

Polsgewricht voor High speed handelingssystemen



Auteur: Ricardo struik

Afstudeeropdracht Polsgewricht

Duur afstudeerperiode: 26-08-2013 t/m 19-12-2013

Student: Ricardo Struik
Student nr: 10004424
Email: ricardostruik@hotmail.com
Telefoon: 06-50945345

Instelling: Haagse Hoge school
Opleiding: HBO Werktuigbouwkunde

Afstudeerbedrijf: Festo
Bedrijfsmentor: Ing. Jeffrey Boers
Email: bsj@festo.nl
Telefoon: +31(0) 15 251 887 91

Datum: 6-12-2013

Voorwoord

Na mijn afstudeerperiode kijk ik terug op een zeer leuke en vooral leerzame ervaring. Achteraf is de opdracht meer werk geweest dan ik van tevoren had ingeschat. De reden hiervan is dat tijdens mijn onderzoek zeer veel interessante technisch aspecten naar voren zijn gekomen die ik volledig heb willen begrijpen. Dit had tot gevolg dat ik zeer tevreden terug kan kijken op deze leerervaring en het resultaat dat nu voor u ligt.

Ik heb de afstudeerstage bij Festo als zeer plezierig ervaren, daarom wil ik graag alle mensen die hebben geholpen aan de totstandkoming van deze scriptie bedanken voor de zeer soepele samenwerking die heeft plaatsgevonden. In het bijzonder zou ik mijn bedrijfsmentor Jeffrey Boers willen bedanken. Ik heb onze gesprekken als zeer nuttig en opbouwend ervaren. Ook wil ik Souren de Jong en Jan van de Zaan bedanken. Ik heb zeer veel opgestoken van hun praktijkervaring en heb deze kennis om kunnen zetten in een goed technisch ontwerp. Als laatste wil ik Arnoud Tukker en Marco Stijlen bedanken voor de bereidheid hun kennis op rekenkundig gebied te delen.

Ik wens u als lezer van mijn scriptie veel plezier en een leerzame ervaring. Mocht u vragen hebben na het lezen van de scriptie kunt u altijd per mail contact met mij opnemen via: ricardostruik@hotmail.com

Delft, 6-12-2013

Afstudeeropdracht

Op dit moment is er behoefte aan het verder uitwerken van de polsgewricht grijper.

Na een eerste en tweede prototype te hebben uitgewerkt en getest, zijn er een aantal technische aspecten in het ontwerp die moeten worden verbeterd/geoptimaliseerd.

Naast de functionele verbeteringen is er ook behoefte aan een kostenreductie van het product. Dit vereist een goede analyse van de gebruikte technieken voor het realiseren van de diverse functies.

Het gewenste eindresultaat is een compleet TPD (technisch productie dossier) van waaruit het product kan worden gemaakt.

Dit project wordt gekenmerkt door de volgende technische vraagstukken:

- Verbeteren van de performance van diverse functies
- Het reduceren van de integrale kostprijs door toepassing van optimale functionele oplossingen
- Het coördineren van het tekenwerk en de generatie van het TPD

Geschatte werkbelasting:

400 – 800 uur. De opdracht zal worden beperkt tot de maximaal beschikbare tijd en zal worden aangevuld met capaciteit van andere engineers van Festo.

Handtekening bedrijf

handtekening student

Samenvatting

Om de Tripod breder inzetbaar te maken is het nodig het systeem van extra vrijheidsgraden te voorzien. Daarom is er tijdens een eerdere stage een polsgewricht gemaakt dat de Tripod van twee extra assen voorziet. Van dit ontwerp is een prototype gebouwd. Toch is het systeem nog niet gereed voor productie.

Tijdens de onderzoeksfase is aan het licht gekomen dat het systeem onnauwkeurig, onbetrouwbaar en zeer onderhoudsgevoelig is. Dit komt voornamelijk door de toegepaste bedieningskabels. Na analyse is herontwerp noodzakelijk gebleken. Ook is het noodzakelijk om het pakket van eisen enigszins bij te stellen. De te verplaatsen last zal tussen de 0,1 en de 0,5 kilo zijn. De eisen betrouwbaarheid en onderhoud wegen zwaarder dan het gewicht van de constructie.

Middels het methodisch ontwerpproces is een nieuw ontwerp ontstaan. Hierbij wordt de aandrijving horizontaal op de basisplaat van de Tripod gemonteerd.

Om het systeem zeer efficiënt in te kunnen zetten, is het modulaair opgebouwd. Het is mogelijk voor de klant om een losse kantel of rotatie functie te bestellen indien slechts één enkele extra vrijheidsgraad gewenst is. Middels de bijgeleverde rekentool in Excel kan specifiek voor de werkomstandigheid de motorspecificaties worden gegeven. Hierdoor kan het systeem specifiek aan de situatie van de klant worden samengesteld voor optimaal gewicht, kosten en functionaliteit.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
2	Onderzoeksfase	7
2.1	Wat is een Tripod	8
2.1.1	Werkgebied	8
2.1.2	Vergroten van het werkgebied	9
2.1.3	Werksnelheid	10
2.2	Analyse huidige polsgewricht	11
2.2.1	Werking	11
2.2.2	Praktijktest	12
2.2.3	Conclusie huidig concept	13
2.3	Herziene eisen en wensen	14
2.3.1	Randvoorwaarde	14
2.3.2	Functionele Eisen	14
2.3.3	Ontwerpbeperkingen	14
2.3.4	Wensen	14
3	Conceptfase	15
3.1	Eerste keuzemoment	15
3.2	Tweede keuzemoment	15
3.3	Derde keuzemoment	15
3.4	Vierde keuzemoment	15
3.5	Verloop van het project	16
4	Detalleringfase	17
4.1	Motoren	17
4.2	Tandwielen	18
4.2.1	Tandbreuk berekening	19
4.2.2	Tandwielen bevestigen d.m.v. inklemming	20
4.2.3	Tandwielen bevestigen d.m.v. lijmverbinding	21
4.2.4	Tandwiel bevestiging aan de motoras	21
4.3	Aandrijfas	22
4.4	Lager	23
4.4.1	Tweerijg hoekcontactlager	23
4.4.2	Zelfsmerend glijlager	23
4.5	Modulariteit	24
5	Realisatiefase	26
5.1	Werktekeningen	26
5.2	Werkinstructie	26
5.3	Implementatie	27
5.4	Onderhoud	28
5.4.1	Tandwielen	28
5.4.2	Hoekcontactkogellager	28
5.4.3	Glijlager	28
5.4.4	Kantellager	28
5.4.5	Aandrijving	28
5.4.6	Conclusie	28
5.5	Kosten	29
5.5.1	Eenmalige kosten	29
5.5.2	Repeterende kosten	29
5.5.3	Besparing	29
6	Conclusie	30
7	Aanbeveling	30
8	Verklarende woordenlijst	31
9	bijlage	32

1 Inleiding

Festo heeft enige tijd geleden een Delta robot op de markt gebracht. Deze robot is in staat om producten te verplaatsen met hoge snelheid. Deze robot noemt men bij Festo de EXPT Tripod. De Tripod beschikt slechts over een beperkt aantal vrijheidsgraden, dit betekent dat het producten op slechts één manier kan oppakken. Vanuit de markt is de vraag ontstaan of het systeem flexibeler kan worden door meer vrijheidsgraden te introduceren.

Tijdens een eerdere stage is een ontwerp ontstaan die de Tripod van deze vrijheidsgraden voorziet. Nu is de vraag of dit ontwerp de oplossing is waar de markt op heeft gewacht. Om deze vraag te kunnen beantwoorden worden de kosten, de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid onderzocht en besproken.

Nu het onderzoek afgerond is en de resultaten binnen zijn, is gebleken dat het eerder gemaakte polsgewricht zich in de praktijk anders gedraagt dan in theorie was aangenomen. Ook zijn de eisen en wensen waaraan het polsgewricht moet voldoen bijgesteld aan de hand van een marktonderzoek.

Doordat het huidige prototype niet geheel aansluit op de gestelde eisen is het ontwerp bijgesteld. De totstandkoming van het nieuwe ontwerp wordt volledig besproken in de bijlage. Deze Scriptie geeft antwoord op de vraag: Hoe ziet het ideale polsgewricht voor de Tripod van Festo eruit?

2 Onderzoeksfase

Voordat er aan een project gebouwd kan worden dient er een goede fundering gelegd te worden. Dit wordt gedaan in het vooronderzoek. In het vooronderzoek worden de volgende vragen beantwoord:

- Wat is de huidige situatie?
Hoe ziet het systeem er uit, hoe werkt het en wat kost het?
- Hoe ziet de markt er uit?
Wie gaat er mee werken, hoe groot zal de afname van het product zijn en wat zijn de gewenste specificaties van het product?
- Welke systemen bestaan er al voor dit probleem?
Welke systemen van concurrenten bestaan er, hoe werken deze en hoe kunnen deze een bijdrage leveren aan dit project?

In de volgende hoofdstukken worden deze vragen beantwoord.

2.1 Wat is een Tripod

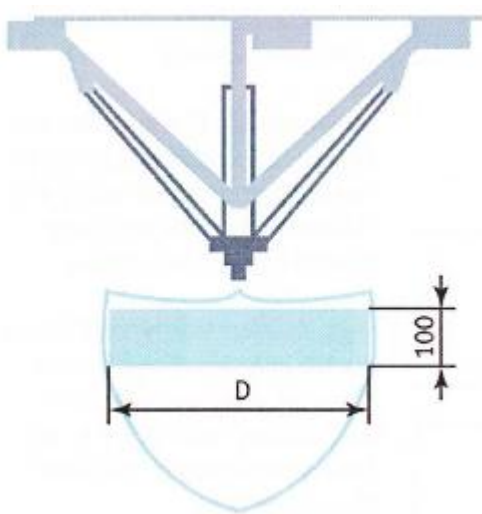
Festo heeft zich gespecialiseerd in het automatiseren van productieprocessen. Met name het beheersen van bewegingen speelt een belangrijke rol. Dit wordt ook wel motion in control genoemd. Een manier om producten snel te verplaatsen is door middel van een pick and place unit. Dit is een mechanisch systeem dat producten kan pakken en verplaatsen.

In Figuur 1 (Tripod) is een afbeelding van de Tripod zichtbaar. De Tripod van Festo wordt vaak ingezet voor pick and place applicaties. Deze verplaatst producten door middel van drie armen, vandaar de naam Tripod. Door deze armen te verlengen en terug te trekken zijn bewegingen in alle gewenste richtingen mogelijk. Door deze manier van bewegen valt de Tripod onder de categorie Delta robot.

Aan het eind van de drie armen zit een plateau bevestigd met de afmetingen 200x200mm. Hierop zal volgens de opdracht het polsgewricht gemonteerd worden. Verder in het verslag zal deze basisplaat genoemd worden. Dit gewricht stelt de unit in staat om producten onder alle hoeken vast te pakken en maakt het geheel nog beter inzetbaar. Doordat producten niet altijd op een ideale oppakpositie liggen is het nodig om de unit de mogelijkheid te geven dat deze zich zo kan positioneren dat het product alsnog gepakt kan worden.

2.1.1 Werkgebied

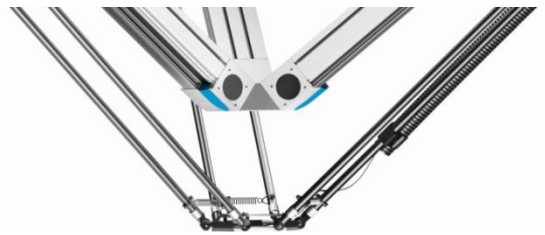
Het werkgebied van de Tripod is te complex om met alleen woorden te beschrijven, daarom wordt in Figuur 3 (werkgebied) een beeld geschetst van het werkgebied. Het werkgebied van de Tripod is het grootst op een hoogte van 100 mm. Het optimale werkgebied vormt door de drie-assige ophanging een cilinder. Festo produceert verschillende grootte Delta robot's met ieder een eigen diameter werkgebied. In Figuur 4 (Diameter werkgebied) is per type Tripod het werkgebied aangegeven. Hierbij is het werkgebied afhankelijk van de hoogte waarin de basisplaat zich bevindt.



Figuur 4 (werkgebied)

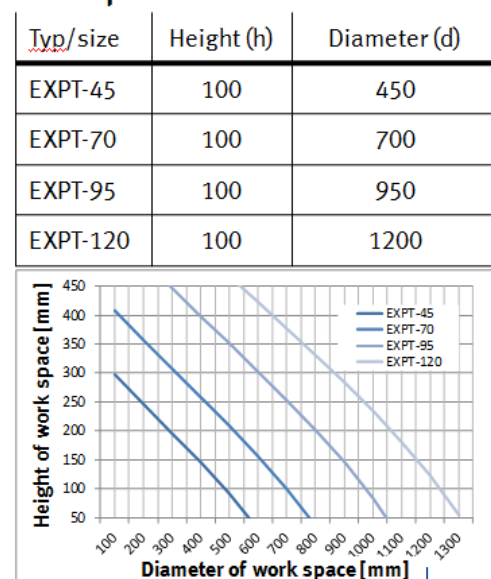


Figuur 1 (Tripod)



Figuur 2 (Basisplaat)

Work space



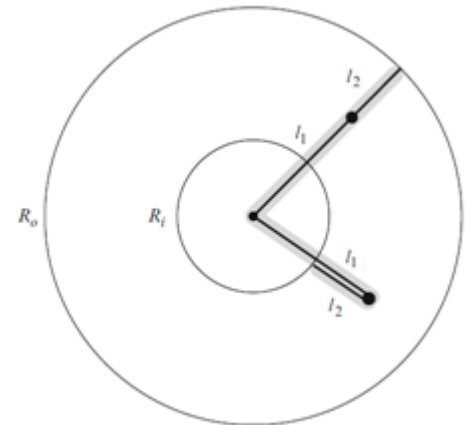
Figuur 3 (Diameter werkgebied)

2.1.2 Vergroten van het werkgebied

Het werkgebied van een robot wordt bepaald door zijn dimensionering. De lengte van de armen bepalen de maximale reikwijdte. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen twee delen van het werkgebied. Deze gebieden zijn reachable workspace en dexterous workspace. Hieronder worden twee veel toegepaste systemen met hun werkgebieden vergeleken.

Seriële kinematica. Dit is een robotarm waarbij de armen en gewrichten serieel geschakeld zijn. Dit zijn relatief zware armen omdat iedere arm het complete gewicht van de last moet dragen. Door middel van dit systeem wordt in Figuur 5 (reachable workspace) het werkgebied uitgelegd van een robot met twee armen en gewrichten.

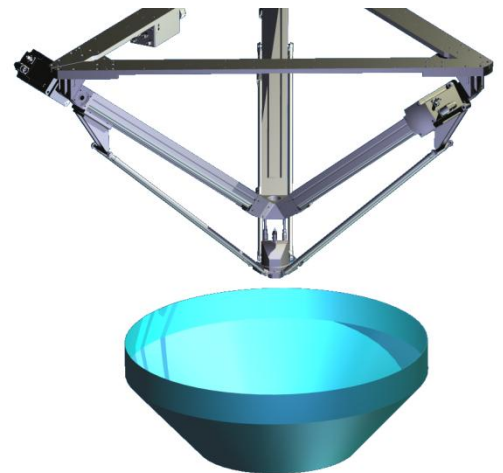
Onder reachable workspace verstaat men het volledige werkgebied van de robot. Dit principe wordt in Figuur 5 (reachable workspace) verduidelijkt. Wanneer een robot met twee armen en één gewricht zijn arm strekt kan de buitenste rand van de cirkel gehaald worden. Wanneer arm L2 terug draait kan de binnenste cirkel gehaald worden. Het gebied tussen de twee cirkels is het werkgebied waarin de grijper van de robot kan bewegen.



Figuur 5 (reachable workspace)

Parallele kinematica. Bij dit systeem werken de armen en gewrichten samen om de last te verplaatsen. Het gewicht van de last wordt verdeeld over de gewrichten. Hierdoor kan het systeem lichter worden uitgevoerd dan bij seriële kinematica.

De Tripod is een delta robot. Dit betekent dat het werkgebied er iets anders uit komt te zien. Zie Figuur 6 (werkgebied Tripod). Echter is de werking van het reachable werkgebied onveranderd gebleven. Aangezien de Tripod met de drie assen overal binnen de blauw gekleurde ruimte kan komen is dit het werkgebied. Ook in het midden van de cilinder. Omdat de Tripod alleen langs de Z-as producten binnen het gebied kan pakken is het complete gebied het reachable werkgebied.

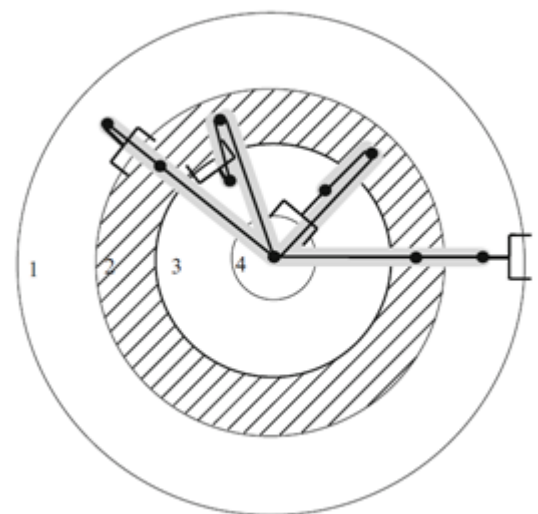


Figuur 6 (werkgebied Tripod)

Een nieuwe situatie ontstaat wanneer er meer gewrichten in de robotarm toegepast worden. Door het toepassen van een extra arm met een eigen gewricht is het mogelijk om binnen een werkgebied een zone te creëren waarin producten onder iedere gewenste hoek opgepakt kunnen worden. Dit gebied wordt het dexterous werkgebied genoemd. Zie Figuur 7 (dexterous workspace).

Dit zal ook het geval zijn wanneer Tripod voorzien wordt van het polsgewricht. Door de extra armen en assen ontstaat er een gebied waarin het product op iedere gewenste manier opgepakt kan worden.

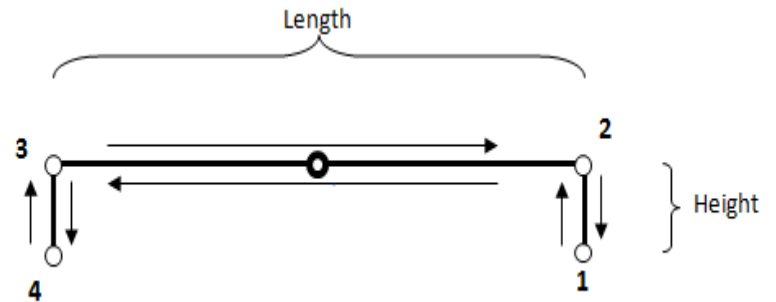
Het polsgewricht zal werken met zeer korte armen. Dit wordt gedaan om de momenten die in de gewrichten ontstaan als gevolg van de massa traagheid zo laag mogelijk te houden. Een bijkomend voordeel hiervan is dat hiermee het dexterous werkgebied maximaal wordt. Dit levert een zeer groot effectief werkgebied op.



Figuur 7 (dexterous workspace)

2.1.3 Werksnelheid

De werksnelheid wordt ook wel de Duty cycle genoemd. Dit wordt gemeten in picks per minute. Picks per minute betekent het aantal keer dat de Tripod een product kan oppakken, verplaatsen en weer terug kan keren naar zijn oorspronkelijke positie. Dit principe wordt weergegeven in Figuur 8 (Duty cycle)



Figuur 8 (Duty cycle)

De Tripod wordt in de documentatie van Festo ook wel EXPT genoemd. In Figuur 9 (expt info) staan de werkgegevens van de Tripod. Uit de grafiek is af te lezen hoe de lading (payload) de werksnelheid beïnvloed. Hoe zwaarder de lading hoe langzamer het systeem zal bewegen. Het gewicht van de polsconstructie zal zich dus direct vertalen naar een werksnelheid van de Tripod. Het is dus zaak het gewicht van de polsconstructie zo laag mogelijk te houden.

Festo past vaak een Adept cycle toe. Hierdoor is het afronden van de hoeken tot de helft van het pad toegestaan. In Figuur 8 (Duty cycle) kunnen de twee 90 graden hoeken worden afgerond. Hierbij wordt een radius toegepast die de dode punten in de hoeken laat wegvallen. Dit resulteert in een lagere systeembelasting en een hogere werksnelheid.

Tripod EXPT – technical data

Technical performance System:

- Max. acceleration 110 m/s²
- Max. velocity 7 m/s
- Repeatability +/- 0,1 mm
- Absolute accuracy +/- 0,5 mm*
- Path accuracy (at max. 0,3 m/s) +/- 0,5 mm*
- Payload at max. vel. and acc. 1 kg
- Max. payload 5 kg

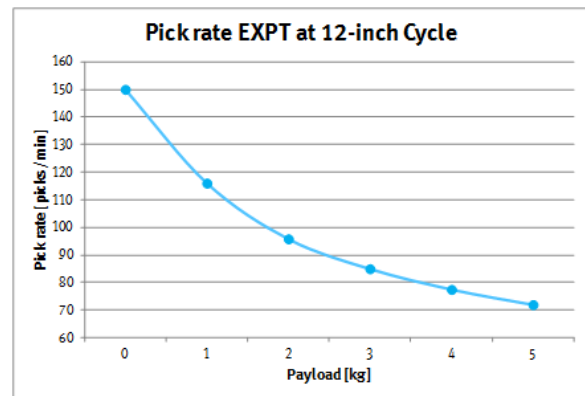
* Optional with calibrated systems

Pick rate (without gripping time):

Cycle [mm] 25/305/25

- Payload 0 kg 150 cycles/min*
- Payload 3 kg 85 cycles/min*
- Payload 5 kg 72 cycles/min*

* Cycles with a positioning accuracy of 0,5 mm
(The time for gripping has to be considered separately)



- Real high-speed applications have a pick rate of about 60 und 120 cycles per minute
- The cycle rate can be increased by using a multi gripper

Figuur 9 (expt info)

2.2 Analyse huidige polsgewricht

De achterliggende gedachte van het huidige prototype is om de massa van het systeem zo laag mogelijk te houden door de aandrijving buiten het bewegende deel van de constructie te plaatsen.

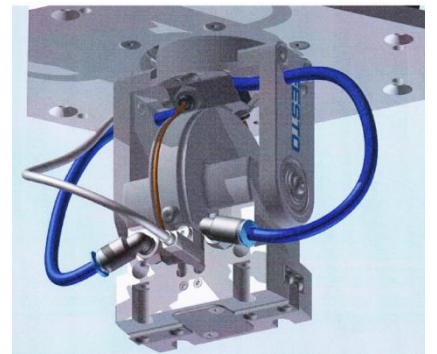
2.2.1 Werking

Het huidige concept gebruikt mechanische bedieningskabels, Figuur 10, om kinetische energie over te brengen. Deze kabels bestaan uit een gevlochten stalen binnenkabel die door een mantel wordt bewogen. Door de binnenkabel te bewegen ten opzichte van de buitenmantel is het mogelijk om trekkrachten over te brengen. Om dit principe met zeer weinig weerstand te kunnen uitvoeren is de buitenmantel uitgevoerd met een teflonlaag.



Figuur 10

Deze lineaire beweging van de kabel wordt door een poelie omgezet in een roterende beweging. Figuur 11 laat het huidige systeem zien. Door de binnenkabel aan de poelie te verankeren en de mantel aan een vast punt van de constructie is het mogelijk om de poelie te laten roteren wanneer de kabel wordt bewogen ten opzichte van de mantel. Aan de poelie zit een grijper gemonteerd die met de poelie mee roteert. Dit beschrijft de kantelfunctie van de pols.



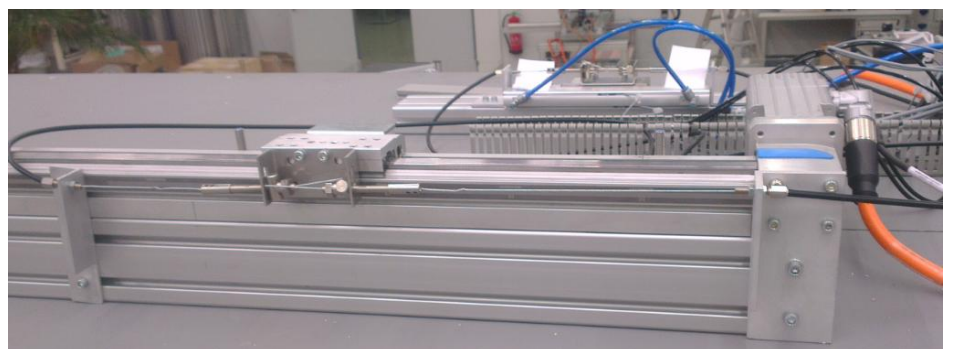
Figuur 11

Deze hele mechaniek is middels schroefverbinding verbonden met een gelagerde as. Aan de bovenzijde van de as zit ook een poelie met hierin een binnenkabel gefixeerd. De mantel van deze kabel zit aan de basisplaat van de Tripod verankerd. Wanneer de kabel van de rotatiemechaniek beweegt ten opzichte van zijn mantel roteert de complete polsconstructie.

De aandrijving die de kabel doet bewegen ten opzichte van zijn mantel staat op de vaste wereld. Een motor drijft een lineaire geleider aan (zie Figuur 12 ter illustratie). Op deze geleider zit een slede die een translerende beweging langs de as maakt. De stalen binnenkabel zit gefixeerd aan deze slede. De mantel zit geborgd aan het huis van de lineaire as. Wanneer de slede beweegt trekt deze de kabel uit de mantel. Aan de duwende kant van de slede laat de mechaniek de kabel vieren.

Door twee kabels contra aan de poelie te bevestigen is het mogelijk om de poelie star te laten bewegen. Veranderingen in bewegingen in het systeem worden opgevangen in de kabel. Door een voorspanning van 150 Newton blijft het systeem in theorie star. De voorspanning wordt gerealiseerd door een lange stelbout op de slede.

De uitgebreide werking van het concept en het krachtenspel dat optreedt wanneer het systeem in bedrijf is, staat beschreven in de bijlage VII.1 analyse huidige concept.



Figuur 12

2.2.2 Praktijktest

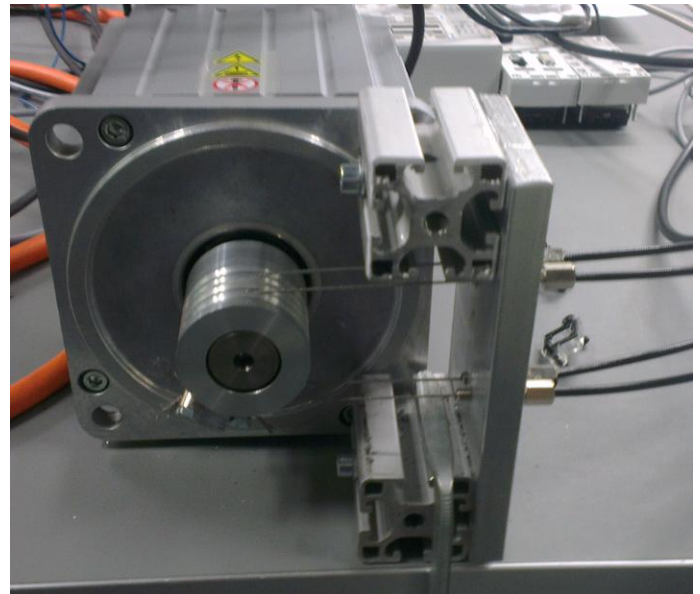
Om meer duidelijkheid te creëren over het gedrag van de kabels in de praktijk is een testopstelling ontworpen en gebouwd. De totstandkoming, opstelling en werking van de test zijn volledig beschreven in bijlage VII.3.

De gevlochten stalen binnenkabels zitten aan een poelie geborgd. De poelie zit aan een elektromotor. De kabelmantel is geborgd aan het huis van de motor. Zie Figuur 13 ter illustratie.

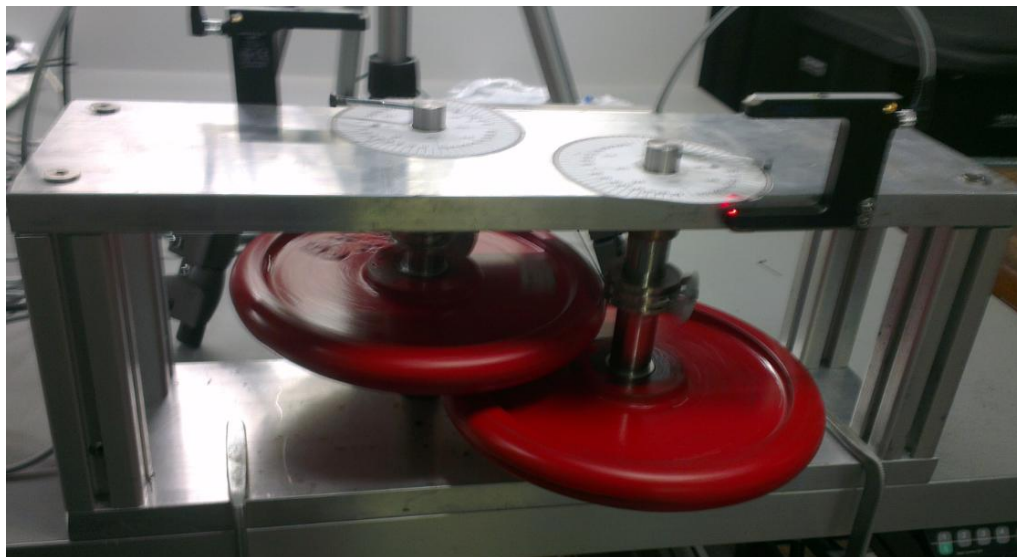
Wanneer de motor de poelie verdraait zal de kabel aan de trekkende zijde uit de mantel worden verplaatst en aan de duwende zijde de mantel in worden geleid. De poelie aan de motor is voorzien van vier gleuven waardoor de kabels gevoerd worden.

De testopstelling bestaat uit twee assen met op iedere as een gewicht van vijf kilo en een poelie. Aan de poelie zit ook een binnenkabel geborgd. Wanneer de motor de kabel beweegt zal de kabel de rode gewichten doen bewegen. Door de massastraagheid van de schijven ontstaat er een belasting in de kabel die overeenkomt met de belasting van het polsgewricht. Zie Figuur 14 ter illustratie.

Het aantal bochten en de straal van de bochten waarin de kabel is neergelegd komt overeen met de werksituatie van de Tripod. De wrijving tussen de kabel en de mantel in deze bochten zorgt voor warmte ontwikkeling. Ook ontstaat er rek in de kabel en het gevaar op breuk. Door het uitvoeren is meer inzicht verkregen in het werken met kabels. De resultaten van de test zijn te vinden in hoofdstuk VII 3.3 van de bijlage.



Figuur 13



Figuur 14

2.2.3 Conclusie huidig concept

Het huidige concept is in theorie een zeer goede oplossing om de Tripod te voorzien van twee extra vrijheidsgraden. In de praktijk zal het concept helaas niet uitvoerbaar zijn. Dit komt voornamelijk door de rek die in de kabels optreedt. Rek ontstaat door de volgende omstandigheden:

- De mantel moet settelen in de stelschroef
- De kabel moet inslijten in de mantel
- Er ontstaat een grote hoeveelheid elastische vervorming in het vlechtwerk van de binnenkabel
- Het materiaal van de binnenkabel rekt door de belasting
- De mantel rekt door de belasting
- Uitlijning tussen stelschroef en het aangrijpvlak van de poelie zijn essentieel

Deze factoren maken het systeem onnauwkeurig, onbetrouwbaar en geven het een korte levensduur. Door de kabel op te spannen is de rek tijdelijk op te lossen, maar iedere keer dat het systeem in bedrijf zal worden genomen zal er opnieuw rek ontstaan. Dit maakt het systeem onbetrouwbaar op langere termijn.

Naarmate de kabel langer in gebruik is zal de rek in de kabel toenemen als gevolg van vermoeiing van het materiaal. De mate van vermoeiing is sterk afhankelijk van de belasting van het systeem. Aangezien de kabel en mantel vrij tussen de basisplaat en de kooi van de Tripod kunnen bewegen is slechts een schatting op basis van testen mogelijk. Dit geeft een onnauwkeurig slijtage interval en een beperkte levensduur.

Een manier om deze speling automatisch te compenseren wordt voorgesteld in hoofdstuk IX 1.6. van de bijlage. Het concept is uitgevoerd met een automatische stelmechaniek. Door het toepassen van een gasveer die de mantel onder spanning houdt zal het systeem altijd over de juiste voorspanning beschikken.

Een groot toepassingsgebied van de Tripod is als pick and place applicatie. Hierbij wordt het systeem gebruikt om producten aan de ene zijde op te pakken en aan de andere zijde terug te plaatsen. Wanneer het systeem een product pakt en verplaatst wordt het systeem belast. Wanneer het systeem zonder last terug verplaatst zal het minder zwaar belast worden. Dit zorgt voor een ongelijkmatige slijtage aan de kabels. Door de ongelijkmatige slijtage is het nodig om het systeem tussentijds opnieuw te kalibreren.

Al deze punten samen hebben er toe geleid dat de opdrachtgever van het principe afziet en kiest voor een onderhoudsvriendelijkere oplossing. In het eisen en wensen pakket tellen de eisen van nauwkeurigheid en onderhoudsgevoeligheid zwaarder dan het gewicht van de constructie.

2.3 Herziene eisen en wensen

Het programma van eisen en wensen is een groeiend product. Deze wordt gevormd door alle belanghebbende partijen* van het project. Pas na een volledig onderzoek is het mogelijk om de eisen en wensen definitief vast te stellen. Na veel gesprekken met betrokken partijen is het onderstaand programma van eisen en wensen gevormd.

2.3.1 Randvoorwaarde

- Het TPD voor de Polsgewricht gripper dient voor 19 december 2013 af te zijn.

2.3.2 Functionele Eisen

- De Z-as moet minimaal 360 graden kunnen roteren
- De kantel hoek in de X-as moet groter dan 180 graden. De nieuwe draaihoek moet 190 graden worden.
- Er dient een besparing van minstens 10 % te komen op de productie en assemblage kosten t.o.v. het huidige concept.
- Het systeem zal producten gaan verplaatsen tussen de 0,1 en 0,5 kg
- Het systeem dient modulair te zijn. Er moet een keuze mogelijkheid komen om een losse kantel- of losse rotatie functie te kopen.
- Meerdere aandrijfsystemen mogelijk. De klant kiest zelf een aandrijfmotor.
- Het onderhoudsinterval van het polsgewricht moet minimaal gelijk zijn aan dat van de Tripod.

2.3.3 Ontwerpbeperkingen

- De constructie mag inclusief lading niet meer bedragen dan 5 kg.

2.3.4 Wensen

- Oplossen speling in het systeem polsgewricht.
Slijtage aan de stalen aandrijfkabel zorgt ervoor dat de kabel langer wordt. Hierdoor ontstaat er speling. Dit maakt het systeem onnauwkeurig. Een star systeem is wenselijk voor deze pick and place applicatie.
- Onderzoeken of het mogelijk is verschillende grippers en zuignappen te monteren aan het gewricht.
Op dit moment is er slechts één gripper mogelijk op het systeem. Door een universele montageplaat voor onder het gewricht te construeren zal het mogelijk worden om ook andere grippers en zuignappen te monteren.
- Het systeem moet ook bij de T en H gantry toegepast kunnen worden.
- Hoogte compensatie.
Doordat de Tripod zeer snel accelereert en decelereert is er sprake van "doorschot". Dit betekent dat de gripper onder aan de Tripod zijn doel enigszins voorbij schiet. Om er voor te zorgen dat de gripper het product niet beschadigt, is er een mechanisme nodig dat het product beschermt tegen dit fenomeen.
- Het verband tussen nauwkeurigheid, aantal posities en prijs specificeren.
- Materiaal onderzoek
Veel van de onderdelen zijn van aluminium. Uit onderzoek kan blijken dat er lichtere materialen gebruikt kunnen worden als alternatief.

* stakeholder analyse hoofdstuk II van de bijlage

3 Conceptfase

Het traject dat tijdens de ontwerpfase doorlopen wordt is zeer belangrijk. Uit het vooronderzoek is gebleken welke eisen en wensen belangrijk zijn om te verwerken in het eindconcept. Aangezien het huidige concept niet voldoet aan de gestelde eisen is het nodig om het ontwerp te herzien.

Het ontwerpproces bestaat uit keuzes creëren en keuzes maken. Dit wordt ook wel divergeren en convergeren genoemd. Tijdens de brainstormsessie worden mogelijkheden gecreëerd. Deze mogelijkheden worden overzichtelijk gemaakt in een morfologisch overzicht. Vervolgens worden keuzes gemaakt (geconvergeerd), hierbij worden keuzes gemaakt op basis van de gestelde eisen. Het gebruikte hulpmiddel hiervoor is de kesselring methode.

Bij complexe systemen zoals deze is het vaak nodig om een aantal keuze momenten te creëren om tot het beste eindresultaat te komen.

3.1 Eerste keuzemoment

Het eerste keuzemoment wordt beschreven in hoofdstuk IX.1. van de bijlage. Er zijn meerdere verschillende basisprincipes mogelijk om een licht gewicht polsgewricht te construeren. Na de brainstorm zijn verschillende mogelijkheden in het morfologisch overzicht gezet waaruit een zevental concepten zijn voortgekomen. Door met alle betrokken partijen* te spreken zijn alle criteria** waaraan het product moet voldoen vastgesteld. Hieruit is gebleken dat de klant het best verder kan gaan met een elektrisch systeem waarbij de motor vlakbij de uit te voeren functie gemonteerd zit.

Om een slag om de arm te houden heeft de opdrachtgever er voor gekozen om twee concepten uit te laten werken. Het bestaande concept wordt ook verder aangepast om aan het eisen en wensen pakket te kunnen voldoen.

3.2 Tweede keuzemoment

Het tweede keuzemoment wordt beschreven in hoofdstuk X.1.7. van de bijlage. Aangezien er meerdere manieren zijn om de kantel en rotatie functie door elektromotoren uit te laten voeren zijn er verschillende mogelijkheden uitgezet die geleidt hebben tot drie verschillende elektrische concepten en een verbetering van het huidige concept.

3.3 Derde keuzemoment

Vanaf het moment dat alle concepten volledig zijn uitgewerkt kan er een goede inschatting gemaakt worden over assemblage, implementatie en onderhoud. Tijdens het derde keuzemoment is het definitieve concept gekozen. Er is voorafgaand aan dit keuzemoment zeer veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden en beperkingen die de concepten met zich mee brengen. Uiteindelijk is er gekozen voor een elektrisch aangedreven systeem*** met twee motoren die horizontaal boven de basisplaat van de Tripod gemonteerd zijn.

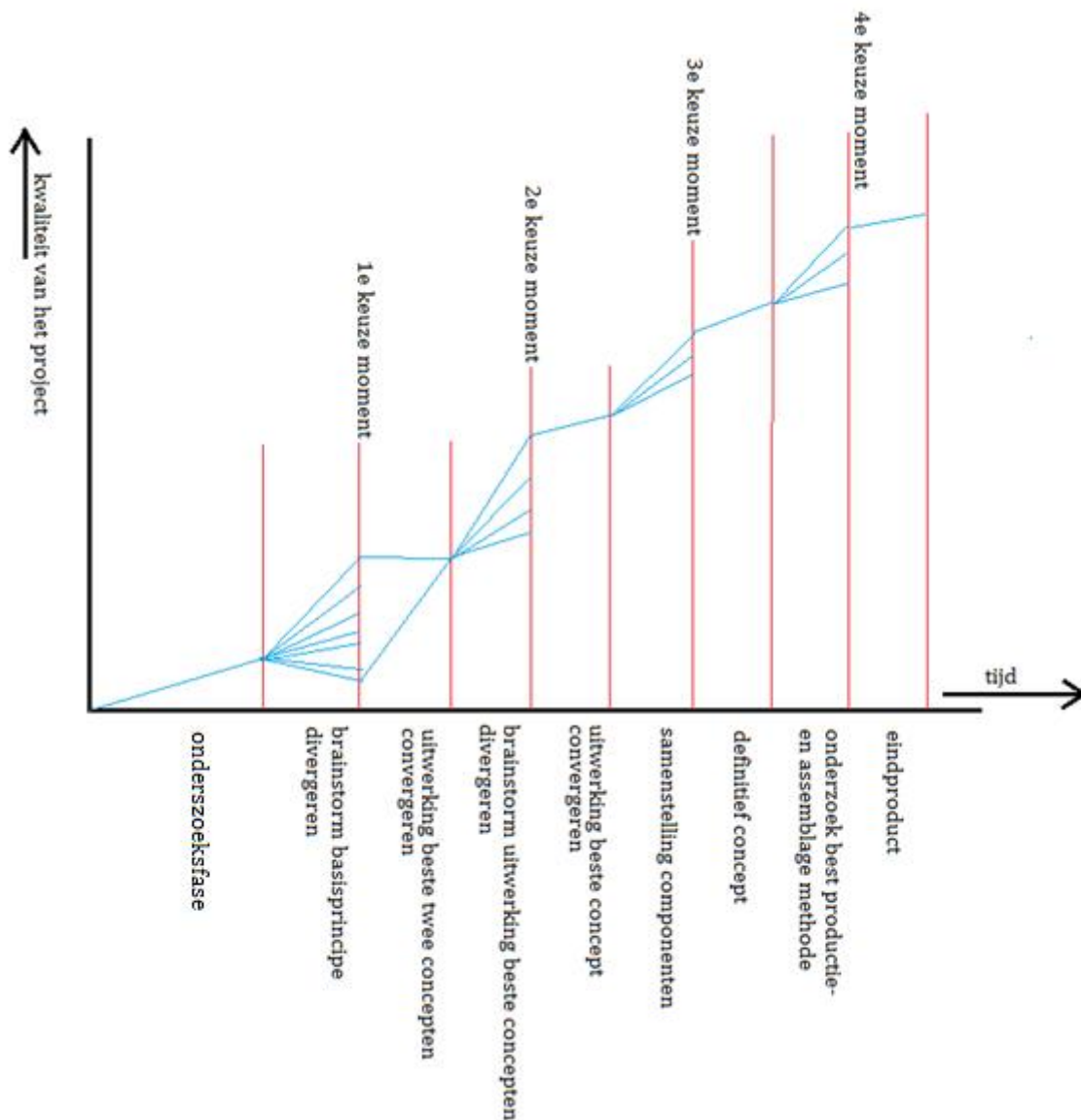
3.4 Vierde keuzemoment

Nu het definitieve concept vast staat is het mogelijk om over de productie van de componenten na te denken. Bij het vierde en laatste keuzemoment wordt het concept productierijp gemaakt. Er worden productie methodes voor de losse onderdelen ontwikkeld en er komt een assemblagehandleiding. Bij het kiezen van de beste productiemethode wordt gekeken naar het aantal producten dat geproduceerd zal gaan worden**** en naar de kosten. Deze fase wordt beschreven in hoofdstuk 5 Realisatiefase van dit verslag.

* Bijlage stakeholder analyse II.
** Beoordelingscriteria bijlage IX.1.
*** Eindconcept bijlage X.3.
**** Marktonderzoek bijlage VI.

3.5 Verloop van het project

Het verloop van een project kan in een grafiek worden weergegeven. Naarmate men verder in de tijd gaat neemt de kwaliteit van het project toe. De verschillende onderwerpen die in dit rapport besproken worden kunnen worden ingevuld in onderstaande grafiek. Om tot een goed product te komen dat aansluit bij de gestelde eisen worden een aantal keuzes gemaakt. Deze keuzes zijn in vorig hoofdstuk reeds gedefinieerd. Hoe de keuzes gemaakt worden en aan welke eisen de keuzes getoetst worden bepalen het uiteindelijke product dat aan het eind van het project wordt opgeleverd. Door een project systematisch aan te pakken is het mogelijk om gemaakte keuzes te verklaren aan de opdrachtgever.



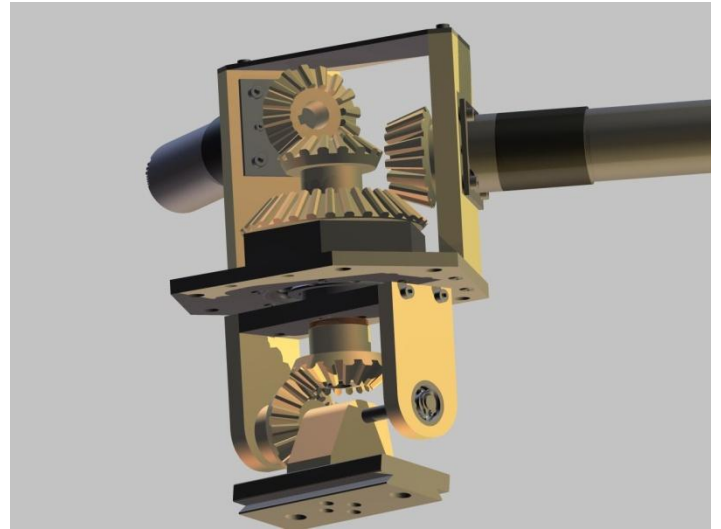
Wanneer een project een lange tijd stil heeft gestaan door onverwachte vertragingen of wordt overgedragen aan een ander persoon die het project zal leiden, is het belangrijk dat het project kan worden voortgezet zonder moeite. Een goed opgebouwde systematische documentatie verzekert het project van een goede afloop.

4 Detailleringfase

Nu het eindconcept gekozen is zal het verder gespecificeerd moeten worden. Het basisprincipe en de daarbij behorende krachten zijn bekend, maar er zijn hiermee nog geen onderdelen te bestellen of te fabriceren. Daarom worden in de detailleringfase alle onbekende factoren bepaald. Deze factoren zijn:

- Van welk materiaal worden de onderdelen gemaakt?
- Welke afmetingen moeten de assen hebben om het benodigde koppel over te brengen?
- Welke lagers worden toegepast?
- Hoe worden de onderdelen onderling met elkaar verbonden?

In de volgende hoofdstukken wordt de opbouw van het nieuwe polsgewricht besproken.



Figuur 15 (eindconcept)

4.1 Motoren

Door het invullen van de gemaakte rekentool* in Excel is het mogelijk om een accurate motorkeuze te maken bij iedere werksituatie. De rekentool geeft precies het benodigde aandrijfmoment en maximale toerental aan dat nodig is om de handling uit te voeren. Met deze gegevens is het mogelijk om een aandrijfsysteem bij ieder bedrijf uit te zoeken en bestellen. Om meer inzicht te geven in beschikbare motoren die het systeem goed zouden kunnen aandrijven worden lichte aandrijfmotoren in hoofdstuk X.7.1. van de bijlage behandeld.

Doordat de motoren op een aanpasbare stalen plaat gemonteerd worden is het mogelijk om motoren van verschillende leveranciers toe te passen. Dit principe wordt in hoofdstuk 5.3 verder uitgelegd. Het is dus mogelijk om motoren te vergelijken op basis van de benodigde specificaties uit de rekentool, op gewicht, op inbouwmaat en op prijs.

De restricties die gelden bij het uitzoeken van een aandrijfmotor komen voort uit de beschikbare inbouwruimten. Deze restricties zijn:

- De motoras diameter mag niet groter zijn dan 12mm.
- De bevestigingsboutgaten mogen niet verder dan 15 mm vanaf het hart van de motoras liggen.
- Het gewicht van de motor inclusief gearbox en sensor mag niet meer dan 1,5 kilo bedragen.

* rekentool bijlage XI

4.2 Tandwielen

Om het werkgebied van de Tripod niet te beperken is er gekozen om de motoren horizontaal te plaatsen. Aangezien de armen van de Tripod in het midden van de constructie samenkomen is er botsingsgevaar op dit punt. Wanneer de pols constructie te hoog zou zijn, kan de pols tegen de Tripod aankomen. Het is dus zaak om de constructie boven de basisplaat zo laag mogelijk te houden.

Dit wordt gerealiseerd door de motoren van het polsgewricht horizontaal te plaatsen. Aangezien de aandrijfas naar de pols verticaal is, dient er een overbrenging te worden toegepast tussen de horizontale motoras en de verticale aandrijfas in de pols. Deze overbrenging wordt gerealiseerd door conische tandwielen.

Om het gewicht van de pols laag te kunnen houden zijn verschillende materialen vergeleken voor de realisatie van het gewricht. Het grootste deel van de tandwielen op de markt wordt vervaardigd uit staal. Staal is een goed materiaal voor tandwielen doordat het over veel gunstige eigenschappen beschikt. Staal is; sterk, slijtvast en taai. Echter is staal ook relatief zwaar.

Festo beschikt over veel kennis van aluminium. Aluminium heeft een lagere dichtheid dan staal en is daarmee een stuk lichter. Echter is er nog een stuk lichter materiaal mogelijk. Dit materiaal is Polyamide (PA6). Polyamide is ook wel bekend als nylon en wordt veel toegepast in de voedselindustrie. Polyamide beschikt over de volgende eigenschappen:

Eigenschappen PA6	Waarde
Elasticiteitsmodules	3.250 MPa
Toelaatbare statische vlaktedruk	18 N/mm ²
Dichtheid	1.15 g/cm ³
Vochtopname	9%

Eigenschappen aluminium	Waarde
Elasticiteitsmodules	69 GPa
Toelaatbare statische vlaktedruk	55 N/mm ²
Dichtheid	2.7 g/cm ³
Vochtopname	0%

Eigenschappen staal	Waarde
Elasticiteitsmodules	210 GPa
Toelaatbare statische vlaktedruk	100 N/mm ²
Dichtheid	7.8 g/cm ³
Vochtopname	0%

De kunststof tandwielen moeten sterk genoeg zijn om de aandrijfkraft van de motor over te kunnen brengen. De sterkte van de tandwielen wordt bepaald door het gekozen materiaal en de tandwiel moduul. Het moduul is de verhouding tussen het aantal tanden, de breedte van de tanden en de straal van het tandwiel. Hoe breder de tanden hoe sterker het tandwiel. Echter is de maximale breedte van de tanden afhankelijk van de straal van het tandwiel. Hoe kleiner de straal van het tandwiel des te smaller de tanden moeten worden.

Voor het polsgewricht zijn de volgende tandwielen gekozen.

Materiaal	Moduul	Overbrenging	Gewicht [g]	Artikel nummer (KOBO)	Toepassing
PA 6	2,5	1:1	44	4O251000	Kantelmechaniek boven
PA 6	2,5	1:1	44	4O251000	Kantelmechaniek onder
PA 6	2,5	2:1	98	4O252000	Rotatiemechaniek

4.2.1 Tandbreuk berekening

Bij tandwielen die vervaardigd zijn uit staal is de kans op puntvorming op de tandflanken een belangrijke factor. Puntvorming is het slijten van de tandflanken waardoor de normaal botte tanden een scherpe bovenzijde krijgen. Dit fenomeen is bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar bij de kettingaandrijving van motorfietsen. Bij tandwielen van zachtere materialen is dit niet het geval. Tandwielen van zachte materialen zijn gevoelig voor breuk op de tandvoet. Om zeker te weten dat de tanden niet bezwijken tijdens het in bedrijf zijn van het gewricht is er een berekening uitgevoerd. Middels deze berekening is gekeken of de gekozen moduul van de tanden hoog genoeg is om het systeem probleemloos aan te kunnen drijven.

$$m = 1,26 * \sqrt[3]{\frac{M * K_a * K_v}{Z * \lambda * Y * \sigma_{bt}}}$$

m = moduul. [verhouding tussen tandbreedte en straal van het tandwiel]

K_a = factor aandrijving + last (blz 381 machineonderdelen ir. Stolk)

Dit is de mate waarin het systeem schokt. Hoe soepeler de aandrijving hoe dichter deze de factor 1 benadert. Hoe schokkeriger de aandrijving hoe hoger het getal.

$$K_v = \frac{3 + v}{v} \text{ voor open tandkast}$$

$$v = \frac{2 * r * \pi * n}{60} \text{ [m/s] omtreksnelheid tandwiel}$$

λ = ruw bewerkt (blz: 382 machine onderdelen ir. Stolk)

Y = tandfactor

σ_{bt} = toegelaten buigspanning [PA6]

$$m = 1,26 * \sqrt[3]{\frac{12 * 1 * 8,16}{2 * 6 * 0,3 * 18}} = 1,45$$

Uit de tandbreuk berekening komt een moduul van $\pm 1,5$. Het gekozen moduul is 2,5 dit geeft een veiligheidsfactor van 40%. Er kan nu veilig worden aangenomen dat de kunststof tandwielen het koppel van de motoren probleemloos kunnen overbrengen.

4.2.2 Tandwielen bevestigen d.m.v. inklemming

Om het tandwiel te verankeren aan de as kan gekozen worden voor een perspassing. Een klemverbinding heeft als voordeel dat het zwaartepunt van het product netjes in het midden ligt. Ook geeft de klemverbinding een gelijkmatige krachtverdeling op het wiel. Het nadeel van een klemverbinding is dat er gewerkt wordt met een passing. Bij het maken van een passing gelden geringe toleranties. Dit maakt de bewerking meer kostbaar.

Voordat er voor een klemverbinding wordt gekozen is het belangrijk om te weten of de klemverbinding sterk genoeg is om het benodigde koppel over te brengen. Dit wordt berekend met de volgende formule:

$$W_{max} = P * f * \pi * d * L$$

Hierin is:

W_{max} = maximaal overbrengbare kracht

P = vlakke druk materiaal

f = wrijvingscoëfficiënt tussen de materialen

d = diameter as

L = lengte naaf

M_{slip} = moment waar vanaf slip optreedt tussen as en flens

$$W_{max} = 18 * 10^6 * 0.35 * \pi * 0.012 * 0.0255$$

$$W_{max} = 6056.4 \text{ [N]}$$

$$M_{slip} \leq P * \pi * d * L * f * (0.5d)$$

$$M_{slip} \leq 18 * 10^6 * \pi * 0.025 * 0.35 * (0.5 * 0.012)$$

$$M_{slip} \leq 2968 \text{ [Nm]}$$

Nu bekend is hoeveel kracht het materiaal maximaal kan hebben en bij welk moment slip optreedt, is het mogelijk om een controle uit te voeren. Dit wordt gedaan om te zien of het materiaal zal bezwijken onder de last die eerder is uitgerekend. Dit wordt berekend met de volgende vergelijking:

$$P \geq \frac{2 * M_{slip}}{\pi * d^2 L * f}$$

Dit geeft: $18 < 1470 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Hierbij is 18 N/mm^2 de maximale vlaktedruk die het materiaal aan kan en 1470 N/mm^2 de vlakke druk die op het materiaal wordt uitgeoefend.

De maximale vlaktedruk van het materiaal wordt hiermee overschreden. Het is niet mogelijk om de tandwielen met klemming alleen aan de as te bevestigen. Er dient dus een andere verbinding te worden toegepast. Bij Festo komt het veel voor dat verschillende onderdelen aan elkaar bevestigd worden middels een lijmverbinding.

4.2.3 Tandwielen bevestigen d.m.v. lijmverbinding

Lijmverbindingen worden veel toegepast in de industrie om twee materialen met elkaar te verbinden. Vooral het verlijmen van twee kunststoffen aan elkaar komt veel voor. Er zal in dit hoofdstuk onderzocht worden of het mogelijk is om de kunststof tandwielen aan een aluminium as te verlijmen.

Lijmverbindingen hebben als voordeel:

- Gelijke verdeling van spanningen.
- Geen verandering van de materiaal eigenschappen van het verlijmde materiaal.
- Geen vervormingen van het materiaal t.g.v. hitte.
- Lijm werkt isolerend. Een elektrochemisch proces tussen twee metalen is niet mogelijk doordat de metalen niet in contact met elkaar hoeven te staan.
- Vermindering van het aantal benodigde onderdelen (er zijn geen bouten en moeren meer nodig).
- Het zwaartepunt van een constructie verandert niet.

Nadelen van lijmverbindingen zijn:

- De verbinding wordt eenmalig tot stand gebracht, onderdelen kunnen na verlijming niet meer gemakkelijk losgemaakt worden.
- Lijmverbindingen vergen een grondige voorbereiding. Het oppervlak van het te verlijmen materiaal dient goed ontvet en enigszins opgeruwd te zijn.
- Lijmverbindingen zijn niet toepasbaar wanneer materialen op afpelling of splijting worden belast.

Na het raadplegen van het Loctite worldwide design handbook is gebleken dat voor het verlijmen van de tandwielen aan de aluminium as, loctite 496 de beste lijm keuze is. De leverancier van Loctite beweert dat bij een juiste aanbrenging van de lijmverbinding, de verbinding minstens zo sterk is als het materiaal waaraan het gehecht zit. Met andere woorden; het materiaal zal eerder falen dan de lijm. Dit maakt verlijmen een goede verbindingskeuze om de tandwielen aan de as te monteren.

Bij het gebruik van loctite om twee delen te verbinden moet gewerkt worden met een strakke passing. Dit betekent dat de as bewerkt moet zijn om deze passing te kunnen garanderen.

4.2.4 Tandwiel bevestiging aan de motoras

Aangezien de kunststof tandwielen harder zullen slijten dan de motor is het nodig om de tandwielen te kunnen vervangen. Dit vergt een losneembare verbinding tussen het tandwiel en de motoras. Veel toegepaste middelen om een losneembare verbinding op een as te realiseren zijn:

- Spie verbinding
- Inlegspie verbinding
- Bout en moer
- Stelschroef

Gekozen is om het systeem uit te voeren met een stelschroef. Door motoren met een uitgefreesde spiebaan te nemen met een stelschroef in dezelfde diameter met een platte bodem kan een vormgesloten verbinding tot stand gebracht worden. Dit principe wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 5.3.

4.3 Aandrijfas

De lijmverbinding tussen de twee materialen is zo sterk dat de kans eerder is dat het materiaal van het tandwiel zal falen dan de lijmverbinding. Aangezien het polyamide materiaal van het tandwiel nu de zwakste schakel is, is zaak om te berekenen of de as sterk genoeg is. Door onderstaande berekening uit te voeren wordt het mogelijk om de dikte van de as te bepalen vanaf waar de as niet zal bezwijken onder het aandrijfmoment.

$$W_w = \frac{M_w}{\tau_w}$$

W_w = weerstand tegen wringen

M_w = wringent moment

τ_w = maximaal toelaatbare wringspanning

$$d = \sqrt[3]{\left(\frac{W_w}{0.2 * \tau_w}\right)}$$
$$A = 0.25 \pi * d^2$$
$$m = \rho * V$$

d = benodigde diameter om het moment over te kunnen brengen

A = benodigde oppervlakte om het moment over te kunnen brengen

m = massa van de constructie

Materiaal	PA 6
Diameter	15,8 mm
Oppervlakte	196 mm ²
Gewicht*	27 g

Materiaal	Aluminium
Diameter	5,9 mm
Oppervlakte	27,3 mm ²
Gewicht*	7,3 g

Materiaal	FE Staal
Diameter	3,5 mm
Oppervlakte	9,62 mm ²
Gewicht*	7,5 g

* Bij een as lengte van 100 mm

Uit de berekening is gebleken dat er meerdere materialen toepasbaar zijn. Het verschil in eigenschappen van de materialen uit zich in de benodigde oppervlakte om de torsiekracht over te kunnen brengen. Staal heeft een hoge weerstand tegen wringspanning en heeft in vergelijking tot een kunststof aandrijfas een kleine oppervlakte nodig om genoeg weerstand tegen torsie te bieden. Echter maakt de soortelijke massa van staal de constructie zwaar. Uit bovenstaande tabellen kan een materiaal keuze gemaakt worden voor de aandrijfas van de kantelmechaniek. Hierin is een verhouding te zien tussen oppervlakte en gewicht.

Er is gekozen om de aandrijfas van aluminium te maken. Er is voldoende ruimte om de aluminium as in de juiste diameter toe te passen. Festo beschikt over de benodigde materialen om aluminium goed te kunnen bewerken en heeft veel vaste leveranciers voor het materiaal.

4.4 Lager

Het lager waaraan de polsmechaniek aan de Tripod is bevestigd is wordt zowel in axiale als radiale richting belast. Een groot deel van deze belasting komt voort uit de hoge acceleraties die de Tripod maakt. Om een lange levensduur van het systeem te kunnen garanderen wordt de belasting van het lager berekend.

4.4.1 Tweerijig hoekcontactlager

Het hoekcontactlager draagt de polsconstructie. Aangezien de Tripod zowel omhoog als naar beneden accelereert, zal er een axiale kracht in beide richtingen op het lager komen te werken. Tijdens de acceleraties van de Tripod in horizontale richting zal het lager radiaal belast worden. De hoogte van de belasting is middels de in Excel opgezette rekentool berekend op:

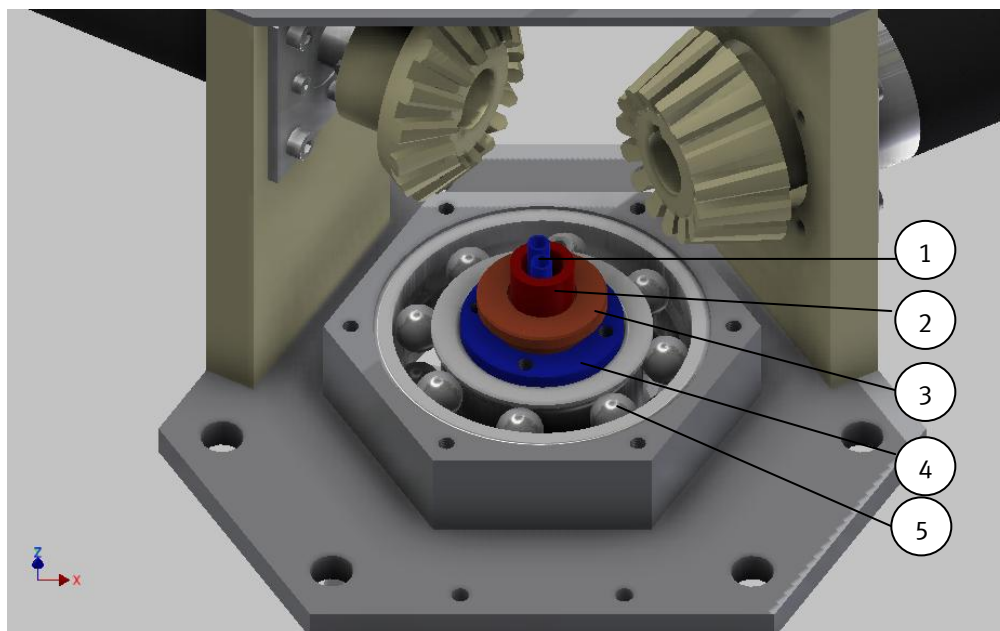
- Axiaal: 46 N
- Radiaal: 185 N

Gekozen is een SKF tweerijig hoekcontactlager in de maat: d30 D62 b23.8mm. Dit lager is meer dan sterk genoeg om de belasting probleemloos over te kunnen brengen. De mate van overdimensionering komt voort uit de binnenmaat van het lager. Door het lager komen twee assen en bekabeling te lopen, zie Figuur 16 (opengewerkt systeem) ter verduidelijking. Er is dus een lager nodig met een ruime binnendiameter.

De buitenste holle as zal middels een H7 perspassing met het lager verbonden worden. De gehele kantelconstructie wordt door deze as gedragen. De as wordt in aluminium uitgevoerd en draagt middels een schroefverbinding de kantelconstructie.

4.4.2 Zelfsmerend glijlager

De binnenste holle as wordt gelagerd door twee glijlagers met flens. Deze lagers worden boven en onderin de holle buitenas geperst. Er is gekozen voor een glijlager vanwege de kleine inbouwmaat ten opzichte van een kogellager. De binnenste holle as wordt belast met een lage radiale belasting. De belasting op het lager is relatief laag omdat de buitenste holle as het grootste deel van de krachten voor zijn rekening neemt.



Figuur 16 (opengewerkt systeem)

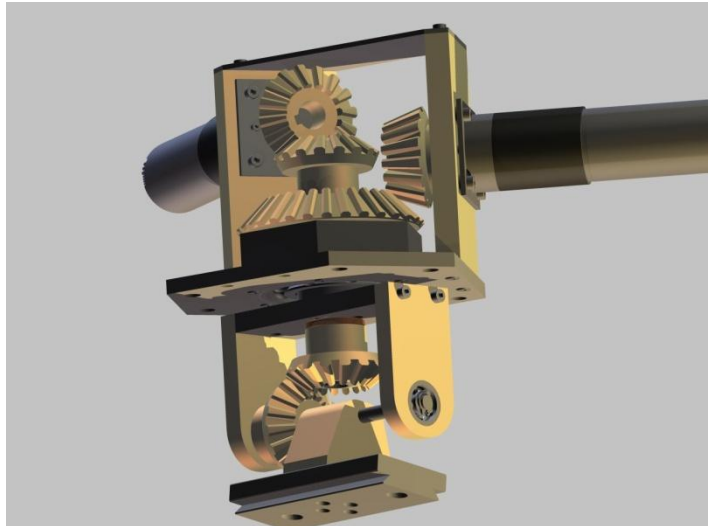
1. Pun 4 luchtslangen voor aansturing van de grijper.
2. Binnen as.
3. Glijlager met flens.
4. Buiten as
5. Tweerijig hoekcontactlager.

4.5 Modulariteit

Tijdens het vooronderzoek waarbij de eisen en wensen zijn opgesteld is gebleken dat het een groot voordeel is als het systeem in meerdere losse modules verkoopbaar is. Een klant kan een systeem specifiek aan zijn behoeftes samenstellen. Bij het ontwerpen van het systeem is rekening gehouden met modulariteit van het systeem. Verschillende modules kunnen opgebouwd worden zonder dat hiervoor veel speciale onderdelen gemaakt moeten worden. Ook is het nu goed mogelijk om het bestaande systeem van een klant gemakkelijk uit te breiden. In afbeelding Figuur 17 (volledig) t/m Figuur 19 (rotatiemodul) worden de verschillende modules weergegeven.

Figuur 17 (volledig) laat het complete systeem zien. Dit systeem is opgebouwd uit meerdere onderdelen die ook toegepast kunnen worden in de losse kantel en rotatie modules.

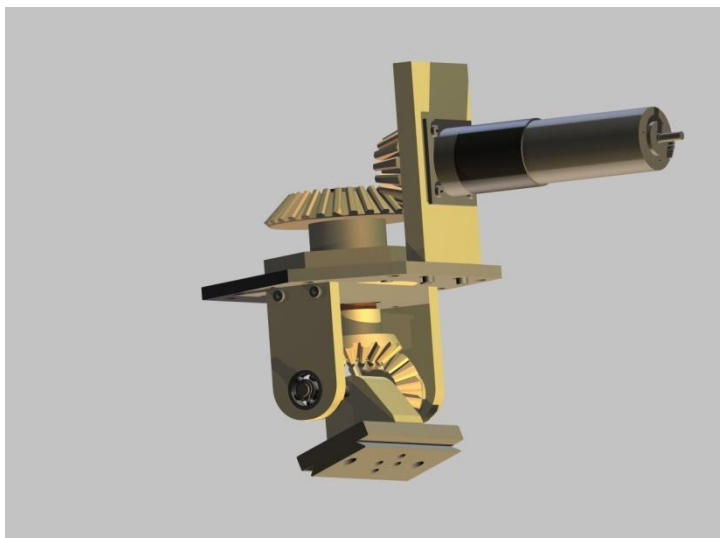
Het samenstellen van de aandrijfmotoren gebeurt middels de mee geleverde rekentool. De Tool in Excel geeft voor de specifieke applicatie de benodigde motorspecificaties. Het complete systeem is nauwkeurig en kan langdurig worden ingezet met minimaal onderhoud.



Figuur 17 (volledig)

Figuur 18 (kantelmodule) is een weergave van de losse kantelfunctie. Wanneer een kantelfunctie niet nodig is kan er gekozen worden om een polsgewricht te nemen die bestaat uit de losse kantelmodule. Het systeem is compacter en lichter dan het samengestelde systeem met zowel de rotatie als de kantelfunctie.

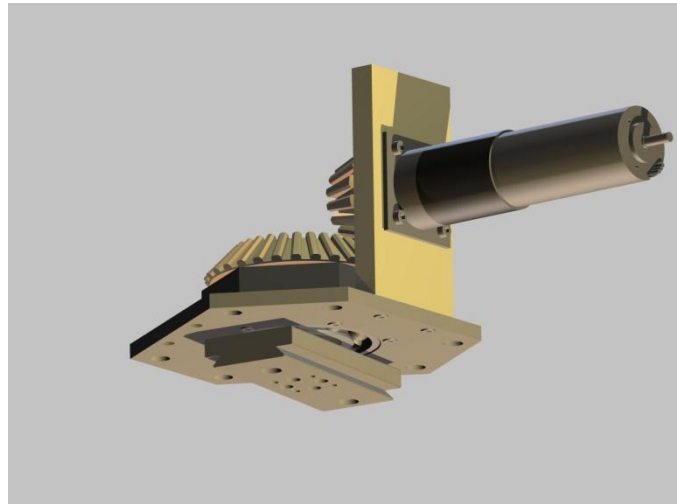
Door klanten de keuze mogelijkheid te geven om het systeem aan hun specifieke eisen samen te stellen zijn de kosten niet hoger dan nodig. Dit komt doordat er weinig sprake is van overdimensionering en het systeem behoeft nu slechts één aandrijfmotor.



Figuur 18 (kantelmodule)

In Figuur 19 (rotatiemoduul) is de meest compacte variant van het systeem weergegeven. De rotatiemoduul is enkel instaat om te roteren. De zwaluwstaart is direct op de roterende as gemonteerd. Hierbij is het werkgebied onder de Tripod maximaal.

Door enkel de gegevens voor de rotatiemotor in de rekentool in te vullen worden de motorspecificaties voor dit systeem gegeven.



Figuur 19 (rotatiemoduul)

Mocht een klant later willen uitbreiden van een losse functie naar een samengestelde functie kan er los een module bijgekocht worden. Dit is mogelijk doordat alle onderdelen onderling uitwisselbaar zijn. Bij een sterk groeiend bedrijf kan het voorkomen dat de machines die de producten produceren nog flexibeler moeten worden om aan de vraag van de markt te kunnen voldoen. In dit geval wordt het systeem moeiteloos uitgebreid om aan de vraag te voldoen.

5 Realisatiefase

Om het product te kunnen realiseren dient de productiewijze goed gedocumenteerd te worden. Het eerste wat nodig is bij het produceren zijn werktekeningen. Wanneer de onderdelen geproduceerd zijn dienen deze aan de hand van een werkinstructie geassembleerd te worden. Ook dient er een onderhoudsschema gehanteerd te worden om het systeem in optimale conditie te houden.

5.1 Werktekeningen

Voor het maken van werktekeningen gelden een aantal normen en tekenregels. Deze zijn nodig om de informatie op het blad eenduidig over te laten komen op de gebruiker. De werktekeningen die gemaakt zijn voor de productie van het polsgewricht zijn te vinden in de losse bijlage op de meegeleverde cd-rom.

Bij het maken van de werktekeningen is het belangrijk om vanuit een vast punt te bematicen. Dit vaste punt kan als referentiepunt gebruikt worden om de bewerkingsmachine op te ijken. Ook wordt het instellen van de machine makkelijker doordat coördinaten vanaf dit punt gemakkelijk afleesbaar zijn.

Een van de gestelde eisen aan het ontwerp is dat er verschillende motoren toegepast kunnen worden om het systeem aan te drijven. Aangezien de bevestigingspunten en as diameters verschillen per merk en type motor is het nodig om een aantal onderdelen te ontwerpen onder voorbehoud van de gekozen motor. Deze onderdelen zijn de tandwielbus en de montageplaat voor de motor.

De tandwielbus die in het tandwiel wordt geperst maakt het mogelijk om motoren toe te passen met een kleinere diameter dan 12 mm. Bij applicaties waarbij een lichte last met een compacte gripper wordt verplaatst kan de eerder besproken rekentool een aandrijfsysteem voorschrijven dat kan worden uitgevoerd door een zeer compacte aandrijfmotor. Bij maxon zijn ook motoren leverbaar met een uitgaande as van 8 en 10 mm. De juiste motorkeuze maakt het systeem efficiënt en snel.

De montageplaat waaraan de aandrijfmotor wordt geschroefd is voorzien van een gaten patroon. De gaten in de hoeken met een diameter van 4 mm worden aangebracht zoals in de tekening staat aangegeven. De diameter en de positie van de gaten rondom het centreer gat zijn afhankelijk van het gekozen aandrijfsysteem. Dit staat tevens verklaard op de werktekening.

5.2 Werkinstructie

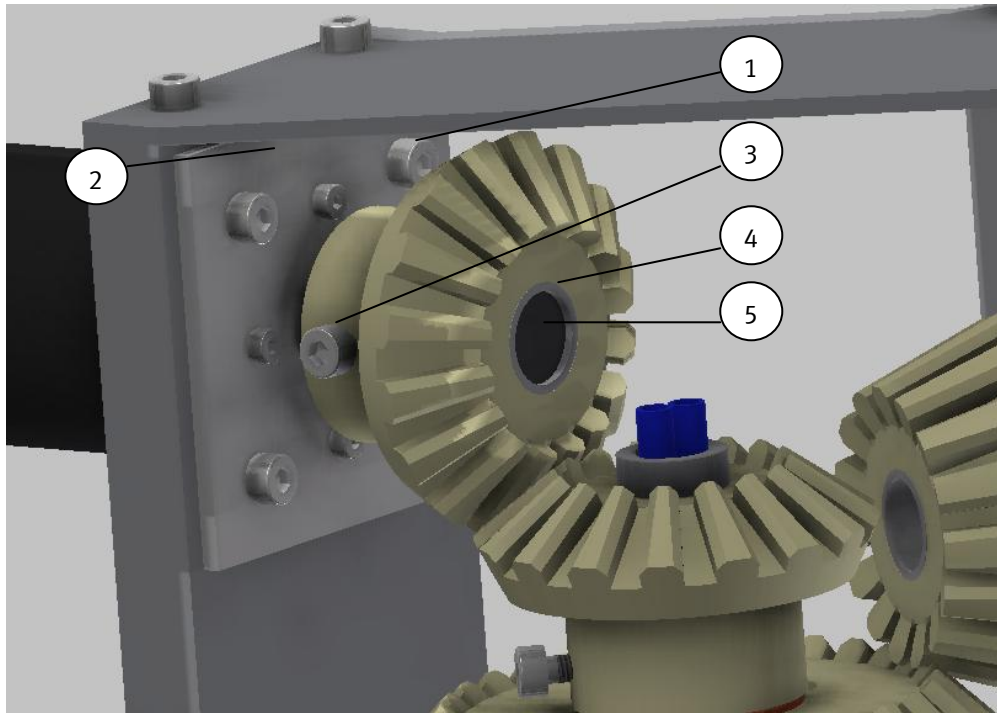
De informatie die nodig is om het systeem in elkaar te zetten kan middels een film worden overgebracht. De instructievideo voor de assemblage van het polsgewricht is bijgevoegd in de digitale bijlage op de bijgevoegde cd-rom. In de korte film wordt weergegeven welke onderdelen, in welke volgorde en met welke hulpmiddelen in elkaar gezet kunnen worden.

De tandwielbus vult de ruimte tussen het tandwiel en de motoras op. De bus wordt van loctite 496 voorzien en wordt middels een H7 perspassing in het tandwiel geperst. De lijmverbinding dient eerst goed uit te harden. De tijd die voorgeschreven staat in het loctite documentatieboek om de verbinding tot stand te brengen is 30 uur.

Nadat de verbinding is uitgehard is het mogelijk om het tandwiel verder te bewerken. Er wordt een gat geboord door de flens van het tandwiel. Dit gat wordt voorzien van schroefdraad zodat een stelschroef kan worden toegepast. De stelschroef zorgt voor de axiale borging van het tandwiel.

5.3 Implementatie

Om het systeem in gebruik te kunnen nemen nadat het geassembleerd is, dient het eerst afgesteld te worden. De belangrijkste handeling is, de conische tandwielen bij de motoren goed op elkaar in te stellen. Middels de afstelplaat op Figuur 20 kunnen de tandwielen recht op elkaar uitgelijnd worden. De gaten in de plaat zijn ruim genomen waardoor de plaat ten opzichte van de motorsteun verschoven kan worden. Dit zorgt voor de juiste uitlijning van de tandwielen.

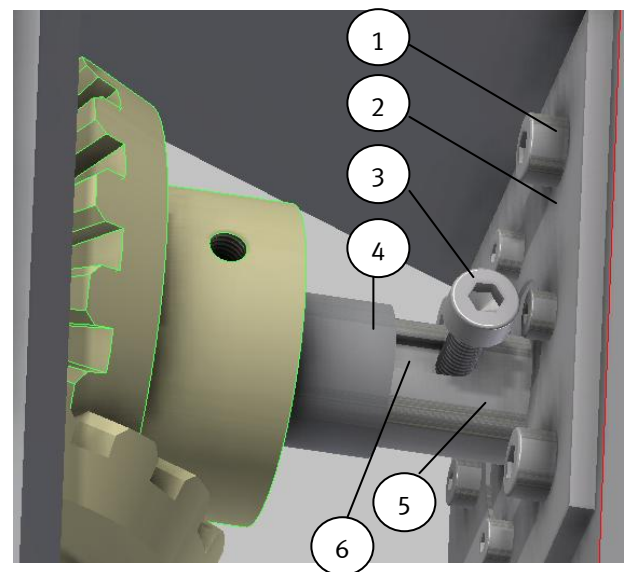


Figuur 20

1. Afstelschroef
2. Afstelplaat
3. Axiale afstelschroef
4. Tandwielbus
5. motoras
6. spiebaan

Om de tandwielen in axiale richting af te stellen is een stelschroef toegepast. De gekozen motoras heeft een diameter van 10 mm en de binnen diameter van de tandwielas is 12mm. Dit geeft ruimte voor de implementatie van een bus. Door een bus te voorzien van loctite en in het tandwiel te persen heeft het tandwiel de juiste binnendiameter. Ook helpt de metalen bus tegen het uitlubberen van het kunststof materiaal. De motor wordt geleverd met een ingefreesde spiebaan op de motoras. Door de stelschroef in dezelfde diameter te kiezen als de spiebaan kan een vormgesloten verbinding tussen het tandwiel en de motoras tot stand gebracht worden. Zie Figuur 21.

Zodra de tandwielen juist staan afgesteld is de frictie in het systeem minimaal. De klant heeft een bepaalde handeling die uitgevoerd moet worden. Dit bestaat vaak uit een oppaklocatie en een neerzetlocatie. Deze twee posities kunnen samen met een veiligheidspunt als derde positie worden ingeleerd. Zodra het systeem is ingeregeld kan het in gebruik worden genomen.



Figuur 21

5.4 Onderhoud

Om een optimale levensduur te kunnen bieden dient het systeem onderhouden te worden. Slijtende onderdelen kunnen onnauwkeurigheid in het systeem veroorzaken en uiteindelijk falen. Om dit voor te zijn is er onderzoek gedaan naar verschillende slijtende elementen.

5.4.1 Tandwielen

De toegepaste moduul van de tandwielen is 40 procent overgedimensioneerd. Zolang de constructie binnen de berekende parameters blijft zullen de tandwielen een onbeperkte levensduur hebben. Het gekozen materiaal van de tandwielen is Polyamide PA6. Een eigenschap van dit materiaal is dat het zelfsmarend is. Er hoeft geen smeerinterval ingesteld te worden om het systeem te onderhouden.

5.4.2 Hoekcontactkogellager

De levensduur van de lagers wordt berekend met de formule: $L = \left(\frac{C}{P}\right)^P$

De levensduur L wordt berekend in het aantal revoluties maal 10^6 voordat materiaalmoeheid optreedt.

Deze levensduur kan ook in uren worden uitgedrukt met: $L_h = \frac{1666}{n} * L$

Hierbij is: $P = X * F_r + Y * F_a$

En $p=3$

Dit geeft het tweerijig hoekcontactlager een levensduur van: $5,6 * 10^6$ uur levensduur. Het lager is geen punt van onderhoud in het systeem.

5.4.3 Glijlager

Het glijlager is daarentegen berekend op 4240 uur levensduur bij nonstop belasting. Uitgaand van een 8 uur durende werkdag, 5 dagen in de week 52 weken per jaar, dient dit lager iedere 2 jaar vervangen te worden.

5.4.4 Kantellager

De levensduur van het diepgroefkogellager dat onderin de constructie is toegepast is berekend op $3,4 * 10^6$ uur. Net als het hoekcontactkogellager is dit toegepaste lager geen punt van onderhoud.

5.4.5 Aandrijving

Het onderhoudsinterval van de aandrijving is geheel afhankelijk van het gekozen systeem.

Onderhoudsintervallen van de motoren en reductoren kunnen bij de betreffende leveranciers worden opgevraagd. De motoren van de voorbeeld opstelling zijn borstelloze DC motoren van het merk Maxon. Deze motoren vergen geen onderhoud indien deze volgens specificaties worden toegepast. Dit wil zeggen dat de motor in het nominale werkgebied opereert. De motor mag eventueel boven zijn nominale gebied komen als het systeem even lang uitgeschakeld wordt als dat het boven deze grens komt. Dit heeft te maken met de warmte ontwikkeling in de motor.

5.4.6 Conclusie

Iedere 4240 uur dienen beide glijlagers te worden vervangen. Door het onderhoudsinterval gelijk te laten lopen met het onderhoudsinterval van de aandrijfriemen van de Tripod is de stilstand tijd van het systeem minimaal. Het onderhoudsinterval van de assen van de Tripod is om de 50.000 kilometer. Uitgaand van een werkslag van 1200mm bij 90 picks per minuut, gedurende dezelfde werktijd als eerder genoemd bij het glijlager wordt het onderhoudsinterval jaarlijks gehaald.

Door één keer in de twee jaar het glijlager van het mee te vervangen wordt de onderhoudscyclus optimaal uitgevoerd.

5.5 Kosten

De kosten zijn verdeelt in eenmalige kosten en repeterende kosten. Eenmalige kosten worden zoals het woord al zegt één keer gemaakt. Dus of er nu tien of honderd producten geproduceerd worden, de kosten zullen het zelfde blijven. De repeterende kosten zijn de kosten die bij ieder product opnieuw gemaakt worden. Een grote kostenbesparing kan behaald worden door de repeterende kosten zo laag mogelijk te houden.

5.5.1 Eenmalige kosten

Kosten post	Specificering	Bedrag [euro]
Ontwikkeling	Engineeringkosten. Een ingenieur kost het bedrijf ongeveer 100 euro per uur. De ontwikkeling van het gewricht heeft ongeveer 680 uur geduurd.	68.000
Testen	Om klanten meer zekerheid te bieden zijn testen uitgevoerd. Een kosten overzicht is te vinden in bijlage VII.3.	1.232
Speciaal gereedschap	Inspandoorn voor het tandwiel te centreren op de draaibank.	100
	Bus om tandwiel op de buitenas te centreren	60
totaal		69.392

5.5.2 Repeterende kosten

Kosten post	Specificering	Bedrag [euro]
Materiaal	Staf delen plat polyamide	20
	Staf delen plat aluminium	15
Maakdelen	Middels verspanende bewerkingen in de CNC machine zullen de benodigde onderdelen vervaardigt worden. Het duurt ongeveer 4 uur om alle benodigde onderdelen te maken. De kosten van een productiemedewerker zijn ongeveer 80 euro per uur.	320
Koopdelen	Tandwielen	30
	Lagers	70
	kleinmateriaal	15
Motoren	Uitgaand van 2 maxon EC-4pole brushless 200W motoren	1200
Besturingskast	Afhankelijk van de gekozen motoren. EPOS3 70/10 EtherCAT geeft een indicatie van de prijs voor boven genoemde motoren	600
Assembleren	De tijd die het assembleren kost is geschat op 3 uur. De kosten van personeel zijn 80 euro per uur.	240
Implementatie	Het monteren onder de handelingsunit, het afstellen van de tandwielen en het inleren van de posities duurt maximaal 2 uur.	200
Totaal		2710

5.5.3 Besparing

De repeterende kosten van het vorige concept zijn gesteld op 10442.22 euro per systeem. Deze kosten zijn relatief hoog uitgevallen door de lineaire aandrijving van het gewricht en het arbeidsintensieve afstellen van het systeem. Aangezien de repeterende kosten van het nieuwe concept 2710 bedraagt is er een besparing van 74% op het huidige prototype. De doelstelling van 10% besparen op de kosten van het huidige ontwerp is hiermee zeer overtuigend gehaald.

6 Conclusie

Het huidige concept is niet nauwkeurig en betrouwbaar genoeg om het in productie te nemen. Dit komt doordat de kabels die het concept aandrijven zeer veel speling teweeg brengen. Daarbij komt dat de productiekosten van het concept hoog zijn. Deze relatief hoge kosten komen voort uit de kostbare aandrijving en het arbeidsintensieve afstellen van het systeem wanneer het in gebruik genomen wordt.

Het nieuwe concept maakt gebruik van lichtgewicht elektromotoren die horizontaal op de basisplaat van de Tripod gemonteerd worden. Deze motoren sturen het gewricht aan met hoge nauwkeurigheid en betrouwbaarheid.

De speling in het systeem is sterk afgenomen. Waar het huidige concept een herhalingsnauwkeurigheid heeft van 5 mm, zal het nieuwe systeem met 0,5 mm afwijking kunnen opereren.

De kabels van het huidige systeem moeten perfect uitgelijnd worden wanneer het systeem in gebruik wordt genomen. De kabel mag niet tegen de stelschroef aanschuren. Dit zou de levensduur van de kabel negatief beïnvloeden. De uitlijning van de stelschroef ten opzichte van de poelie is van cruciaal belang. Het op de juiste voorspanning brengen en uitlijnen van het systeem is zeer arbeidsintensief.

Door gebruik te maken van tandwielen krijgt het systeem een hoge betrouwbaarheid. Er is minder kans op slijtage. Wanneer het systeem in gebruik wordt genomen is het belangrijk dat de tandwielen strak op elkaar uitgelijnd staan. Hiervoor is een speciale mechaniek ingericht die deze werkzaamheid zal optimaliseren.

De gekozen configuratie van het systeem zorgt voor een kostenbesparing van 74 procent ten opzichte van het huidige concept.

Het gekozen concept is toepasbaar op zowel de Tripod als op de T- en H-gantry systemen door het toepassen van een adapterplaat.

7 Aanbeveling

Wegens het gegeven tijdsbestek zijn er een aantal zaken buiten de werkgrenzen geplaatst. Onder deze zaken valt het volgende.

Het bouwen van het prototype

Met de meegeleverde werktekeningen in de bijlage is het mogelijk om de onderdelen te produceren die nodig zijn om het gewricht te maken. Ook bevat de bijlage de werkinstructievideo voor de assemblage van het systeem. Wanneer het systeem gebouwd is kunnen er testen worden uitgevoerd.

Opzetten van een levensduurtest

Hierbij zal het systeem over een duur van acht maanden continu worden aangestuurd. Hierbij wordt onderzocht of en hoe de onderdelen slijten. Het is met name interessant om het slijtage gedrag van de kunststof tandwielen in kaart te brengen. Ook zal de speling in de glijlagers na de test gemeten moeten worden om de berekende betrouwbaarheid te controleren.

8 Verklarende woordenlijst

Woord	Verklaring
TPD	Technisch product dossier
PVA	Plan van aanpak
Reductor	Gearbox Overbrengingskast
Tripod	Delta robot Parallele kinematica
Morfologisch overzicht	Overzicht van mogelijke opties door middel van pictogrammen
Kesselring methode	Afweging van concepten middels toetsing aan gestelde eisen
Pun 4	Luchtslang aanduiding buitendiameter 4

9 bijlage