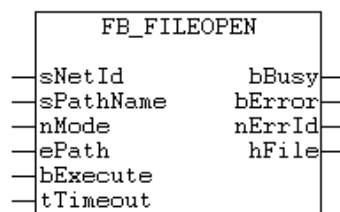
Figuur 52: Uitvoeren conversieprogramma

5.2 Inladen van data binnen TwinCat 3

De X-, Y- en Z-coördinaten, afkomstig van het CAD-model van de universele toren, kunnen nu met behulp van de *analysis features* uit een *assembly* gehaald worden. Daarna worden ze weggeschreven naar het juiste bestandsformaat en vervolgens bewerkt zodat de coördinaten gebruikt kunnen worden binnen TwinCat. De verdere verwerking van dit bewerkte tekstbestand, met behulp van het extra programmaatje besproken in paragraaf 5.1, wordt in dit hoofdstuk verder behandeld.

TwinCat laat toe heel eenvoudig uitbreidingen van reeds bestaande programma's uit te voeren. Het eerder beschreven programma in 4.2.3 werd gewijzigd zodat nu coördinaten voor één universele toren, afkomstig van het tekstbestand, automatisch uitgelezen worden en gebruikt worden voor de aansturing van de assen.

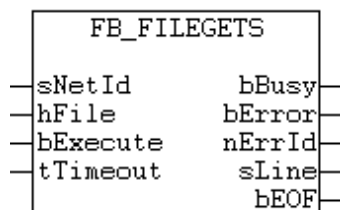
Om dit programmatorisch te verwezenlijken wordt gebruik gemaakt van standaard functieblokken binnen TwinCat. Om het tekstbestand te lezen moet het bestand vanzelfsprekend eerst geopend worden. Dit wordt gedaan met het functieblok "FB_FileOpen". Figuur 53 geeft het blok weer.



Figuur 53: Functieblok "File open" [35]

Voor het offline testen van het PLC-programma wordt bij "NetId" het IP-adres van de computer waar het programma opstaat ingegeven. In productieomgeving moet dit dus gewijzigd worden. Bij "sPathName" wordt de bestandslocatie ingegeven waar TwinCat het bestand dat gelezen moet worden kan terugvinden. De "nMode" laat de gebruiker toe om te beslissen hoe het functieblok het bestand moet openen. De parameter "bExecute" zal gekoppeld worden aan een variabele zodat bij het hoog worden van deze variabele het functieblok geactiveerd wordt.

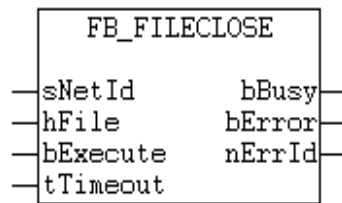
Als het bestand open is kan het gelezen worden. Tijdens het lezen wordt elke rij van het bestand volledig gelezen en weggeschreven in een variabele die bestaat uit een array van *strings*. Dit lezen en wegschrijven doet het functieblok "FB_FileGets". Figuur 54 geeft het blok weer.



Figuur 54: Functieblok "File gets" [36]

Net zoals bij "FB_FileOpen" is het "NetId" het IP-adres van de computer en zal aan "bExecute" een parameter gekoppeld worden die dit functieblok activeert. Bijkomend wordt nog de "hFile" ingevuld. Dit is een soort van identificatie die meegegeven wordt aan dit blok om te weten welk bestand verwerkt moet worden.

Eenmaal alle info gelezen en weggeschreven is, kan het bestand weer gesloten worden. Dit wordt gedaan met het functieblok “FB_FileClose”. Figuur 55 geeft dit blok weer.



Figuur 55: Functieblok “File close” [37]

Voor dit functieblok moeten juist dezelfde parameters ingevuld worden als bij “FB_FileGets”. Binnen de softwareomgeving van TwinCat zien de drie functieblokken, die voor één universele toren geprogrammeerd werden, er als volgt uit (zie Figuur 56).

```

62 fbFileOpen(
63   sNetId      := '192.168.56.1.1.1',
64   sPathName  := 'C:\Users\david\Documents\Master elektromechanica Unasselt\Masterproef\MapstructuurDrive\Beckhoff_Twincat\Software\test.txt',
65   nMode      := FOPEN_MODEREAD OR FOPEN_MODEBINARY,
66   ePath      := PATH_GENERIC,
67   tTimeout   := T#1S,
68 );
69
70 fbFileGets(
71   sNetId      := '192.168.56.1.1.1',
72   hFile       := fbFileOpen.hFile,
73   tTimeout    := T#1S,
74 );
75
76 fbFileClose(
77   sNetId      := '192.168.56.1.1.1',
78   hFile       := fbFileOpen.hFile,
79   tTimeout    := T#1S,
80 );

```

Figuur 56: Functieblokken “File open”, “File gets” en “File close”

Zoals daarnet vermeld, wordt elke rij van het tekstbestand weggeschreven in één variabele in dit geval genaamd “sTextLine”. Deze is gedefinieerd als een matrix van “karakters” die dus zowel letters als cijfers bezit (zie Figuur 57).

```
sTextLine : ARRAY [1..iMaxArray] OF T_MaxString;
```

Figuur 57: Variabele voor wegschrijven van rijen tekst

Een hele rij van “karakters” is niet wat naar de aandrijvingen van de assen van de universele toren gestuurd moet worden. Wat wel doorgestuurd moet worden zijn alleen de coördinaten die zich op een bepaalde plaats in elke rij bevinden. Dit filteren kan geprogrammeerd worden via een extra stukje code binnen TwinCat, zodat elke coördinaat uit elke rij gehaald kan worden. Onderstaande Figuur 58 geeft de code daarvan weer met ook een voorbeeld van het te lezen tekstbestand voor één universele toren.

```

Name,Type,Value,Designate,Access,Source,Description,Restricted,Unit Quantity,Unit
DIST_Y,Real Number,150.003545,No,Locked,Relation,,,,,
DIST_X,Real Number,10.4500000,No,Locked,Relation,,,,,
DIST_Z,Real Number,150.0000000,No,Locked,Relation,,,,,

```

```

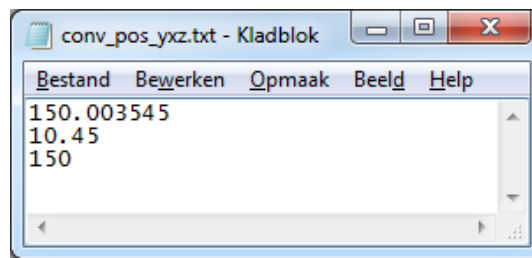
FOR i:=1 TO iMaxArray DO
  rPositions[i] := STRING_TO_LREAL( Mid [i] sTextLine[i], 10, 20 );
END_FOR

```

Figuur 58: Uitlezen coördinaten

Van elke rij worden alleen maar tien karakters vanaf positie twintig uitgelezen en opgeslagen in de variabele “rPosition[i]”. Doordat het bestand drie rijen bezit zal de eerste variabele “rPosition[1]” de coördinaat van de X-as, “rPosition[2]” de coördinaat van de Y-as en “rPosition[3]” de coördinaat van de Z-as zijn.

In stap vier van paragraaf 5.1 staat reeds vermeld dat een extra conversieprogramma nodig was. Dit programma gaat naast het converteren van het tekstformaat ook rechtstreeks alle coördinaten uit elke rij filteren en in een nieuw bestand opslaan. Hierdoor moet alleen nog maar de positie van “waar” gelezen moet worden in elke rij wijzigen van positie twintig naar positie één. Figuur 59 geeft het nieuwe in te lezen tekstbestand van één universele toren weer en de bijbehorende code.

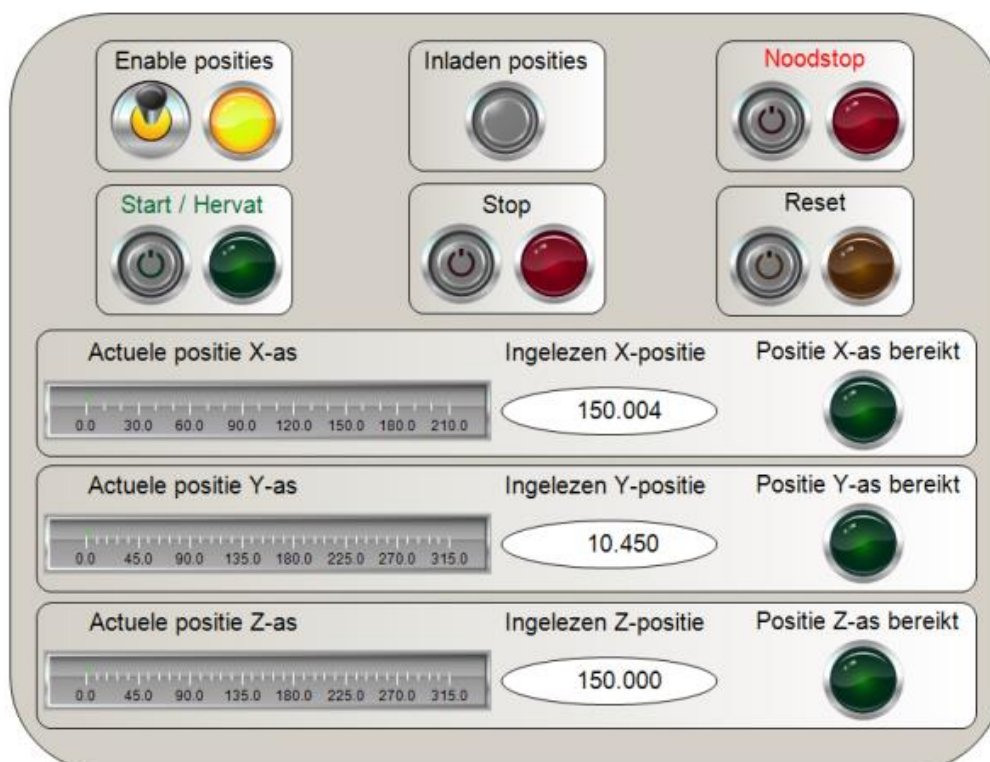


```
FOR i:=1 TO iMaxArray DO
  rPositions[i] := STRING_TO_LREAL( Mid ( sTextLine[i], 10, 1));
END_FOR
```

Figuur 59: Nieuw formaat tekstbestand en code

Wat er nu nog rest is het toekennen van de variabelen “rPosition[1], [2] en [3]” aan de functieblokken MC_MoveAbsolute zodat de X-, Y- en Z-as met deze coördinaten gestuurd kunnen worden. Belangrijk om te melden is dat tijdens het gebruik van het programma het tekstbestand gewijzigd mag worden. Zo kunnen nieuwe coördinaten ingeladen worden zonder telkens het programma te onderbreken. Er moet alleen nog op de knop “inladen posities” geklikt worden bij het willen uitlezen van coördinaten uit het geconverteerde bestand.

Om de ingelezen coördinaten door te lussen naar tekstvakken in de interface van de sturing moet enkel de variabele van het tekstvak wijzigen naar de naam van de weer te geven variabele. Het resultaat is weergegeven in Figuur 60. De werking van deze interface is onveranderd ten opzichte van de reeds eerder besproken interface met een sturing voor één as. Meer info omtrent deze werking kan teruggevonden worden in paragraaf 4.2.3.

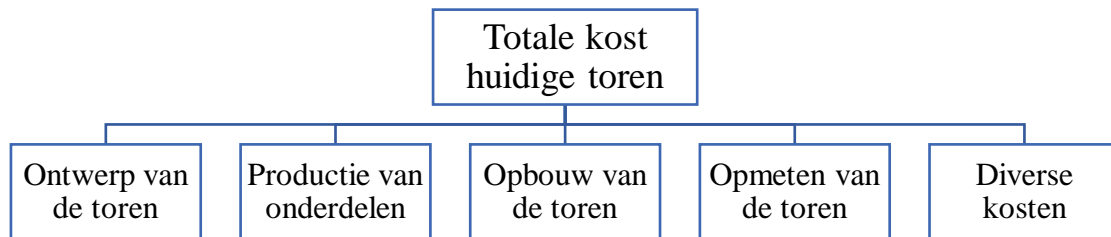


Figuur 60: Interface voor aansturing X-, Y- en Z-as

6 Kosten-batenanalyse

Het ontwerp van de universele toren is volledig afgewerkt waardoor er met behulp van de prijsoffertes van de verschillende onderdelen een kosten-batenanalyse kan worden uitgevoerd. Deze analyse wordt vervolgens aangewend om na te gaan of de nieuwe universele lasmal een rendabele investering is of niet. Om deze afweging te maken moeten eerst de kostprijzen van een huidige toren en die van een universele toren geanalyseerd worden.

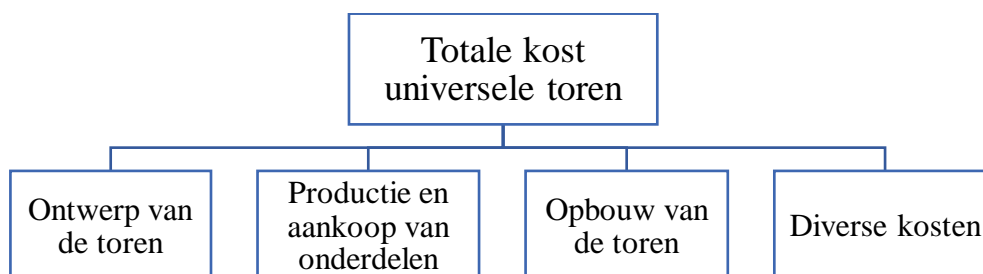
De huidige totaalcost van een statisch en unieke toren varieert tussen de 1 500 en 2 200 euro. De prijs zal afhangen van de complexiteit van de toren. Figuur 61 geeft een overzicht van de verschillende kosten.



Figuur 61: Overzicht kosten huidige toren

De grootste kost is het ontwerpen, dimensioneren en uittekenen van een toren aangezien de toren op maat van de ondersteuning wordt gemaakt en dit arbeidsintensief is. Deze kost bedraagt ongeveer 800 euro. Daarnaast bedraagt de productiekost van de ontworpen onderdelen ongeveer 300 euro en de assemblagekost van deze onderdelen ongeveer 200 euro. De kost voor het controleren of de toren voldoet aan de ontworpen specificaties bedraagt ongeveer 300 euro. De diverse kosten zijn een verzameling van verschillende kleine kosten zoals administratiekosten, de kostprijs van een klem voor op de toren enz. Dit bedraagt ongeveer 200 euro.

De kosten voor de universele toren zijn gelijkaardig aan deze van een statische toren maar doordat een universele toren uit lineaire modules bestaat, die zeer nauwkeurig bewegen, is het nameten van de toren niet meer nodig. Ook zal de kost van het ontwerpen van de toren niet meer de grootste zijn maar wel de kost voor de productie en aankoop van de onderdelen. De ontwerper moet nu namelijk geen toren meer op maat maken aangezien hij reeds het 3D-model van de universele toren heeft en daarmee direct de ondersteuning en inklemming kan voorzien wat zorgt voor de daling van de arbeidskost. Daarnaast zal de kostprijs van de lineaire modules met hun bijbehorende aandrijvingen duurder zijn in vergelijking met de kostprijs van het ontwerpen, wat ook een verschuiving van kosten verklaart. Figuur 62 geeft de kostenverdeling weer voor een universele toren.



Figuur 62: Overzicht kosten universele toren

De universele toren zal een totale kostprijs hebben van 10 319,27 euro. Dit betekent dat er niet wordt voldaan aan de eis om een universele toren te ontwerpen voor minder dan 8 000 euro. Tabel 4 geeft een opsomming weer van alle componenten en hun kostprijs. De prijsofferten van de componenten die weergegeven zijn in onderstaande tabel zijn bijgevoegd in bijlage E.

Tabel 4: Totale kostprijs universele toren

Kostprijs universele toren		
Mechanisch:		
Incl. BTW	-aankoopdelen	€ 4 156,70
	-maakdelen	€ 1 200,00
	Tussentotaal:	€ 5 356,70
Elektrisch:		
Excl. BTW	-servomotoren	€ 1 683,00
	-reductoren	€ 630,00
	-aansturing	€ 1 500,00
	-kabels, klemmen,...	€ 288,30
Incl. BTW	Tussentotaal:	€ 4 962,57
	Totaal:	€ 10 319,27

Om de totale kostprijs van een huidige lasmal met statische torens te vergelijken met een lasmal met universele torens wordt gekeken wat de kost voor beide bedraagt op één jaar. Als gemiddeld vier lasmallen per jaar opgebouwd worden en een lasmal tien torens bezit, dan zullen er 40 torens gemaakt worden. Wordt daarnaast een gemiddelde prijs van 2 000 euro per toren aangenomen dan kosten de vier lasmallen in totaal 80 000 euro.

Deze berekening kan ook gedaan worden voor een lasmal met tien universele torens. Maar omdat de sturing voor elke toren dezelfde is, moet de kost van 1 788,30 euro maar een keer geteld worden. Tabel 5 geeft de aankoopprijs weer voor elke toren die bovenop de eerste toren wordt aangekocht.

Tabel 5: Totale kost voor een extra universele toren

Kostprijs tweede universele toren		
Mechanisch:		
Incl. BTW	-aankoopdelen	€ 4 156,70
	-maakdelen	€ 1 200,00
	Tussentotaal:	€ 5 356,70
Elektrisch:		
Excl. BTW	-servomotoren	€ 1 683,00
	-reductoren	€ 630,00
Incl. BTW	Tussentotaal:	€ 2 798,73
	Totaal:	€ 8 155,43

De totale kostprijs voor vier lasmallen met tien universele torens bedraagt dan:

$$10\,319,27 + 9 \cdot 8\,155,43 = 83\,718,14 \text{ euro}$$

Bij dit bedrag werd er geen rekening gehouden met een eventuele volumekorting die door de fabrikanten van de onderdelen soms gegeven wordt. Stel dat zowel de leverancier van de lineaire modules als van de aandrijvingen een korting van 15 % geven op het eindbedrag dan wordt onderstaand resultaat verkregen (zie Tabel 6).

Tabel 6: Kostprijs tien universele torens

Kostprijs tien universele torens			
Mechanisch:			# orders:
Incl. BTW	-aankoopdelen	€ 4 156,70	9
	Eindbedrag op offerte	€ 37 410,30	
	Met volumekorting 15%	€ 31 798,76	
	-maakdelen	€ 1 200,00	9
	Eindbedrag op offerte	€ 10 800,00	
	Tussentotaal:	€ 42 598,76	
Elektrisch:			# orders:
Excl. BTW	-servomotoren	€ 1 683,00	9
	-reductoren	€ 630,00	9
	Eindbedrag op offerte	€ 20 817,00	
	Met volumekorting 15%	€ 17 694,45	
Incl. BTW	Tussentotaal:	€ 21 410,28	
	Prijs één toren	€ 10 319,27	
	Totaal:	€ 74 328,31	

Er kan dus besloten worden dat een investering in tien universele torens met een totaalbedrag van 74 328,31 euro op iets minder dan een jaar terugverdiend kan worden. Dit wil zeggen dat, na het eerste jaar gebruik te hebben gemaakt van de universele torens, het jaar daarop ongeveer 80 000 euro bespaard kan worden aangezien er niet meer met een statische lasmal moet worden gewerkt.

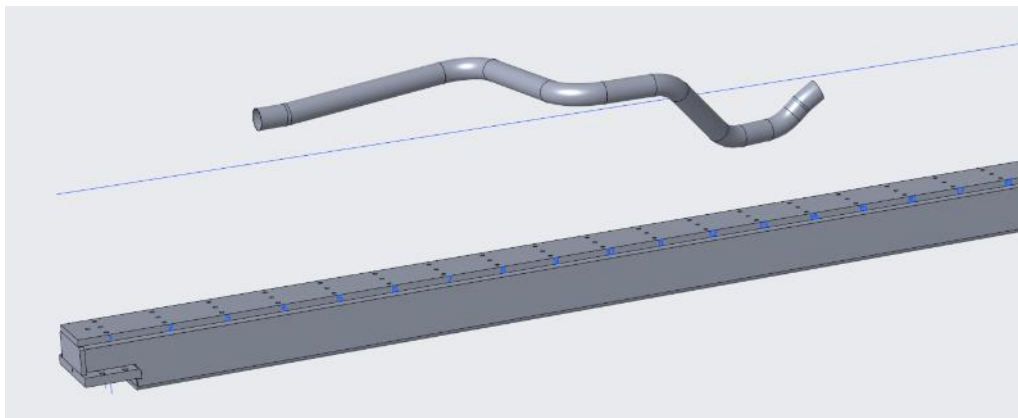
7 Implementatie

Omdat in de voorgaande hoofdstukken vooral aandacht werd geschonken aan de uitwerking van één universele toren wordt in dit hoofdstuk een toepassingsvoorbeeld uitgewerkt waarbij meerdere van deze universele torens tegelijkertijd worden gebruikt. Daar dit in de realiteit ook altijd zo zal voorkomen, mag hiervan geen voorbeeld ontbreken.

7.1 Voorbeeldopstelling van een samenwerking tussen 3 torens

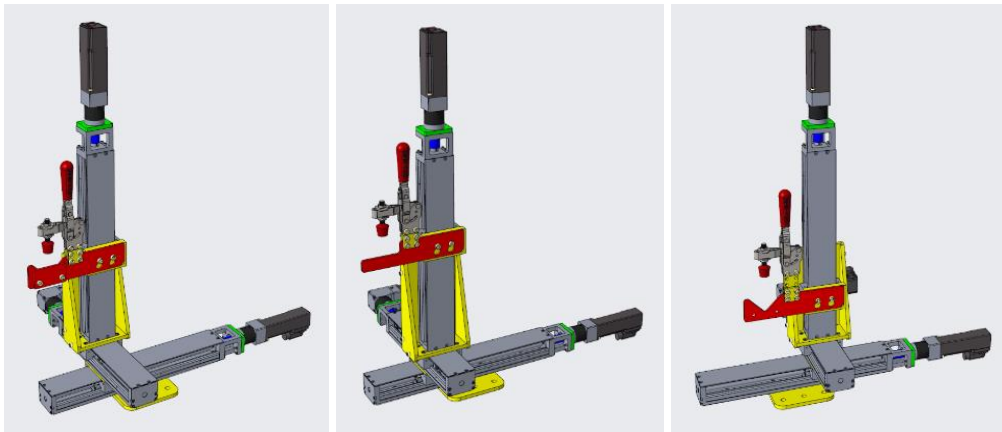
Op mechanisch vlak betekent dit dat er een samenstelling voorzien wordt waarin de nodige torens en de onderdelen van het uitlaatsysteem worden opgenomen. Daarvoor wordt vertrokken vanaf een balk waarop de verschillende torens worden gemonteerd en die uiteindelijk in de lasrobot worden geplaatst. Het aantal nodige torens voor deze opstelling kan worden bekomen door het originele CAD-model van de “eerste” universele toren te kopiëren en vervolgens te hernoemen naar bijvoorbeeld “toren_02”, “toren_03” en zo verder tot het aantal gewenste torens.

In sectie 4.1.3 werd reeds de theoretische uitleg omtrent de nodige ondersteunings- en vergrendelingspunten gegeven. Hieronder wordt het onderdeel, wat als voorbeeld bij deze theoretische uitleg werd gebruikt, verder gehanteerd. Voor het samenbouwen van de lasopstelling wordt een nieuwe assemblage aangemaakt. Daarin wordt vervolgens eerst de balk en dan het onderdeel, wat een deel van een uitlaatsysteem is, geplaatst. Dit wordt zo gedaan om ervoor te zorgen dat de balk en het onderdeel reeds worden vergrendeld in de ruimte (zie Figuur 63).

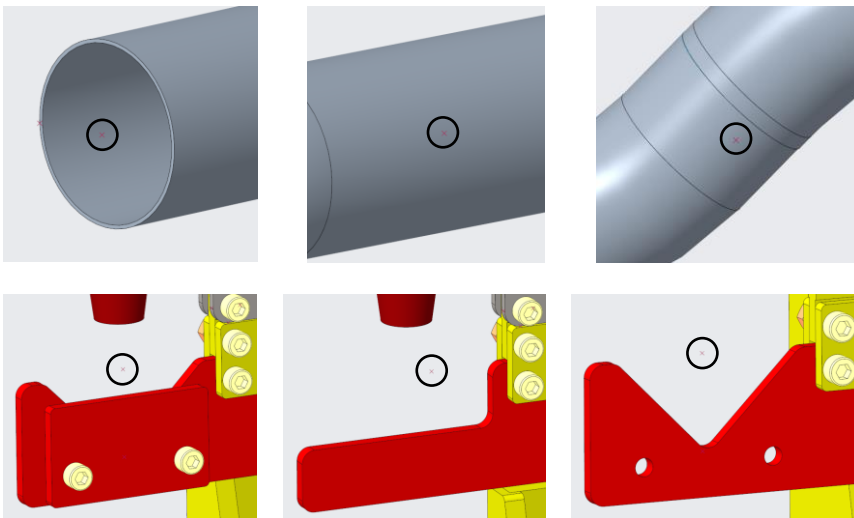


Figuur 63: balk en onderdeel uit de voorbeeldopstelling

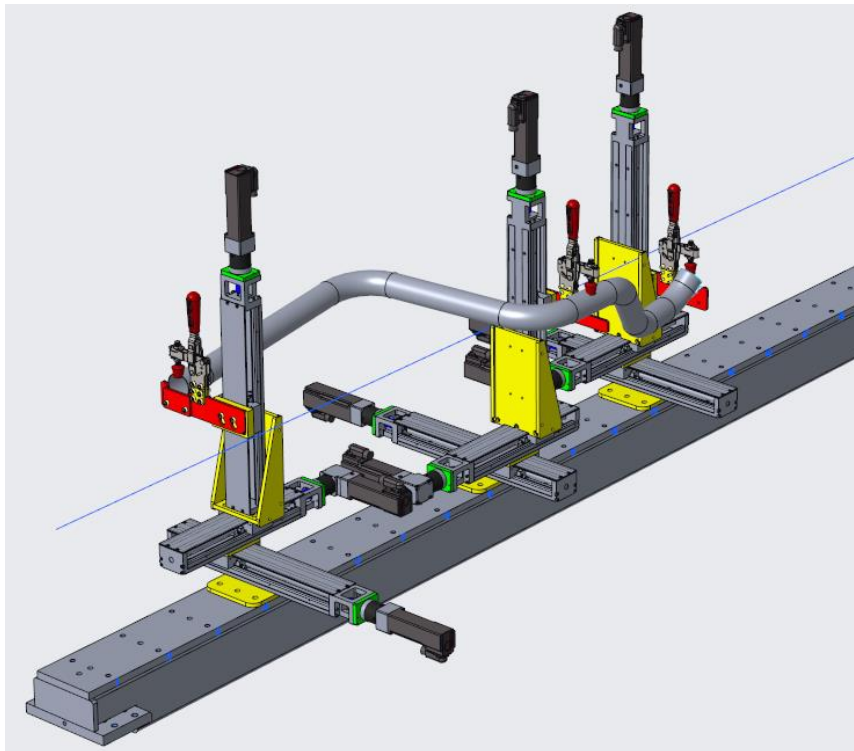
Omdat op voorhand bepaald wordt welke ondersteunings- en vergrendelingspunten nodig zijn om een onderdeel te ondersteunen, worden in de assemblages van de torens de juiste tools aangebracht (zie Figuur 64). Aangezien het de bedoeling is dat de torens een bepaalde positie innemen worden er aan de tools bepaalde punten toegekend. Voor het onderdeel dat gebruikt wordt, werden de ondersteunings- en vergrendelingspunten reeds bepaald en werden deze in het CAD-model ook voorgesteld als punten. Figuur 65 geeft een voorstelling van deze punten (omcirkeld) weer. De plaatsing van deze punten is zo gekozen dat wanneer de punten van de tool en de punten van het onderdeel in de lasopstelling op elkaar worden gelegd, de tool mooi zal aansluiten aan de vorm van het onderdeel. Hiermee zijn de ondersteunings- en vergrendelingspunten gerealiseerd en kunnen de posities van de lineaire modules worden uitgelezen. Figuur 66 geeft een totaalbeeld van de lasmal waarin een onderdeel werd opgenomen weer.



Figuur 64: de torens (in volgorde 1,2 en 3) met de nodige tools



Figuur 65: nodige punten voor onderdeel en tool



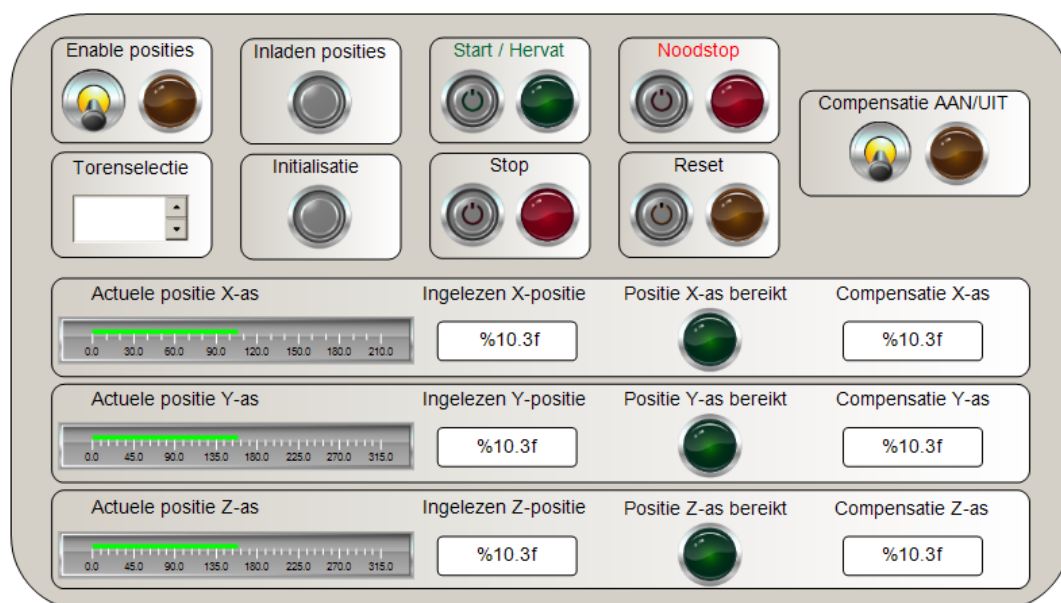
Figuur 66: gehele lasopstelling

Op elektrisch vlak houdt dit in dat er meerdere torens aangestuurd moeten worden. Bij een gelijktijdige aansturing van de torens zou dit betekenen dat de sturing moet worden uitgebreid. Echter is er een eenvoudigere manier die tevens enkele voordelen met zich meebrengt. In onderstaande paragrafen wordt dit verder toegelicht.

Aangezien de lasmal nog steeds manueel wordt opgebouwd zijn er twee mogelijkheden die zich voordoen. Enerzijds zal de operator de gewenste torens selecteren en deze aan de hand van het CAD-model van de lasopstelling op de correcte posities op de balk plaatsen. Vervolgens zal hij met behulp van de sturing de lineaire modules in beweging brengen om tot slot het ondersteunings- en vergrendelingspunt te realiseren. Hierbij is het zo dat bij deze manier van werken een belangrijk detail over het hoofd wordt gezien, namelijk: “Wat met botsingen van de torens tijdens het bewegen?”. Op dit moment wordt er nergens een te volgen baan gegenereerd waarmee op voorhand kan worden bepaald waar er precies een botsing zal optreden en zijn er geen sensoren voor een botsingsdetectie voorzien. Aangezien dit buiten het bestek van ons eisenpakket viel en er een eenvoudige manier voor het aansturen van de automatische toren moest worden voorzien, werd deze mogelijkheid tot aansturing geschrapt.

Dit brengt ons meteen bij de tweede mogelijkheid. Daarbij zal de operator nog steeds de gewenste torens selecteren en deze aan de hand van het CAD-model van de lasopstelling op de correcte posities op de balk plaatsen. Maar alvorens deze torens worden geplaatst, worden deze afzonderlijk aangestuurd om reeds het ondersteunings- en vergrendelingspunt te realiseren. Dit brengt enkele voordelen met zich mee. Zo kunnen er tijdens het opbouwen van de lasmal geen botsingen meer optreden, is het PLC-programma voor de aansturing kort en eenvoudig en is er maar één stuurmodule voor alle torens nodig wat voor een flinke reductie in kosten zorgt. Er werd dan ook voor deze mogelijkheid gekozen.

In de interface van de sturing werd er bijkomend een torenselectie en compensatie voorzien. De torenselectie maakt het mogelijk om de gewenste toren te selecteren en vervolgens aan te sturen. De compensatie laat toe, na het realiseren van het ondersteunings- en vergrendelingspunt, zeer kleine afwijkingen die mogelijks kunnen optreden te compenseren. Naar de bediening toe betekent dit dat er weinig is veranderd ten opzichte van de reeds eerder uitgewerkte interface. Het inladen van de coördinaten van de lineaire modules gebeurt nog steeds op dezelfde manier. Daarnaast wordt deze bediening ook gebruikt voor het bijwerken van de coördinaten met de compensaties. De compensaties kunnen manueel worden ingegeven in de interface. Figuur 67 geeft de uiteindelijke interface voor het aansturen van meerdere torens weer.



Figuur 67: interface voor de aansturing van meerdere torens

8 Besluit

Om de realisatie van een *proof of concept* voor een universele toren tot een goed einde te brengen werd er in eerste instantie een voorstudie uitgevoerd om te controleren of er hiervoor reeds een bestaande oplossing voorhanden was. Hieruit volgde dat er geen direct bruikbare oplossing bestond waardoor we vervolgens aan de slag zijn gegaan met het uitdenken van enkele mogelijke concepten. Het concept dat het best beantwoordde aan de vraag van Bosal bestond uit een mechanisme dat translaties in de X-, Y- en Z-richting voorziet in combinatie met een welbepaalde tool om zo een ondersteuningspunt te realiseren.

Voor de invulling van dit mechanisme werd er een marktstudie uitgevoerd om na te gaan op welke manier dit mechanisme kon worden verwezenlijkt. Als snel bleek dat hiervoor een samenbouw van lineaire modules een goede oplossing was. Op basis van een opgestelde keuzetabel waarin de meest voorkomende aandrijvingen en geleidingen van een lineaire module werden opgenomen, kon rekening houdend met de eisen van Bosal, een zo geschikt mogelijke module worden samengesteld. Dit gaf als resultaat dat een module bestaande uit een railgeleiding met kogelomloopwagentje, dat wordt aangedreven door een kogelomloopspindel het meest geschikt was. Voor de aandrijving van de lineaire modules werd gekozen voor servomotoren. De keuze hiervoor werd gestaafd door de opbouw van deze motor en de mogelijkheden die dit type motor bood.

Tijdens de ontwerpfase werd het mechanisch en elektrisch ontwerp samengevoegd tot de uiteindelijke universele toren. Om de aansturing van deze universele toren te voorzien werd een koppeling gecreëerd tussen het CAD-model en het PLC-programma. Hierdoor kon de bekomen data worden doorgespeeld naar het stuurprogramma van de industriële PC. Dit verliep niet zonder slag of stoot waardoor een extra programmaatje nodig was om een feilloze dataoverdracht te bekomen. Zo werd uiteindelijk de gewenste automatisatie van de toren voorzien. De aansturing zelf wordt voorgesteld met een simulatie-interface wat de mogelijkheid biedt om deze te visualiseren.

Om na te gaan of de uitwerking van de universele toren binnen een bepaald budget valt, werd aan de hand van een kosten-batenanalyse bekomen dat de nodige kost voor een toren iets te hoog ligt. Echter vormt dit geen groot probleem aangezien de investering snel terugverdiend is.

In het laatste deel van de thesis werd de samenwerking tussen verschillende universele torens aangetoond aan de hand van een lasopstelling. Deze opstelling geeft een goede voorstelling weer van hoe de torens in de praktijk zullen samenwerken. We kunnen hieruit besluiten dat de *proof of concept* van de universele toren eenvoudig uitgebreid kan worden en dat het wel degelijk in de realiteit kan worden toegepast.

Literatuurlijst

- [1] "www.Bosal.com," [Online]. Available: <http://www.bosal.com/>. [Accessed 2 oktober 2017].
- [2] J. Reeskens, *Welding jig manual*, Lummen, 2013.
- [3] Rollon Linear Evolution, „Lineair Line,” [Online]. Available: <http://www.rollon.com/NL/nl/producten/linear-line/>. [Geopend 07 12 2017].
- [4] IKO Innovation, Know-how & Originality, “Catalog linear motion rolling guide series,” [Online]. Available: http://www.ikont.com/catalogs/linear-motion-rolling-guide-series/red/1555_3_E_MAG.pdf. [Accessed 05 12 2017].
- [5] schiltz, „Lineaire geleiding - kogelbus - productfiche,” [Online]. Available: <https://www.schiltz.be/kogelbus-lineaire-geleiding-280-0240.html>. [Geopend 07 12 2017].
- [6] Rotolinear systems, "Linear guide ways," [Online]. Available: <http://www.rotolinearindia.com/linear-guideways.htm>. [Accessed 09 12 2017].
- [7] LM Systems, „geleidingen,” [Online]. Available: <https://lmsystems.nl/geleidingen/>. [Geopend 08 12 2017].
- [8] lineaire geleidingen, „Extra info over loopwielen, kogelbussen en profielrails,” [Online]. Available: <https://www.lineairegeleiding.nl/extra-info/>. [Geopend 05 12 2017].
- [9] mk Technology group, „mk Lineaire techniek,” [Online]. Available: <http://global.mk-group.com/nl/producten/lineaire-techniek.html>. [Geopend 05 12 2017].
- [10] D. Collins, “What are ball splines and rotary ball splines?,” lineair motion tips, 15 04 2016. [Online]. Available: <https://www.linearmotiontips.com/what-are-ball-splines/>. [Accessed 07 12 2017].
- [11] “Single Axis Robots,” HIWIN, [Online]. Available: <https://www.hiwin.com/single-axis-robots.html>. [Accessed 9 april 2018].
- [12] B. Lackey, "Servo Motor vs Stepper Motor: Which is right for your application?," Motion Solutions Inc., 24 10 2017. [Online]. Available: <https://www.motionsolutions.com/servo-motor-vs-stepper-motor-right-application/>. [Accessed 21 04 2018].
- [13] H. Gill, "Stepper Motor or Servo Motor: Which should it be?," KOLLMORGEN , Radford VA 24141 USA.
- [14] M. Burris, “Stepper Motors vs. Servo Motors - Selecting a Motor,” Lifewire, 22 02 2018. [Online]. Available: <https://www.lifewire.com/stepper-motor-vs-servo-motors-selecting-a-motor-818841>. [Accessed 21 04 2017].
- [15] Installatie & bouw, „Nieuwe thuishaven is technologisch visitekaartje,” 15 12 2015. [Online]. Available: <http://www.installatieenbouw.be/nieuwe-thuishaven-is-technologisch-visitekaartje/>. [Geopend 21 04 2018].

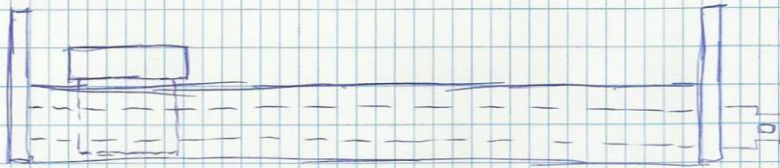
- [16] Beckhoff, "Product overview Synchronous Servomotors," [Online]. Available: https://www.beckhoff.com/english.asp?drive_technology/am_overview.htm?id=12380655691. [Accessed 21 04 2018].
- [17] Hiwin, in *Single axis robot - Technical information*, Taichung, 2016, pp. 183-190.
- [18] Beckhoff, "AM8121 | Servomotor 0.5 Nm (M0), F2 (58 mm)," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/am8121.htm. [Accessed 30 04 2018].
- [19] Beckhoff, "AM812x | Servomotor 0.5...0.8 Nm (M0), F2 (58 mm)," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/am811x.htm?id=1984295023438034. [Accessed 30 04 2018].
- [20] Beckhoff, "AG2250-+PLE60 | Planetary gear units for compact Drive Technology," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/ag2250_ple60.htm. [Accessed 30 04 2018].
- [21] Beckhoff, "Documentation AG2250," Verl, 2017, pp. 21, 23, 31, 33.
- [22] Beckhoff, "AG2250-+WPLE60 | Angled planetary gear units for compact Drive Technology," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/ag2250_wple60.htm?id=2040010020305442. [Accessed 30 04 2018].
- [23] Beckhoff, "AM8111 | Servomotor 0.20 Nm (M0), F1 (40 mm)," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/am8111.htm. [Accessed 2 05 2018].
- [24] Beckhoff, "AM811x | Servomotor 0.20...0.52 Nm (M0), F1 (40 mm)," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/am811x.htm?id=1984295023438034. [Accessed 2 05 2018].
- [25] Beckhoff, "AG2250-+PLE40 | Planetary gear units for compact Drive Technology," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/ag2250_ple40.htm. [Accessed 2 05 2018].
- [26] Beckhoff, "AG2250-+WPLE40 | Angled planetary gear units for compact Drive Technology," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?drive_technology/ag2250_wple40.htm?id=2040010020305438. [Accessed 2 05 2018].
- [27] Beckhoff, "CX9020 | Basic CPU module," [Online]. Available: https://www.beckhoff.com/english.asp?embedded_pc/cx9020.htm. [Accessed 2 05 2018].
- [28] Beckhoff, "EL7211-0010 | Servomotor terminal for OCT, 50 V DC, 4.5 ARMS," [Online]. Available: https://www.beckhoff.be/english.asp?ethercat/el7211_0010.htm. [Accessed 2 05 2018].
- [29] Beckhoff, "MC_Power," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/36028797089013387.html&id=. [Accessed 5 05 2018].

- [30] Beckhoff, "MC_MoveAbsolute," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/27021597834317707.html&id=. [Accessed 5 05 2018].
- [31] Beckhoff, "MC_Halt," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/36028797089070987.html&id=4471742788717251015. [Accessed 5 05 2018].
- [32] Beckhoff, "MC_Stop," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/45035996343813515.html&id=7185542268581141649. [Accessed 5 05 2018].
- [33] Beckhoff, "MC_Reset," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/36028797089014923.html&id=. [Accessed 5 05 2018].
- [34] Stepperonline, „6mm - 10mm Flexibele Klauwkoppeling," [Online]. Available: <https://www.omc-stepperonline.com/nl/shaft-coupling/6mm-10mm-flexibele-klauwkoppeling-20x30mm-cnc-stappenmotor-as-koppeling.html?mfp=185-id-mm%5B6%20-%2010%5D>. [Geopend 22 03 2018].
- [35] Beckhoff, "FUNCTION_BLOCK FB_FileOpen," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibsystem/html/tcplclib_sys_fb_fileopen.htm&id=7246823016298103882. [Accessed 20 04 2018].
- [36] Beckhoff, "FUNCTION_BLOCK FB_FileGets," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibsystem/html/tcplclib_sys_fb_filegets.htm&id=602638552191313358. [Accessed 20 04 2018].
- [37] Beckhoff, "FUNCTION_BLOCK FB_FileClose," [Online]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibsystem/html/tcplclib_sys_fb_fileclose.htm&id=2993746067320719589. [Accessed 20 04 2018].

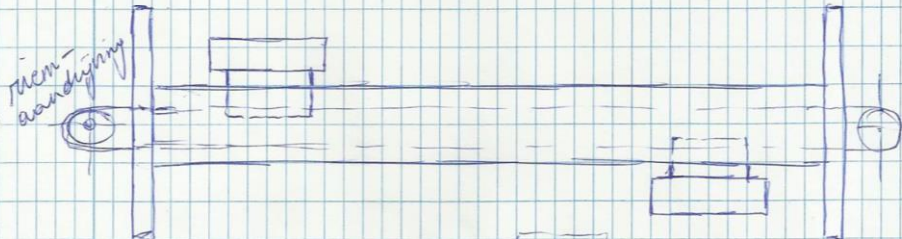
Bijlagen

Bijlage A: Schetsen van de eerste ideeën	74
Bijlage B: Prijsofferten lineaire modules	76
Bijlage C: 2D-tekeningen mechanisch ontwerp	80
Bijlage D: Berekening koppel voor aandrijving lineaire modules	87
Bijlage E: Prijsofferten componenten Beckhoff	89
Bijlage F: Datasheets componenten Beckhoff	92

vast onderstel & enkel magentje bewegen.



Dubbel magentje → bewegend onderstel / frame (halvering afmeting naar zijde buik)







Bijlage B: Prijsofferten lineaire modules

FESTO

FESTO

Klantnummer	Leveranciersnr.	Uw referentie	Offerte nummer	Datum	Pagina
15012156		Lineaire geleidingen	2151013320	04.12.2017	2 van 3

Type/Omschrijving	Artikelnummer	Eenheidsprijs EUR	Aantal Stuks/meter	Totaalprijs EUR
<p>spindelass *</p>  <p>Positie 10 EGC-70-350-BS-10P-KF-0H-ML-GK met kogelomloopgeleiding Linear axis EGC 70 70 Stroke mm 350 Ball screw BS 10 10P Recirculating ball bearing guide KF Stroke reserve 0H 0H Motor at left ML Standard slide GK</p> <p>Aantal weken: 5</p> <p>* Klik op het CAD-symbool voor uw specifieke configuratie</p>	556807	1.271,99	1	1.271,99
<p>elektroslede *</p>  <p>Positie 20 EGSP-33-300-6P met kogelomloopgeleiding Electric slide drive with caged ball chain EGSP 33 33 Stroke mm 300 6 mm 6P</p> <p>Aantal weken: 18</p> <p>* Klik op het CAD-symbool voor uw specifieke configuratie</p>	562756	1.424,57	1	1.424,57
<p>afdekkingskit</p>  <p>Positie 30 EASC-S1-33-300 voor afdekken van het naar boven geopende asprofiel.</p> <p>Aantal weken: 1</p> <p>* Klik op het CAD-symbool voor uw specifieke configuratie</p>	562720	105,52	1	105,52
<p>tandriemas *</p>  <p>Positie 40 EGC-50-330-TB-KF-0H-GK met kogelomloopgeleiding Linear axis EGC 50 50 Stroke mm 330 Toothed belt TB Recirculating ball bearing guide KF Stroke reserve 0H 0H Standard slide GK</p> <p>Aantal weken: 4</p> <p>* Klik op het CAD-symbool voor uw specifieke configuratie</p>	556812	806,59	1	806,59
Bedrag exclusief BTW		EUR		3.608,67

Vansichen Lineairtechniek bvba
Herkenrodesingel 4 bus 3
3500 Hasselt
+32 (0)11 37 79 63
+32 (0)11 37 54 34
vansichen@vansichen.be
www.vansichen.be
BE 0872.221.921



Offerte
VOF 2017004792

Bosal Emission Control Systems NV

Dellestraat 20
BE-3560 LUMMEN
BELGIUM

Contactpersoon: Reeskens Jos

Tel.: 013-530848

Buitendienst verantw. : Yves Vandeweert

BTW : BE0431440855 | Klantnummer : 484 | Offerte datum : 30/11/2017 | Uw referentie : EMAIL DD. 28/11/2017

Pos.	Productreferenties	Aantal	Eenheidsprijs	Totaal
1	HIWALG	1,00 st	€ 803,43	€ 803,43

HIWIN Linear axe KK 60 05 P 300 A 1 F0 0 0 0
Width of framework (mm): 60
Lead (mm): 05
Accuracy class: P (Precision = Standard)
Length of the guide rail (mm): 300
Block type: A (Standard)
Number of blocks: 1 (one driven)
Flange type: F0
Cover: Without
Limit switches: none
Motor: Without
Fully assembled

Levertermijn 1 tot 2 weken

2	HIWALG	1,00 st	€ 879,51	€ 879,51
---	--------	---------	----------	----------

HIWIN Linear axe KK 60 05 P 400 A 1 F0 0 0 0
Width of framework (mm): 60
Lead (mm): 05
Accuracy class: P (Precision = Standard)
Length of the guide rail (mm): 400
Block type: A (Standard)
Number of blocks: 1 (one driven)
Flange type: F0
Cover: Without
Limit switches: none
Motor: Without
Fully assembled

Deze offerte is geldig tot: 29/01/2018

Pagina 1 / 4

Pos.	Productreferenties	Aantal	Eenheidsprijs	Totaal
	Levertermijn	1 tot 2 weken		
3	HIWALG	1,00 st	€ 973,89	€ 973,89
	HIWIN Linear axe KK 60 05 P 300 A 1 F0 C 0 0 Width of framework (mm): 60 Lead (mm): 05 Accuracy class: P (Precision = Standard) Length of the guide rail (mm): 300 Block type: A (Standard) Number of blocks: 1 (one driven) Flange type: F0 Cover: With Aluminium Cover Limit switches: none Motor: Without Fully assembled			
	Levertermijn	1 tot 2 weken		

4	HIWALG	1,00 st	€ 1 049,97	€ 1 049,97
	HIWIN Linear axe KK 60 05 P 400 A 1 F0 C 0 0 Width of framework (mm): 60 Lead (mm): 05 Accuracy class: P (Precision = Standard) Length of the guide rail (mm): 400 Block type: A (Standard) Number of blocks: 1 (one driven) Flange type: F0 Cover: With Aluminium Cover Limit switches: none Motor: Without Fully assembled			
	Levertermijn	1 tot 2 weken		

Met vriendelijke groeten,

Opmerking levertermijn : tussenverkoop voorbehouden

Emile Lismont

emile@vansichen.be | Tel. +32 (0)11 26 99 03

Bij order < 125€, 15€ administratiekosten

Betalingsvoorwaarden : 60 dagen na factuur, mits goedkeuring kredietverzekering Atradius

Leveringsvoorwaarden : Af fabriek, excl BTW, transport & verpakking netto op factuur

NETTOPRIJS		€ 3706,80
BTW	21%	€ 778,43
Totaal		€ 4485,23

Our Business Hours: Mon. - Fri. 7 a.m. - 9 p.m. ET | Sat. 8 a.m. - 5 p.m. ET

[Catalog Request](#)

[Order / Quote](#)

[Need Help?](#)

All Categories

Enter Keyword, Part Number or Web Code (e.g. #SFJ)

Search

DAVID RUTTEN

Cart (0)

[MISUMI Home](#) > [Automation Components](#) > [Linear Motion](#) > [Actuators](#) > [Single Axis Robots](#) > [Single Axis Robots RS1 - Motor Wrap](#)

How can we improve?

Single Axis Robots RS1 - Motor Wrap -

New Products



MISUMI

Maximum Load Capacity: 6kg (Horizontal) / 4kg (Vertical) Stroke: 50-400mm Max. Velocity: 600mm/sec

PDF | P.2014Metric-P1-459

Unit examples related to this product



Round Pin Escape & Carry

[View other unit examples](#)

Configure Clear All

Completed

Specification/Dimensions

Stroke(mm)

- 250
- 300
- 350
- 400

Part Number **RS102B-L-C1-C-5-300**

Add

Similar Products

Download Product Details

CAD Download

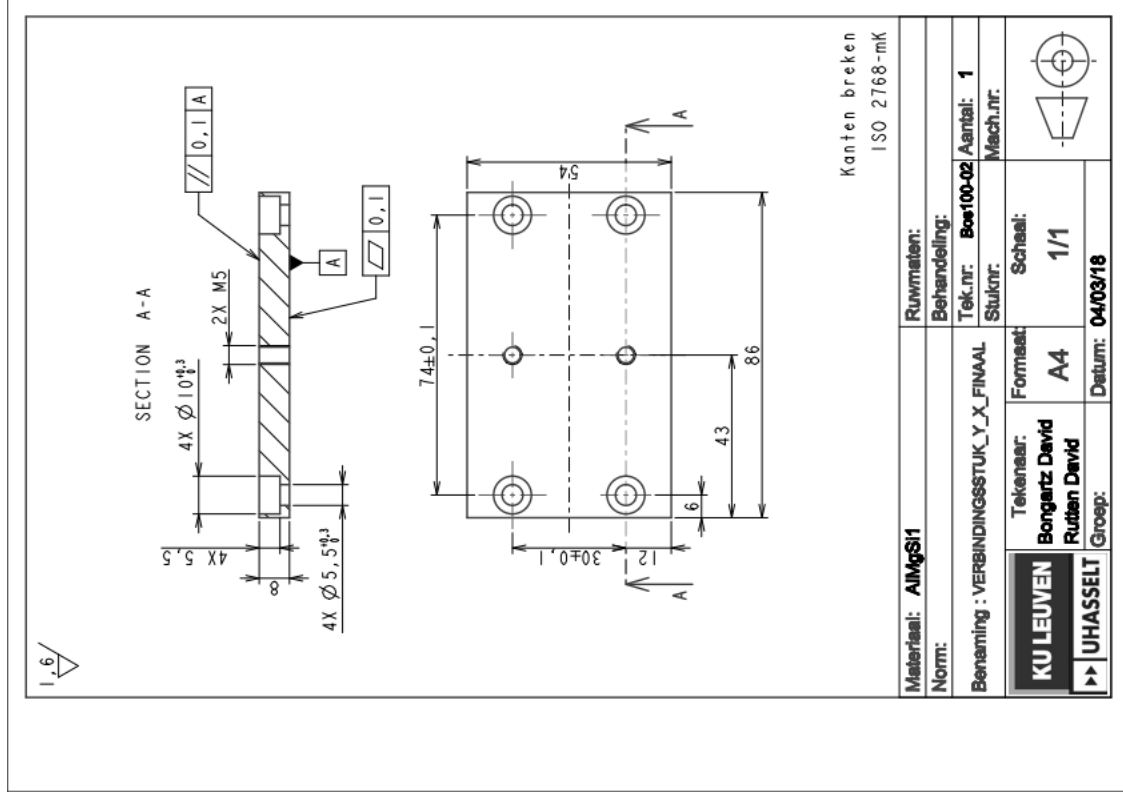
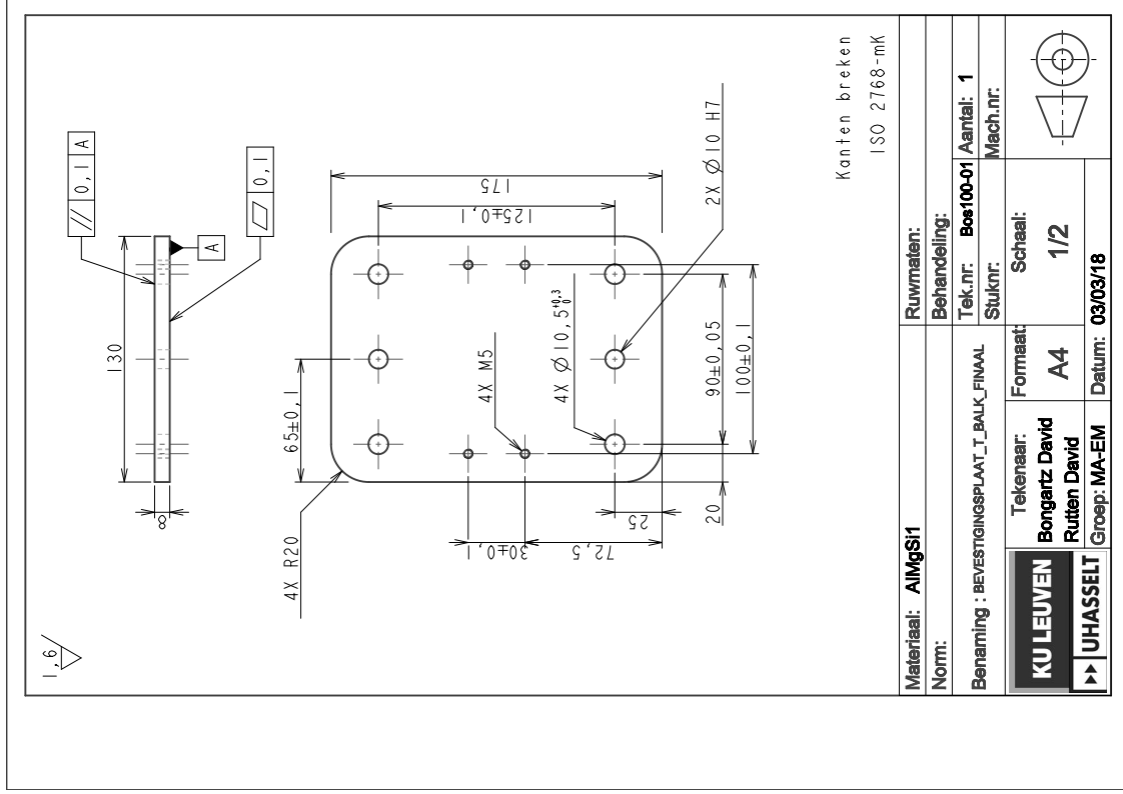
[More Options](#)

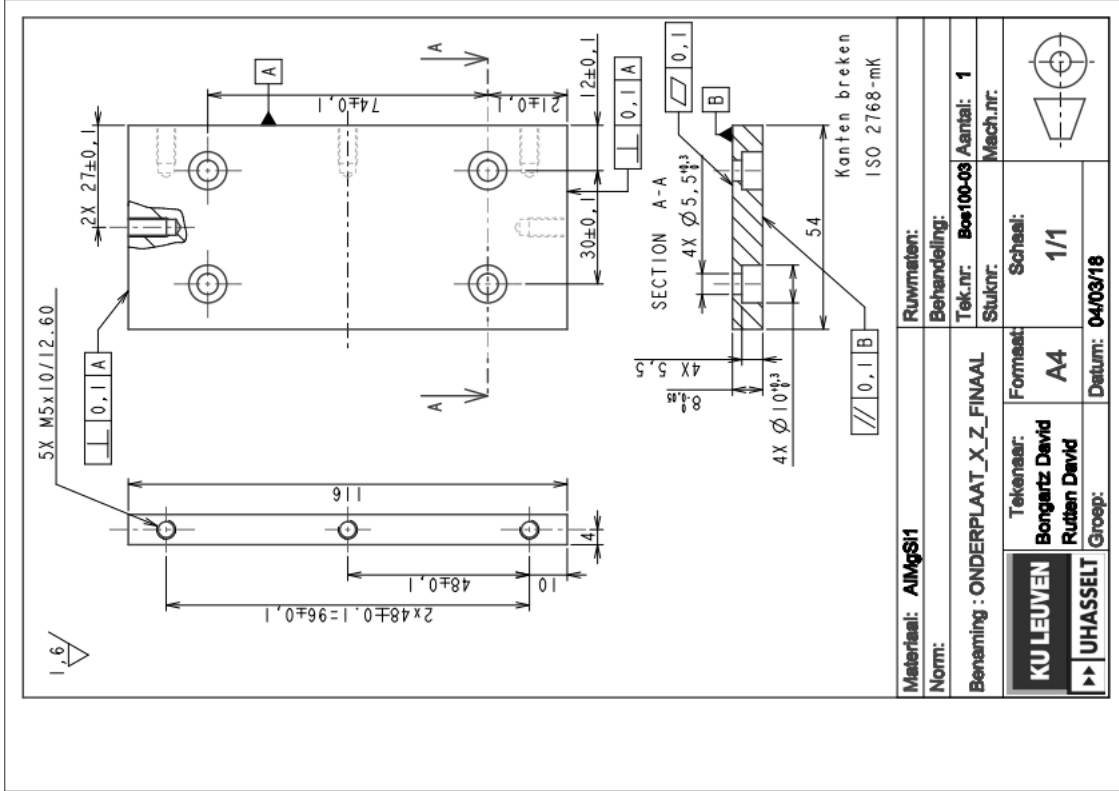
Configured Specifications

Main Body, Peripheral Components	Main Body	Type	Sliders

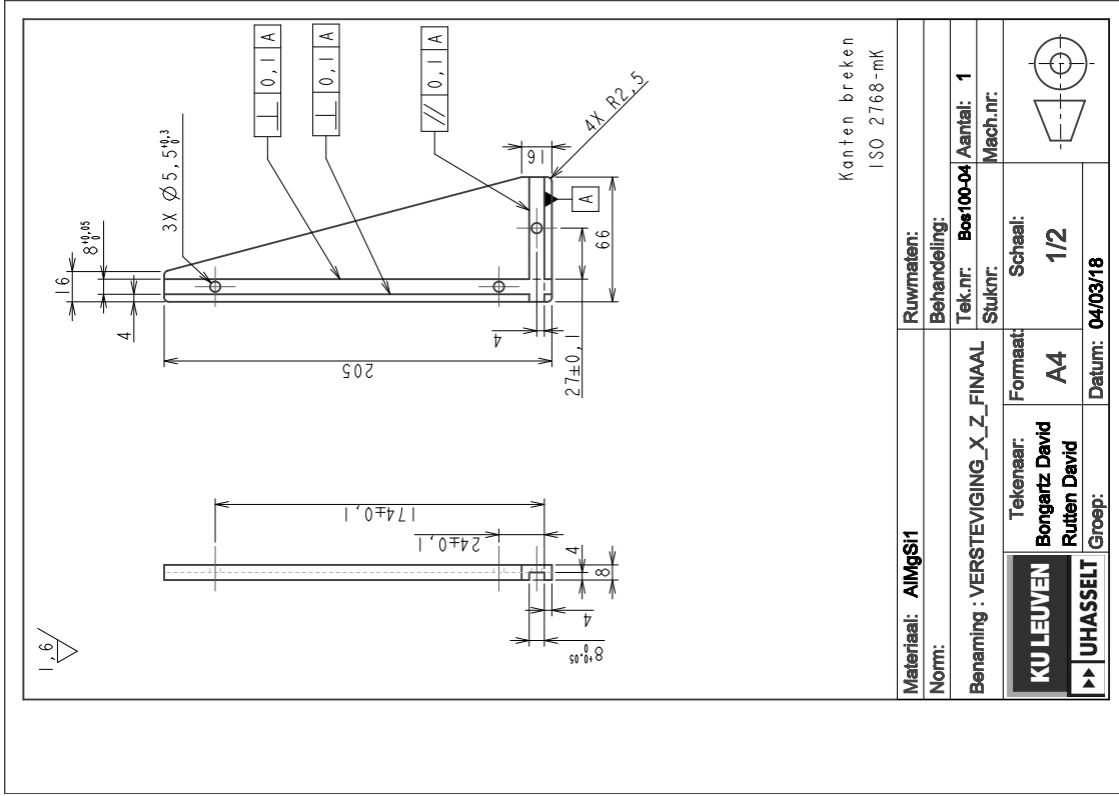
Order Qty.	1
Unit Price	\$ 1,516.81
Total	\$ 1,516.81

Bijlage C: 2D-tekeningen mechanisch ontwerp

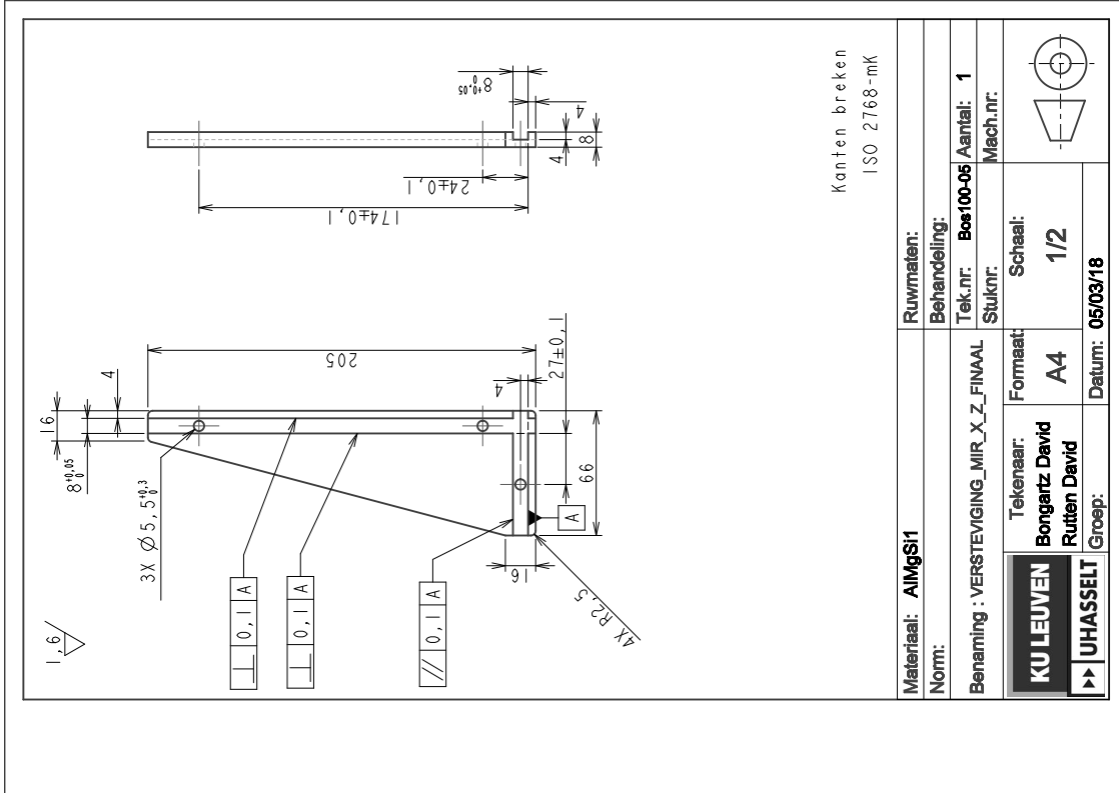




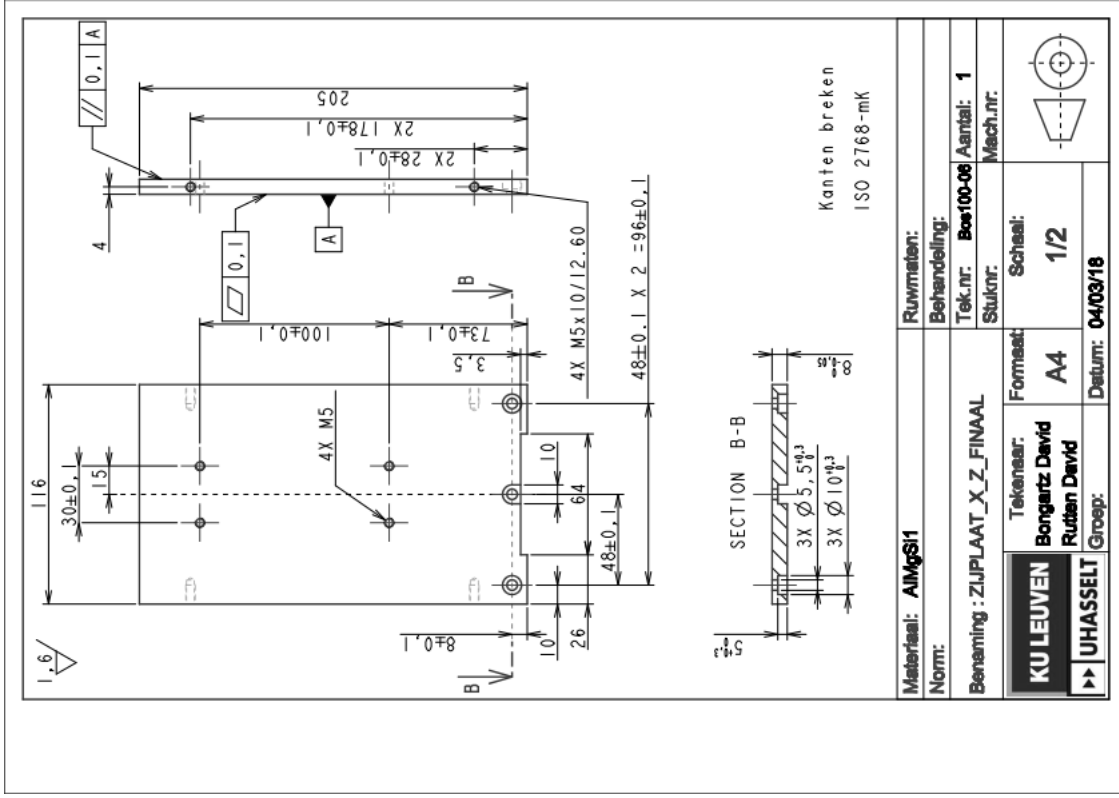
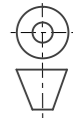
Materiaal: AlMgSi1	Ruwmaten:
Norm:	Behandeling:
Benaming : ONDERPLAAT_X_Z_FINAL	Tek.nr: Bos100-03
	Stuknr:
Tekenaar: Borgartz David Rutten David	Schaal: 1/1
Formaat: A4	Datum: 04/03/16
Grp: UHASSELT	
	Aantal: 1
	Mech.nr:



Materiaal: AlMgSi1	Ruwmaten:
Norm:	Behandeling:
Benaming : VERSTEVIJGING_X_Z_FINAL	Tek.nr: Bos100-04
	Stuknr:
Tekenaar: Borgartz David Rutten David	Schaal: 1/2
Formaat: A4	Datum: 04/03/16
Grp: UHASSELT	
	Aantal: 1
	Mech.nr:

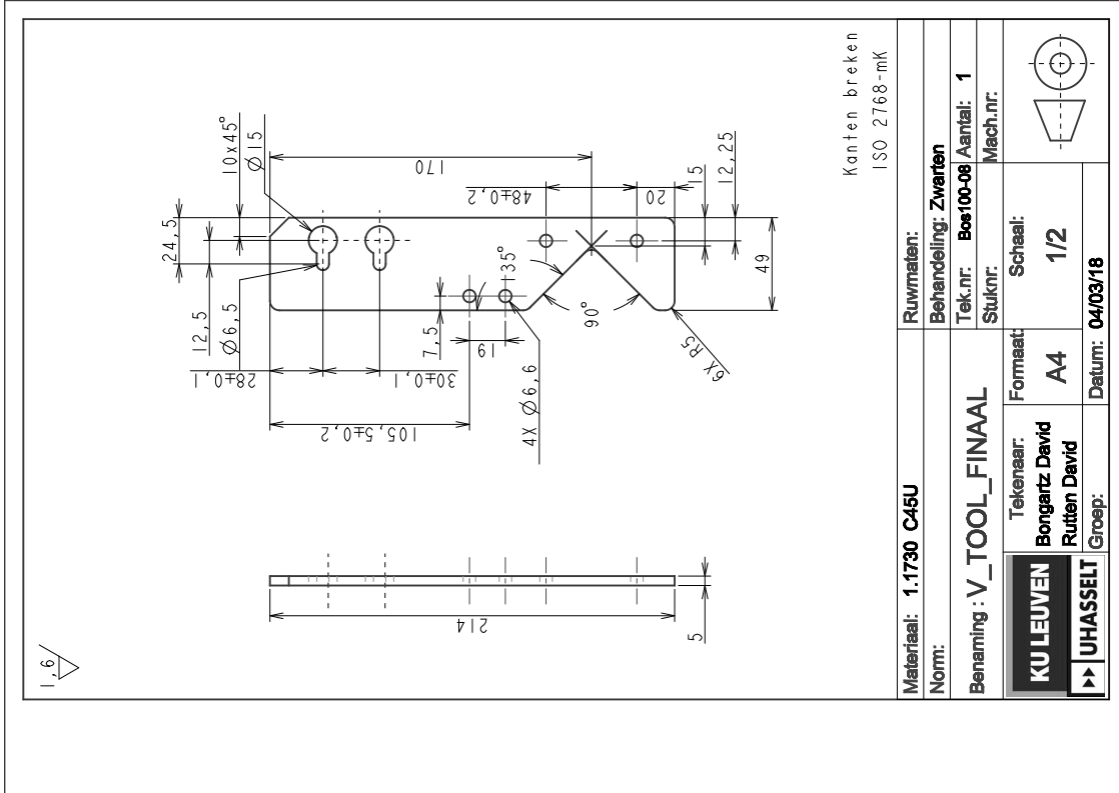
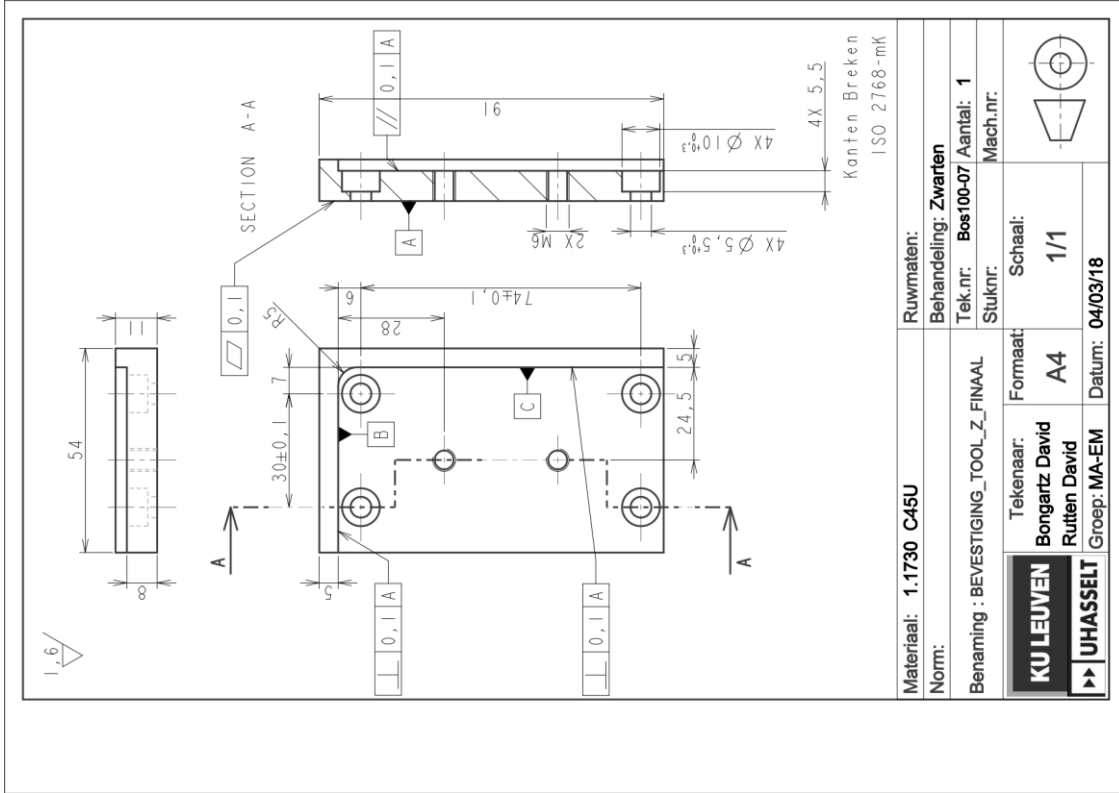


Materiaal: AlMgSi1	Ruwmaten:
Norm:	Behandeling:
Benaming : VERSTEVIGING MIR_X_Z_FINAL	Tek.nr: Bos100-06 Aantal: 1
	Stuknr: Mech.nr:
Tekenaar: Bongartz David Rutten David	Formaat: A4
► UHASSELT Groep:	Schaal: 1/2
	Datum: 05/03/18



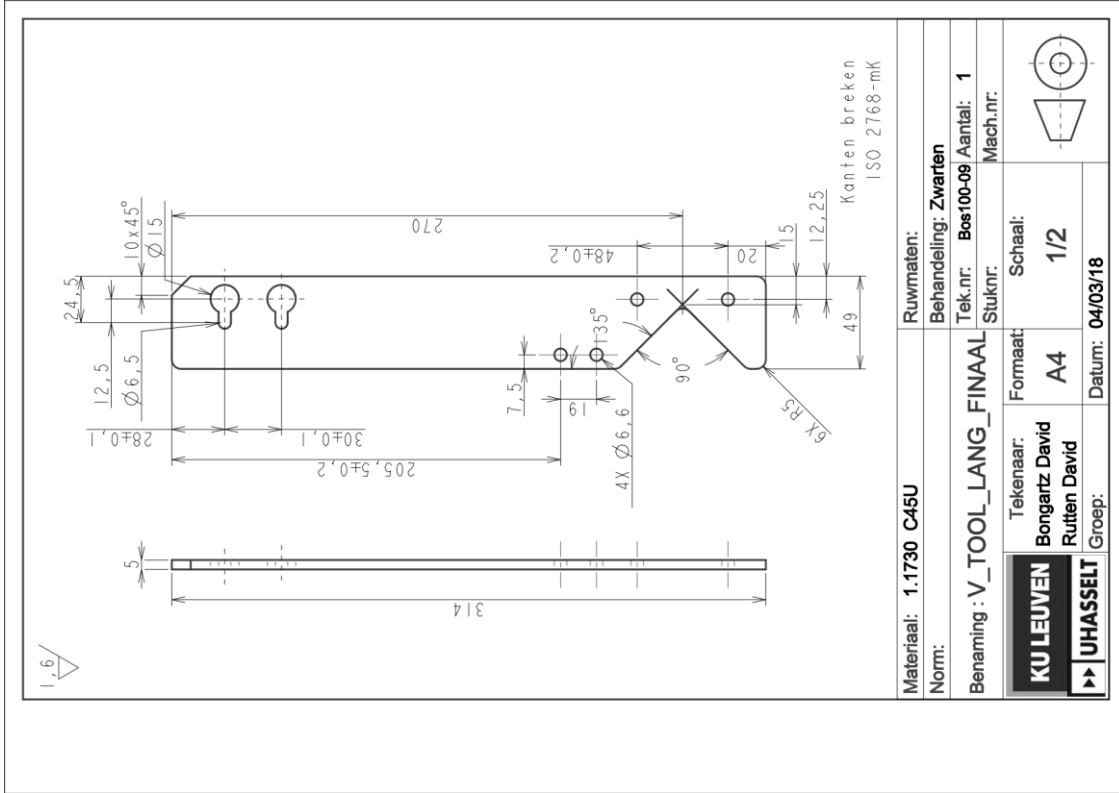
Materiaal: AlMgSi1	Ruwmaten:
Norm:	Behandeling:
Benaming : ZUJPLAAT_X_Z_FINAL	Tek.nr: Bos100-06 Aantal: 1
	Stuknr: Mech.nr:
Tekenaar: Bongartz David Rutten David	Formaat: A4
► UHASSELT Groep:	Schaal: 1/2
	Datum: 04/03/18



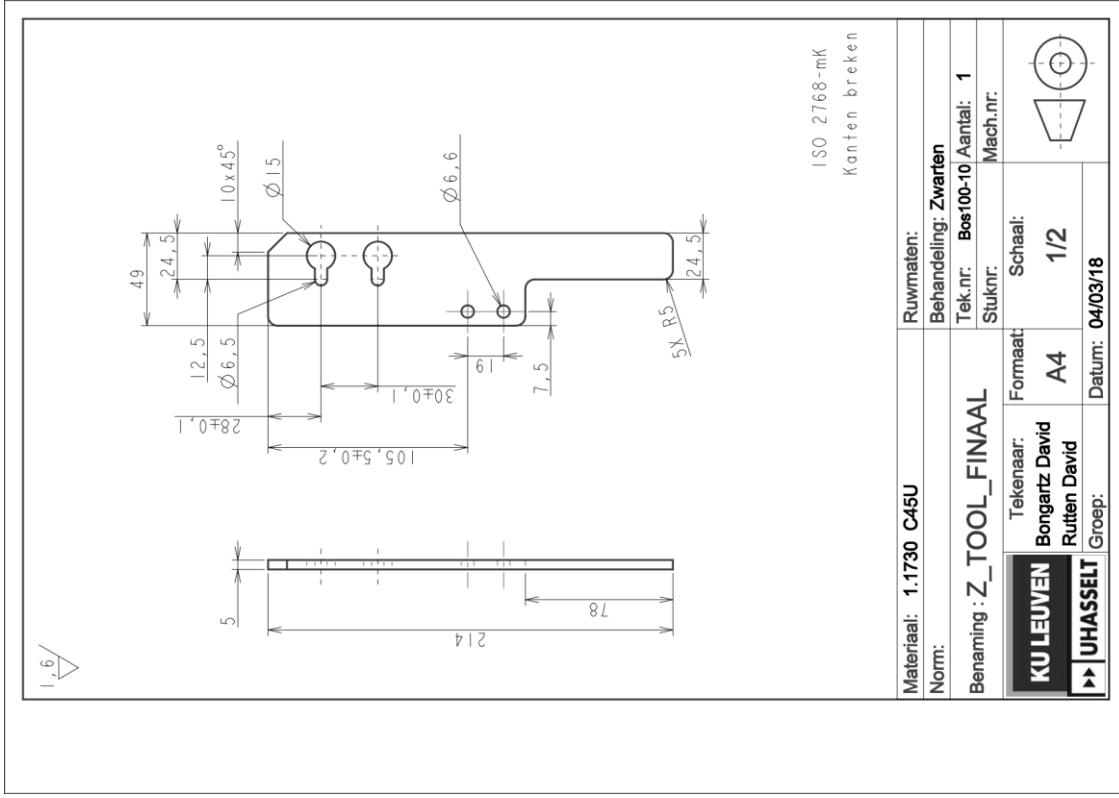


Materiaal: 1.1730 C45U	Ruwmaten:	
Norm:	Behandeling: Zwart	
Benaming : BEVESTIGING_TOOL_Z_FINAAL	Tek.nr: Bos100-07	Aantal: 1
	Stuknr:	Mech.nr:
	Tekenaar: Formaat:	Schaal:
	Bongartz David A4	1/1
	Rutten David	
	Groep: MA-EM	Datum: 04/03/18

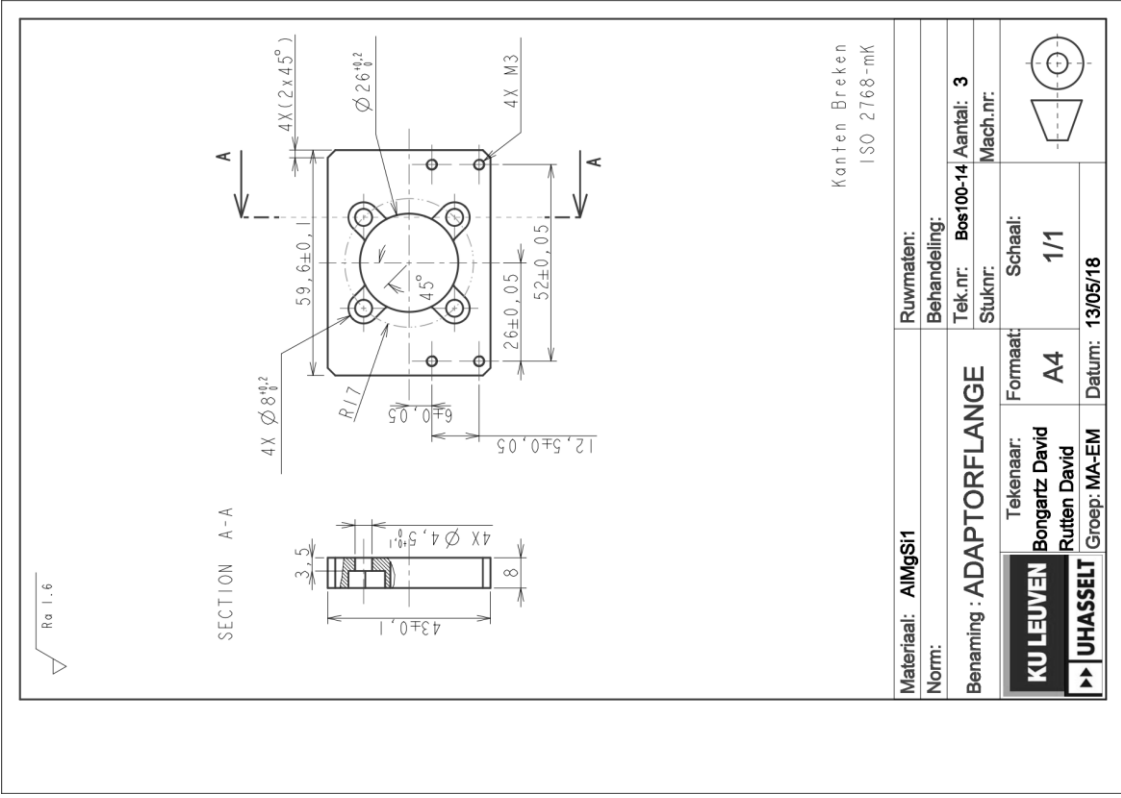
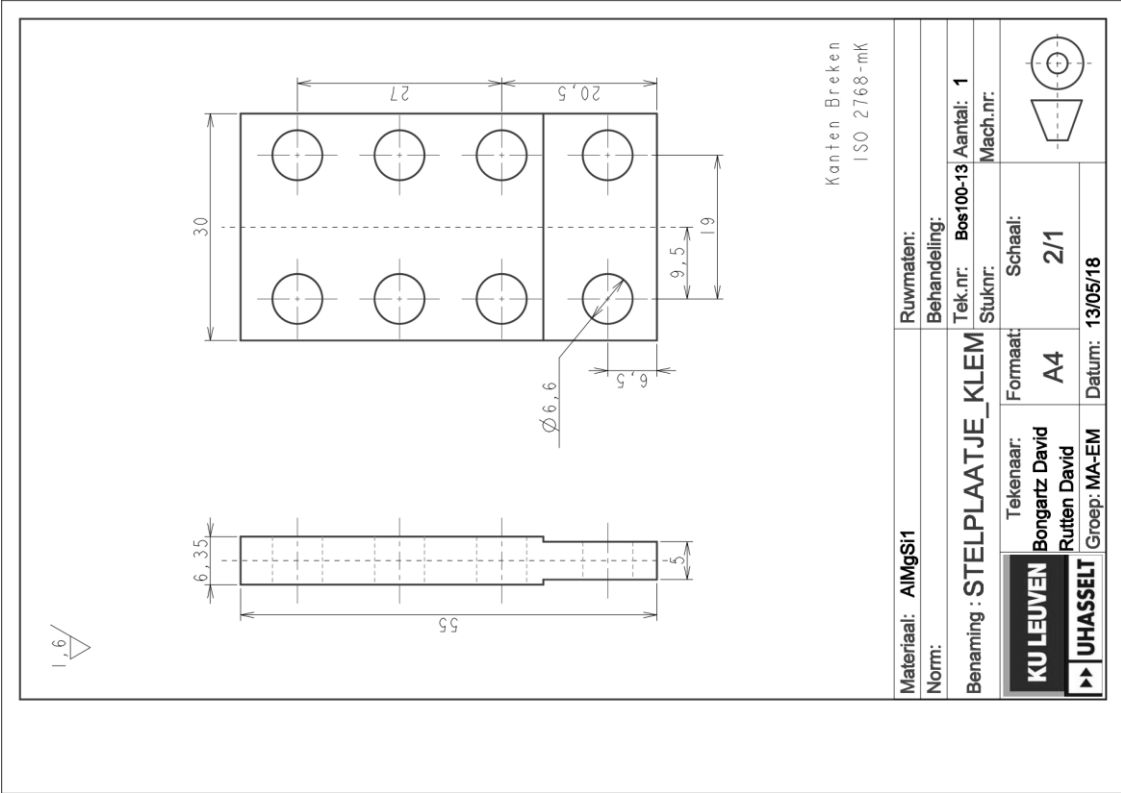
Materiaal: 1.1730 C45U	Ruwmaten:	
Norm:	Behandeling: Zwart	
Benaming : V_TOOL_FINAAL	Tek.nr: Bos100-08	Aantal: 1
	Stuknr:	Mech.nr:
	Tekenaar: Formaat:	Schaal:
	Bongartz David A4	1/2
	Rutten David	
	Groep: UHASSELT	Datum: 04/03/18



Materiaal: 1.1730 C45U	Ruwmaten:
Norm:	Behandeling: Zwart
Benaming : V_TOOL_LANG_FINAL	Tek.nr: Bos100-09 Aantal: 1
Tekenaar: Bongartz David	Stuknr: Mech.nr:
Rutten David	Schaal: 1/2
Groep: UHASSELT	Datum: 04/03/18



Materiaal: 1.1730 C45U	Ruwmaten:
Norm:	Behandeling: Zwart
Benaming : Z_TOOL_FINAL	Tek.nr: Bos100-10 Aantal: 1
Tekenaar: Bongartz David	Stuknr: Mech.nr:
Rutten David	Schaal: 1/2
Groep: UHASSELT	Datum: 04/03/18



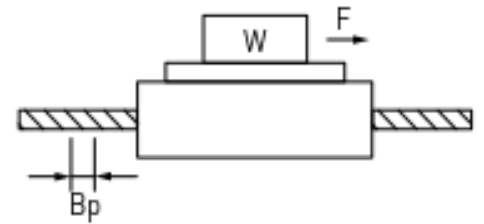
Bijlage D: Berekening koppel voor aandrijving lineaire modules

Onderstaande berekening is gebaseerd op een voorbeeldberekening gevonden in de catalogus van Hiwin [17]. Deze berekening is in dit geval geen exacte berekening aangezien er enkele schattingen worden gemaakt. De bedoeling is om een indruk te krijgen van welk motorkoppel verwacht kan worden.

Gegevens van een lineaire module met slag 210 mm

Tabel 7: Gegevens module slag 210 mm

Grootheid	Waarde	Omschrijving
W	20 kg	Weight
B _L	0,3 m	Ballscrew length
B _D	0,012 m	Ballscrew diameter
B _P	0,005 m	Ballscrew lead
B _{eff}	0,9 -	Ballscrew efficiency
Trav. dist.	0,21 m	Travel distance
J _C	1E-05 kgm ²	Coupling inertia
ρ	7900 kg/m ³	Density steel
μ	0,1 -	friction coefficient
g	9,81 m/s ²	gravity



Figuur 68: Situatieschets [17]

Stap 1: berekenen van het gewicht van de kogelomloopspindel

$$B_W = \rho \cdot \pi \cdot \frac{B_D^2}{2} \cdot B_L = 7,9 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \frac{0,012^2}{2} \cdot 0,3$$

$$B_W = 0,536 \text{ kg}$$

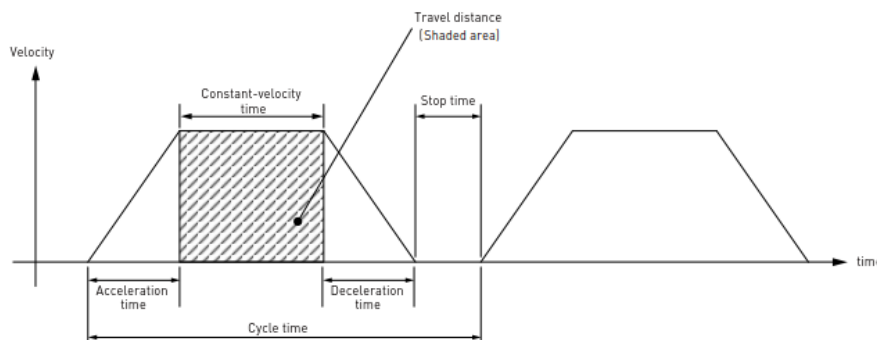
Stap 2: berekenen van de massatraagheid van de belasting

$$J_L = J_C + J_B \Rightarrow J_L = J_C + \frac{B_W \cdot B_D^2}{8} + \frac{W \cdot B_P^2}{4 \cdot \pi^2}$$

$$J_L = 10 \cdot 10^{-6} + \frac{0,536 \cdot 0,012^2}{8} + \frac{20 \cdot 0,005^2}{4 \cdot \pi^2} = 2,331 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

Stap 3: berekenen van de maximale snelheid

Het snelheidsprofiel van de kogelomloopspindel ziet er als volgt uit:



Figuur 69: Snelheidsprofiel van de kogelomloopspindel [17]

We nemen nu aan dat de versnelling en afremming op 0,1 s (= t_a , t_d) plaats vindt en dat er gedurende 0,8 s met een constante snelheid (= t_b) bewogen wordt. Een cyclus duurt twee seconden (= t_c).

$$\text{Travel distance} = \frac{V_{\max} \cdot t_a}{2} + \frac{V_{\max} \cdot t_b}{2} + \frac{V_{\max} \cdot t_d}{2}$$

$$0,21 = \frac{V_{\max} \cdot 0,1}{2} + \frac{V_{\max} \cdot 0,8}{2} + \frac{V_{\max} \cdot 0,1}{2} \Rightarrow V_{\max} = 0,233 \text{ m/s}$$

Stap 4: berekenen van het motortoerental

$$n = \frac{V_{\max}}{B_p} = \frac{0,232}{0,005} \Rightarrow n = 46,667 \text{ rad/s of } 445,634 \text{ tr/min}$$

Stap 5: berekenen van het motorkoppel

Het motorkoppel bestaat uit drie deeltkoppels: T_f = koppel tijdens het bewegen
 T_a = koppel tijdens het versnellen
 T_d = koppel tijdens het vertragen

$$T_f = \frac{B_p}{2 \cdot \pi \cdot B_{\text{eff}}} \cdot (\mu \cdot g \cdot W + F) = \frac{0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} \cdot (0,1 \cdot 9,81 \cdot 20 + 0)$$

$$\mathbf{T_f = 0,0173 \text{ Nm}}$$

$$T_a = \frac{J_L + J_M}{t_a} + T_f = \frac{(2,331 \cdot 10^{-5} + 5,2 \cdot 10^{-6}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,67}{0,1} + 0,0173$$

J_M is de traagheid van een motor die Beckhoff aanbiedt.

$$\mathbf{T_a = 0,0213 \text{ Nm}}$$

$$T_d = \frac{J_L + J_M}{t_d} - T_f = \frac{(2,331 \cdot 10^{-5} + 5,2 \cdot 10^{-6}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,67}{0,1} - 0,0173$$

$$\mathbf{T_d = -0,0143 \text{ Nm}}$$

Stap 6: berekenen van het effectieve motorkoppel

$$T_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{T_a^2 \cdot t_a + T_f^2 \cdot t_f + T_d^2 \cdot t_d}{t_c}} = \sqrt{\frac{0,0213^2 \cdot 0,1 + 0,0173^2 \cdot 0,8 + (-0,0143)^2 \cdot 0,1}{2}}$$

$$\mathbf{T_{\text{RMS}} = 0,0123 \text{ Nm}}$$

Het benodigde koppel om een last van 20 kg te verplaatsen over een afstand van 0,21 m zal minimum 0,0123 Nm vereisen. Het benodigde koppel om een afstand van 0,31 m af te leggen geeft hetzelfde resultaat. Het koppel is dus onafhankelijk van de afgelegde weg.

Bijlage E: Prijsofferten componenten Beckhoff

New Automation Technology

Offerte **VOF18-00731**

Klant

BECKHOFF

Documentdatum 08/03/18

Verzendadres

Bosal
Dellestraat 20
3560 LUMMEN
België

Bosal
Dellestraat 20
3560 LUMMEN
België

Nr.	Omschrijving	Aantal	Eenheid	Prijs excl. BTW	%	Bedrag excl. BTW
	Motion configuratie =====					
AM8121-0F21-0000	Servomotor, 48V DC, Mo=0.5Nm, Io=4.0A, Nn=3000 rpm One Cable Technology, feedback multitem smooth shaft with holding brake CTN: 85015100 Gewicht: 1 COO: DE	3	Stuk	598.00		1,794.00
AG2250-+WPLE60-M01-5-1B1-AM812x	Right angle gearbox, 1-stage ratio = 5 max. acceleration torque Ma = 38Nm nominal output torque Mn = 24Nm shaft with feather key backlash <16 arcmin The compatibility of gearbox to the named motor is based on a mechanically check only! The combination has to be verified related to the required performance data of application! Gewicht: 1.7 COO: QU	2	Stuk	337.00		674.00
AG2250-+PLE60-M01-5-0B1-AM812x	Planetary Gearbox 1 stage ratio = 5 max. acceleration torque Ma = 64Nm nominal output torque Mn = 40Nm Backlash <10 arcmin Smooth shaft The compatibility of gearbox to the named motor is based on a mechanically check only! The combination has to be verified related to the required performance data of application! CTN: 84834029 Gewicht: 0.9 COO: DE	1	Stuk	199.00		199.00
ZK4704-0421-2050	Motor power cable for application with AM81xx (OCT) and EL72xx length l=5m	3	Stuk	65.50		196.50

Beckhoff Automation bvba / sprl Klaverbladstraat 11.2/2 3560 LUMMEN

BTW BE 0882 912 707 -

Tel.: +32 (0) 13 25 22 00 - Fax: +32 (0) 13 25 22 01

Web: www.beckhoff.be - E-mail: info@beckhoff.be

Offerte **VOF18-00731**

Klant

Documentdatum 08/03/18

BECKHOFF

Nr.	Omschrijving	Aantal	Eenheid	Prijs excl. BTW	%	Bedrag excl. BTW
	with iTec connector 9-pole (motor side), other side flying leads shielded cable highly flexible for drag-chain use 5 Mio. bending cycles, max. 30m/s, max. 240m/s ² min. bending radius = 77mm (7x OD) for fixed installation - min. Biegeradius = 55mm (5x OD) CTN: 85444290 Gewicht: 0.9 COO: DE IPC-configuratie =====					
CX9020-0115	DIN rail Industrial PC - 1 GHz ARM Cortex™-A8-Prozessor (TC3: 30) - flash memory: 512 MB microSD card (exchangeable, expandable) - 1 GB DDR3-RAM (internal, not expandable) - 128 KB NOVRAM - 2 x RJ 45 Ethernet connection 10/100 Mbit (internal switch)# - 4 x USB 2.0 interface - 1 x DVI-D interface - 2 x microSD card slot - internal battery-backed clock for time and date, exchangeable battery - diagnostics LED: 1 x power, 1 x TC status, 1 x flash access, 2 x bus status - operating system: Windows Embedded Comapct 7 - preinstalled with TwinCAT 3 XAR, no license activation (TwinCAT 3 licenses need to be ordered separately) - max. power loss: 5W - protection class: IP 20 - operating/storage temperature -20 °C ... +60 °C/-40 °C ... +85 °C - dimensions (W x H x D): 75 x 100 x 91 mm RECUPEL FEE INCLUDED. CTN: 84719000 Gewicht: 0.15 COO: DE	1	Stuk	495.00		495.00
EL7211-9014	Servomotor terminal with OCT and STO (SafeTorque Off), integrated absolute value interface, 50 V DC, 4.5A eff 2 digital inputs 24 V DC 1 digital output for a motor brake 24 V DC CTN: 85369010 Gewicht: 0.15 COO: DE	3	Stuk	345.00		1,035.00
EL9576	Brake chopper terminal CTN: 85369010 Gewicht: 0.15 COO: DE	1	Stuk	118.00		118.00
ZB8110	External ballast resistor 10 Ohm, 100 W CTN: 85389099 Gewicht: 0.15 COO: CZ	1	Stuk	39.80		39.80
EL1008	8-channel digital input terminal 24 V DC, filter 3.0 ms, 1-wire system CTN: 85369010 Gewicht: 0.15 COO: DE	1	Stuk	35.00		35.00

Beckhoff Automation bvba / sprl Klaverbladstraat 11.2/2 3560 LUMMEN

BTW BE 0882 912 707 -

Tel.: +32 (0) 13 25 22 00 - Fax: +32 (0) 13 25 22 01

Web: www.beckhoff.be - E-mail: info@beckhoff.be

Offerte **VOF18-00731**

Klant

Documentdatum 08/03/18

BECKHOFF

Nr.	Omschrijving	Aantal	Eenheid	Prijs excl. BTW	%	Bedrag excl. BTW
EL2008	8 channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A, 1-wire system CTN: 85369010 Gewicht: 0.15 COO: DE	1	Stuk	38.50		38.50
EL9011	Bus end cap CTN: 85369010 Gewicht: 0.15 COO: DE	1	Stuk	2.80		2.80
ZB8511	shield busbar clamp 10 x 3 mm for 5 Bus Terminals/EtherCAT Terminals 12 mm, packing unit = 10 pieces CTN: 85369010 Gewicht: 0.5 COO: DE	1	Stuk	25.00		25.00
ZB8501	clamp strap for shield connection with knurled screw, width 19 mm, shield diameter 7 - 16mm packing unit = 10 pieces CTN: 85369010 Gewicht: 0.15 COO: QU	1	Stuk	47.00		47.00
TC1250-0030	License for usage of TC3 PLC/NC PTP 10 axes License for one CPU. The Beckhoff software license agreements are valid. Gewicht: 0.1 COO: QU	1	Stuk	200.00		200.00
TRANSPORT	Gewicht: 0.15	1	Stuk	20.00		20.00
Totaal EUR excl. btw						4,919.60
Btw-bedrag						1,033.12
Totaal EUR incl. BTW						5,952.72

Deze offerte is 30 dagen geldig.

Beckhoff Automation bvba / sprl Klaverbladstraat 11.2/2 3560 LUMMEN

BTW BE 0882 912 707 -

Tel.: +32 (0) 13 25 22 00 - Fax: +32 (0) 13 25 22 01

Web: www.beckhoff.be - E-mail: info@beckhoff.be

AM811x



AM8111 | Servomotor 0.20 Nm (M_0), F1 (40 mm)

The AM8111 and AM8112 servomotors in the voltage range below 50 V DC are now available with an optional robust resolver encoder. In combination with the EL72x1-0000 servo terminals for resolver feedback, highly dynamic applications can be implemented in an extremely cost-effective way.

Ultra-compact servo solutions with resolver feedback

- power range: 50 to 100 watts
- usable speed: 4,000 min⁻¹
- low rotor inertia
- connector can be rotated 305 degrees for use in tight spaces

Data for 50 V DC	AM8111-wFyz
Standstill torque	0.20 Nm
Rated torque	0.19 Nm
Rated speed	4000 min ⁻¹
Rated power	0.08 kW
Peak torque	0.85 Nm
Standstill current	2.85 A
Peak current	18.0 A
Torque constant	0.07 Nm/A
Voltage constant	5 mV/min ⁻¹
Number of poles	6
Rotor moment of inertia	0.029 kgcm ²
Weight	0.6 kg
Holding torque brake (M_{br})	0.6 Nm
Power consumption (brake) at 24 V DC (P_{br})	10 W
Rotor moment of inertia incl. brake (J)	0.052 kgcm ²
Weight incl. brake (m)	0.8 kg
EtherCAT Terminal	EL7201-0010
EtherCAT plug-in module	EJ7211-0010
EtherCAT Box	EP7211-9034
Connection technology	itec® plug
One Cable Technology (OCT)	yes
Order reference AM81uv-wxyz	
u = 1	flange code F1
v	motor length
w = 0	smooth shaft
w = 1	shaft with groove and feather key according to DIN 6885
x	winding code
y = 0	2-cable standard: feedback resolver
y = 1	One Cable Technology for power and feedback: feedback transmission via motor cable, no feedback cable necessary, electronic identification plate, single-turn, absolute position within one revolution, 18 bit resolution
y = 2	One Cable Technology for power and feedback: feedback transmission via motor cable, no feedback cable necessary, electronic identification plate, multi-turn, absolute position within 4096 revolutions, 18 bit resolution
z = 0	without holding brake
z = 1	with holding brake
	All electric quantities are RMS values.
	The options cannot be installed in the field.

AG2250



AG2250-+PLE40 | Planetary gear units for compact Drive Technology

Technical data	AG2250-+PLE40-M01-3	AG2250-+PLE40-M01-4	AG2250-+PLE40-M01-5	AG2250-+PLE40-M01-7
Variant	planetary gear			
Typ. flange size F	F1			
Nominal output torque	11 Nm	15 Nm	14 Nm	8.5 Nm
Max. acceleration torque	17.5 Nm	24 Nm	22 Nm	13.5 Nm
Gear stages	1			
Gear ratio	3	4	5	7
Max. input speed	5000 min ⁻¹			
Idle torque	0.05 Nm			
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 15/- arcmin			
Max. radial load	200 N			
Weight	0.35 kg			

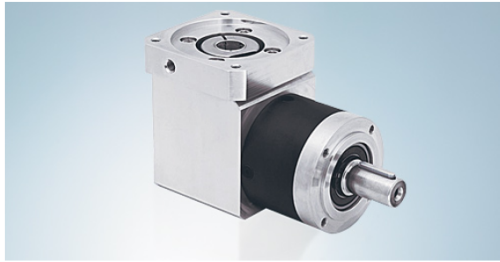
Technical data	AG2250-+PLE40-M01-8	AG2250-+PLE40-M01-10	AG2250-+PLE40-M02-12	AG2250-+PLE40-M02-16
Variant	planetary gear			
Typ. flange size F	F1			
Nominal output torque	6 Nm	5 Nm	20 Nm	20 Nm
Max. acceleration torque	10 Nm	8 Nm	32 Nm	32 Nm
Gear stages	1			
Gear ratio	8	10	12	16
Max. input speed	5000 min ⁻¹			
Idle torque	0.05 Nm			
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 15/- arcmin	≤ 15/- arcmin	≤ 19/- arcmin	≤ 19/- arcmin
Max. radial load	200 N			
Weight	0.35 kg	0.35 kg	0.45 kg	0.35 kg

Technical data	AG2250-+PLE40-M02-20	AG2250-+PLE40-M02-25	AG2250-+PLE40-M02-32	AG2250-+PLE40-M02-40
Variant	planetary gear			
Typ. flange size F	F1			
Nominal output torque	20 Nm	18 Nm	20 Nm	18 Nm
Max. acceleration torque	32 Nm	29 Nm	32 Nm	29 Nm
Gear stages	2			
Gear ratio	20	25	32	40
Max. input speed	5000 min ⁻¹			
Idle torque	0.05 Nm			
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 19/- arcmin			
Max. radial load	200 N			
Weight	0.45 kg			

Technical data	AG2250-+PLE40-M02-64
Variant	planetary gear
Typ. flange size F	F1
Nominal output torque	7.5 Nm
Max. acceleration torque	12 Nm
Gear stages	2
Gear ratio	64
Max. input speed	5000 min ⁻¹
Idle torque	0.05 Nm
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 19/- arcmin
Max. radial load	200 N
Weight	0.45 kg

Order reference	AG2250-+PLE40-M01-i-wXy-Motorsize
i	gear ratio
w = 0	smooth shaft
w = 1	shaft with groove and feather key
X	identifying letter for clamping hub diameter; not available for selection, is selected automatically based on the respective motor
X = B	for AM311x, AM312x and AM812x
y = 1	standard torsional backlash
Motorsize	Specification of the size according to flange-compatible motors. The planetary gears are delivered as a unit with the assembled motor.
Motorsize = AM811x (F1)	flange code F1: AM801x, AM811x; compatible with AM301x, AM311x

AG2250



AG2250-+WPLE40 | Angled planetary gear units for compact Drive Technology

Technical data	AG2250-+WPLE40-M01-3	AG2250-+WPLE40-M01-4	AG2250-+WPLE40-M01-5	AG2250-+WPLE40-M01-7
Variant	angled planetary gear			
Typ. flange size F	F1			
Nominal output torque	4.5 Nm	6 Nm	7.5 Nm	8.5 Nm
Max. acceleration torque	7 Nm	10 Nm	12 Nm	13.5 Nm
Gear stages	1			
Gear ratio	3	4	5	7
Max. input speed	5000 min ⁻¹			
Idle torque	0.10 Nm	0.05 Nm	0.05 Nm	0.05 Nm
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 21/- arcmin			
Max. radial load	200 N			
Weight	0.51 kg			

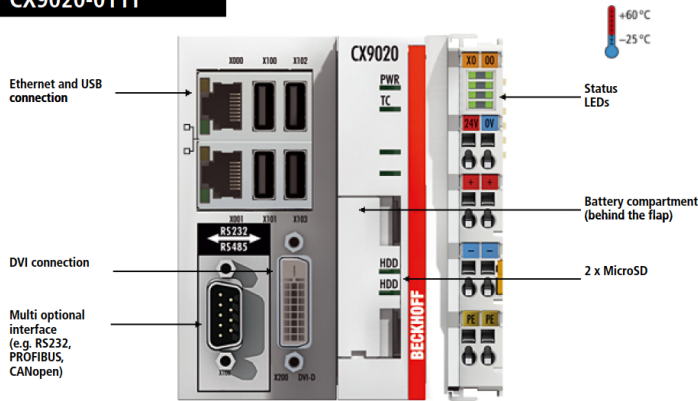
Technical data	AG2250-+WPLE40-M01-8	AG2250-+WPLE40-M01-10	AG2250-+WPLE40-M02-12	AG2250-+WPLE40-M02-16
Variant	angled planetary gear			
Typ. flange size F	F1			
Nominal output torque	6 Nm	5 Nm	20 Nm	20 Nm
Max. acceleration torque	10 Nm	8 Nm	32 Nm	32 Nm
Gear stages	1			
Gear ratio	8	10	12	16
Max. input speed	5000 min ⁻¹			
Idle torque	0.10 Nm			
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 21/- arcmin	≤ 21/- arcmin	≤ 25/- arcmin	≤ 25/- arcmin
Max. radial load	200 N			
Weight	0.51 kg	0.51 kg	0.61 kg	0.61 kg

Technical data	AG2250-+WPLE40-M02-20	AG2250-+WPLE40-M02-25	AG2250-+WPLE40-M02-32	AG2250-+WPLE40-M02-40
Variant	angled planetary gear			
Typ. flange size F	F1			
Nominal output torque	20 Nm	18 Nm	20 Nm	18 Nm
Max. acceleration torque	32 Nm	29 Nm	32 Nm	29 Nm
Gear stages	2			
Gear ratio	20	25	32	40
Max. input speed	5000 min ⁻¹			
Idle torque	0.10 Nm			
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 25/- arcmin			
Max. radial load	200 N			
Weight	0.61 kg			

Technical data	AG2250-+WPLE40-M02-64
Variant	angled planetary gear
Typ. flange size F	F1
Nominal output torque	7.5 Nm
Max. acceleration torque	12 Nm
Gear stages	2
Gear ratio	64
Max. input speed	5000 min ⁻¹
Idle torque	0.10 Nm
Max. torsional backlash standard/reduced	≤ 25/- arcmin
Max. radial load	200 N
Weight	0.61 kg

Order reference	AG2250-+WPLE40-M01-i-wXy-Motorsize
i	gear ratio
w = 0	smooth shaft
w = 1	shaft with groove and feather key
X	identifying letter for clamping hub diameter; not available for selection, is selected automatically based on the respective motor
X = B	for AM311x, AM312x and AM812x
y = 1	standard torsional backlash
Motorsize	Specification of the size according to flange-compatible motors. The planetary gears are delivered as a unit with the assembled motor.
Motorsize = AM811x (F1)	flange code F1: AM801x, AM811x; compatible with AM301x, AM311x

CX9020-011T



i CX9020 | Basic CPU module

The CX9020 is a compact, DIN rail-mountable Ethernet control system with 1 GHz ARM Cortex™-A8 CPU. The connection for the Beckhoff I/O systems is directly integrated into the CPU module. The unit offers automatic bus system identification (K-bus or E-bus) and independently switches in the corresponding mode. The CX9020 comprises the CPU with two microSD card slots, the internal RAM and 128 kB NOVRAM as non-volatile memory. The basic configuration also includes two switched Ethernet RJ45 interfaces, four USB 2.0 interfaces and a DVI-D interface. The RJ45 interfaces are connected to an internal switch and offer a simple option for creating a line topology without the need for additional Ethernet switches. The operating system is Microsoft Windows Embedded Compact 7. TwinCAT automation software transforms a CX9020 system into a powerful PLC and Motion Control system that can be operated with or without visualisation. Optionally, the unit can be ordered with a fieldbus, serial or audio interface.

The extended operating temperature range between -25 and +60 °C enables application in climatically demanding situations.

The order identifier of the basic CPU module is derived as follows:

CX9020-015T	Optional interfaces:
0 = no TwinCAT	CX9020-N020 = audio interface
1 = with TwinCAT 2 PLC runtime	CX9020-N030 = RS232, D-sub plug
2 = with TwinCAT 2 PLC/NC runtime	CX9020-N031 = RS422/RS485, D-sub socket
5 = TwinCAT 3 runtime (XAR)	CX9020-B110 = EtherCAT slave, EtherCAT IN and OUT (2 x RJ45)
0 = no operating system	CX9020-M310 = PROFIBUS master, D-sub socket, 9-pin
1 = operating system Windows Embedded Compact 7	CX9020-B310 = PROFIBUS slave, D-sub socket, 9-pin
	CX9020-M510 = CANopen master, D-sub plug, 9-pin
	CX9020-B510 = CANopen slave, D-sub plug, 9-pin
	CX9020-M930 = PROFINET RT, controller
	CX9020-B930 = PROFINET RT, device, Ethernet (2 x RJ45 switch)
	CX9020-B950 = EtherNet/IP slave, Ethernet (2 x RJ45 switch)

Technical data	CX9020
Processor	ARM Cortex™-A8, 1 GHz
Number of cores	1
Flash memory	512 MB microSD (optionally expandable), 2 x microSD card slot
Internal main memory	1 GB DDR3 RAM
Persistent memory	128 KB NOVRAM integrated
Interfaces	2 x RJ45 (Ethernet, internal switch), 10/100 Mbit/s, DVI-D, 4 x USB 2.0, 1 x optional interface
Diagnostics LED	1 x power, 1 x TC status, 2 x flash access, 2 x bus status
Clock	internal battery-backed clock for time and date (battery exchangeable)
Operating system	Microsoft Windows Embedded Compact 7, English
Control software	TwinCAT 3, TwinCAT 2 PLC runtime, NC PTP runtime
I/O connection	E-bus or K-bus, automatic recognition
Power supply	24 V DC (-15 %/+20 %)
Current supply E-bus/K-bus	2 A
Max. power loss	5 W (including the system interfaces)
Dimensions (W x H x D)	84 mm x 99 mm x 91 mm
Weight	approx. 590 g
Operating/storage temperature	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4

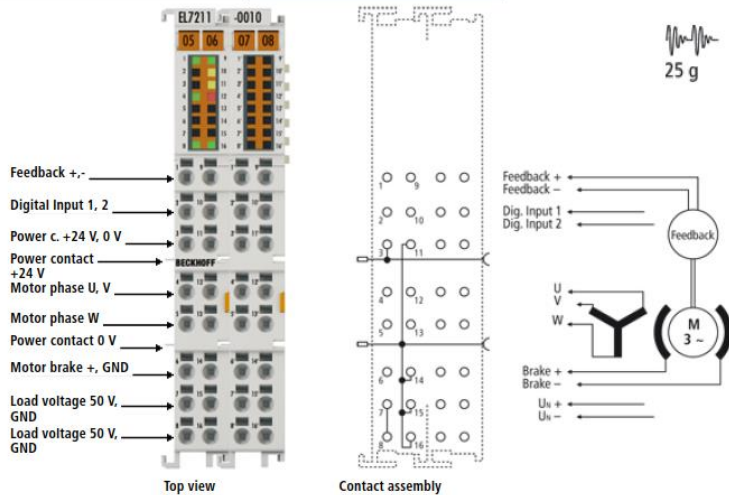
Protection class	IP 20
Approvals	CE, UL, Ex, GL, IECEx
TC3 performance class	economy plus (30); please see here for an overview of all the TwinCAT 3 performance classes

Ordering information	no operating system	Windows Embedded Compact 7	no TwinCAT	TwinCAT 2 PLC runtime	TwinCAT 2 NC PTP runtime	TwinCAT 3 runtime (XAR)
CX9020-0100	x	–	x	–	–	–
CX9020-0110	–	x	x	–	–	–
CX9020-0111	–	x	–	x	–	–
CX9020-0112	–	x	–	–	x	–
CX9020-0115	–	x	–	–	–	x

Accessories	
CX9020-U900	internal, capacitive 1-second UPS to ensure secure backup of persistent application data on the microSD card
CX2900-0107	Device modification for fulfillment of ATEX Certification II 3 G Ex nA II T4 Gc and II 3 D Ex tc IIIC T135 °C Dc for CX5120, CX5130, CX5140 and CX9020: This option includes the modification and repositioning of the device label as well as a pre-mounted wire bow. The modification is a mandatory prerequisite for usage in hazardous areas as covered by the before mentioned certificate for ATEX Zone 2/22. Please also read the documentation for use in hazardous areas carefully.

Optional interfaces	
CX9020-N020	audio interface, 3 x 3.5 mm jack sockets, Line In, Mic In, Line Out
CX9020-N030	RS232 interface, D-sub plug, 9-pin
CX9020-N031	RS485 interface, D-sub socket, 9-pin, configuration as an end point, without echo, termination on
CX9020-N031-0001	RS485 interface, D-sub socket, 9-pin, configuration as an end point, with echo, termination on
CX9020-N031-0002	RS485 interface, D-sub socket, 9-pin, configuration as drop point, without echo, termination off
CX9020-N031-0003	RS485 interface, D-sub socket, 9-pin, configuration as drop point, with echo, termination off
CX9020-N031-0004	RS422 interface, D-sub socket, 9-pin, configuration as full duplex end point, termination on
CX9020-B110	EtherCAT slave interface, EtherCAT IN and OUT (2 x RJ45)
CX9020-M310	PROFIBUS master interface, D-sub socket, 9-pin
CX9020-B310	PROFIBUS slave interface, D-sub socket, 9-pin
CX9020-M510	CANopen master interface, D-sub plug, 9-pin
CX9020-B510	CANopen slave interface, D-sub plug, 9-pin
CX9020-M930	PROFINET RT, controller interface, Ethernet (2 x RJ45)
CX9020-B930	PROFINET RT, device interface, Ethernet (2 x RJ45 switched)
CX9020-B950	EtherNet/IP slave interface, Ethernet (2 x RJ45 switched)

i Product announcement	CX9020-011T, CX9020-N0xx, CX9020-x310, CX9020-x510, CX9020-x930, CX9020-B110: available CX9020-B950: estimated market release on request
-------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



EL7211-0010 | Servomotor terminal for OCT, 50 V DC, 4.5

A_{RMS}

The EL7211-0010 servomotor EtherCAT Terminal with integrated One Cable Technology (OCT) offers high servo performance in a very compact design for motors from the AM8100 up to 4.5 A_{RMS}. The One Cable Technology combines a motor cable and an absolute feedback system in a single cable. The integrated electronic type plate of the AM81xx motors can be read in automatically by the servo terminal to configure the motor parameters automatically. Thus, wiring and commissioning expenditure are minimised.

The fast control technology, based on field-orientated current and PI speed control, supports fast and highly dynamic positioning tasks. The monitoring of numerous parameters, such as overvoltage and undervoltage, overcurrent, terminal temperature or motor load via the calculation of a I²T model, offers maximum operational reliability. EtherCAT, as a high-performance system communication, and CAN-over-EtherCAT (CoE), as the application layer, enable ideal interfacing with PC-based control technology. The latest power semiconductors guarantee minimum power loss and enable feedback into the DC link when braking. 16 LEDs indicate status, warning and error messages as well as possibly active limitations.

Technical data	EL7211-0010
Number of channels	1 servomotor, absolute feedback, motor brake, 2 digital inputs
Connection method	direct motor connection
Load type	permanent-magnet synchronous motors
Nominal voltage	8...50 V DC
Output current I _N	4.5 A (rms)
Performance increase	-
Peak current I _N	9.0 A (rms) for 1 s
Frequency range	0...599 Hz
PWM clock frequency	16 kHz
Current controller frequency	32 kHz
Rated speed controller frequency	16 kHz
Output voltage motor brake	24 V DC (+6 %/-10 %)
Output current motor brake	max. 0.5 A
Current consumption power contacts	typ. 50 mA + holding current motor brake
Current consumption E-bus	typ. 120 mA
Special features	compact and system-integrated, absolute feedback, One Cable Technology (OCT), plug-and-play
Weight	approx. 95 g
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/see documentation
Approvals	CE, UL
Accessories	
EL9576	brake chopper terminal, 72 V, 155 µF
AM811x	Synchronous servomotor for servo terminal, 0.20 – 0.52 Nm
AM812x	Synchronous servomotor for servo terminal, 0.5 – 0.8 Nm
AM813x	Synchronous servomotor for servo terminal, 1.35 Nm
ZB85xx	Shield busbar with mounting rail holder, shield busbar clamps
ZK47x4-04xx, ZK4000-xxxx	Supply cables for Compact Drive Technology

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Ontwerp van een universele toren voor een automatisch aanpasbare lasmal voor uitlaatsystemen

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**
Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Bongartz, David

Rutten, David

Datum: **4/06/2018**