

Ontwerp van een grijper voor het palletiseren van zakken met een robotarm

Stijn KNAEPKENS

Promotor: Ing. R. Van Mol

Co-promotor: Ing. T. Doms

Masterproef ingediend tot het behalen van de
graad van master of Science in de industriële
wetenschappen: *elektromechanica*,
afstudeerrichting elektromechanica.

Academiejaar 2018-2019

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Campus Geel, Kleinhoefstraat 4, B-2440 Geel, +32 14 72 13 00 of via e-mail iiw.geel@kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Voorwoord

Ik ben student aan de KU Leuven technologiecampus Geel en volg de opleiding industrieel ingenieur met als optie elektromechanica. Om de masteropleiding te voltooien wordt van ons verwacht dat we een masterproef succesvol afwerken. Met de masterproef is het de bedoeling om te tonen dat we over de verschillende competenties van een ingenieur beschikken.

Het project dat in deze scriptie uitgewerkt is, was enorm leerrijk en uitdagend. Bij het ontwerpen van een nieuwe grijper ligt de focus voornamelijk op het analyseren en oplossen van problemen.

Als eerste wil ik dank uitbrengen aan het bedrijf Gebroeders Doms. Zij hebben mij de mogelijkheid gegeven om dit project zowel theoretisch als praktisch uit te werken. Voorafgaand aan mijn stage heb ik mogen genieten van een studentenjob bij de montagedienst van het bedrijf. Zo kon ik al kennis maken met de werking van de firma en kreeg ik de kans om extern in andere bedrijven installaties mee op te bouwen. Ik wil alle collega's bedanken die geholpen hebben bij de verwezenlijking van het project. Iets specifieker wil ik nog enkele personen bedanken: Tom Doms voor het opvolgen van mijn masterproef, Peter Doms voor het opvolgen van het mechanisch project en de technische bijstand als ervaringsdeskundige, Rob Hereijgers voor de doorvoering van bestellingen en opvolging van productie wanneer ik afwezig was.

Ten tweede wil ik Raymond Van Mol bedanken voor de opvolging van mijn masterproef.

Ten derde wil ik Sofie Knaepkens en Thijs Renders bedanken voor het nalezen en verbeteren van mijn scriptie.

Ten vierde wil ik Mohamed Karem, sales engineer bij Pnevano bedanken voor de goede hulp bij het selecteren van de juiste vacuüm-grijper. Hij heeft mij de mogelijkheid gegeven om verscheidene systemen te testen.

Tot slot wil ik ook mijn ouders bedanken. Zij hebben mij immers de mogelijkheid gegeven om deze opleiding te volgen. Doorheen de volledige periode hebben ze mij bijgestaan en hulp geboden waar ze konden.

Samenvatting

Palletiseren is het stapelen van goederen op een pallet volgens een vast stapelpatroon. Om met een robotarm zakken te kunnen stapelen is een specifieke grijper vereist. De grijper moet om kunnen gaan met de vormvariaties van zakken en voldoende steun waarborgen om een hoge stapelkwaliteit te garanderen.

Deze masterproef bestaat uit het ontwerpen van een universele palletiseerklem voor zakken. Het project heeft alle stappen doorlopen van een reëel ontwerpproces, van projectomschrijving tot de verwezenlijking van een prototype. Het gehele proces startte met een marktonderzoek voor het vinden van het meest geschikte grijpprincipe. Met de resultaten van het onderzoek en bestaande ideeën is er op papier een 2D schets gemaakt. Deze geeft weer hoe de verschillende functies samen komen. Hieruit is vervolgens de 3D schets opgebouwd die langzaam evolueerde tot een volledig ontwerp. Het optimaliseren van de kleinere details is de laatste stap van het ontwerpproces. Na het maken van werktekeningen is de productie van de onderdelen op gang gekomen. Op het moment dat alle onderdelen gemaakt zijn en de kooponderdelen binnen zijn is de montage van de grijper gestart. Tijdens de montage werd meteen duidelijk of de toleranties goed zijn gekozen en/of nageleefd. Dit is voor een beginnend ontwerper een goede leerschool. De finale stap in het project is het testen van het prototype.

De test van een product is het moment waar de hele projectplanning naartoe werkt. Deze tests zijn vlot verlopen, alle vitale functies van de grijper werkten zoals gewenst. Zo is de grijper perfect in staat om een zak van het pick point op te nemen en op een pallet neer te leggen. De vorken en centreerplaten vervullen hun taak goed bij het centreren en ondersteunen van de zak. Dit geeft een goede en stabiele stapelkwaliteit. De grootste problemen zijn opgedoken bij het testen van de vacuüm-grijper. Het samenstellen van een geschikte vacuüm-grijper is vooral gebaseerd op de trial en error methode. Door het uitwisselen en verplaatsen van de zuignappen is een geschikte grijper samengesteld. Nu is de grijper dus in staat om een volledige pallet te palletiseren en depalletiseren.

Dit document bevat vooral de theoretische achtergrond die het project onderbouwt. Eerst werd bepaald aan welke eisen de grijper moet voldoen en welke resultaten worden verwacht op het einde van het project. Deze informatie is terug te vinden in de projectomschrijving. Vanuit deze projectomschrijving is er vervolgens een plan van aanpak en planning opgesteld die ervoor moet zorgen dat het project tot een goed einde kwam. De eerste stap in de planning is het uitvoeren van een marktonderzoek dat vooraf ging aan het hele mechanisch ontwerp. Om het project en de termen in de scriptie beter te kunnen volgen zijn vervolgens de verschillende functies en de werking van de grijper gedetailleerder omschreven. Het volgende hoofdstuk beschrijft hoe de toegepaste componenten gekozen zijn op vlak van functie en installatiemogelijkheden. Wanneer de componenten geselecteerd zijn is het voor een mechanisch ontwerp noodzakelijk om de deze keuze ook analytisch te onderbouwen. Deze berekeningen zijn terug te vinden in de calculaties. Naast het mechanische aspect is ook de financiële kant belangrijk om een project rendabel te maken. Om hier een beeld van te vormen werd een algemene kostenanalyse uitgevoerd. Om het project te vervolledigen is er achteraan nog een risicoanalyse toegevoegd die de gevaren analyseert en maatregelen beschrijft.

Abstract

Palletizing is the stacking of goods on a pallet according to a fixed stacking pattern. A specific gripper is required to stack bags with a robot arm. The gripper must be able to handle the shape variations of bags and must provide sufficient support to guarantee a high stacking quality.

This masterthesis consists of designing a universal palletizing gripper for bags. The project has gone through all steps of a real design process, from project description to the realization of a prototype. The entire process starts with market research to find the most suitable gripping principle. First a 2D sketch is made to form an image of how the different functions come together. From this image, a 3D sketch is constructed, which slowly evolved into a complete design. Optimization of the smaller details is the final step of the design process. After making drawings, the production of the parts starts. Once the parts are been made and the purchase parts have arrived, the assembly of the gripper starts. During the assembly it is immediately clear whether the tolerances are chosen properly and/or complied with. This is a good learning experience for a starting designer. The final step in the project is testing the prototype.

The test of a product is the moment to which the entire project planning is working towards. These tests show all vital functions of the gripper are working as desired. This way the gripper is perfectly capable of picking up a bag from the pick point and placing it on a pallet. The forks and centering plates perform their task well when centering and supporting the bag. This gives a good and stable stacking quality. The biggest problems surface when testing the vacuumgripper. Putting together a suitable vacuumgripper is mainly based on an trial and error proces. A suitable gripper has been assembled by exchanging and moving the suction cups. Now the gripper is therefore able to palletize and depalletise a complete pallet.

This document mainly contains the theoretical background that underpins the project. First is determined which requirements the gripper must meet and what results are expected at the end of the project. This information can be found in the project description, from this project description, a plan of approach and planning was then drawn up to ensure that the project was successful. The first step in planning is to conduct a market research that preceded the entire mechanical design. In order to better follow the project and the terms in the thesis, the various functions and operation of the gripper are described in more detail. The following chapter describes how the applied components are selected in terms of function and installation options. When the components are selected, it is necessary for a mechanical design to also support this choice analytically. These calculations can be found in chapter 8. In addition to the mechanical aspect, the financial side is also important to make a project profitable. A general cost analysis is carried out to form a picture of this.

Keywords: robotics, gripper, bag handling, palletizing, mechanical design.

INHOUD

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
Abstract	iii
Symbolenlijst	viii
Lijst met afkortingen	ix
1 Projectdefinitie	1
1.1 <i>Situering bedrijf</i>	1
1.2 <i>Situering opdracht</i>	1
1.3 <i>Projectomschrijving</i>	1
1.4 <i>Onderzoeksvraag</i>	2
1.5 <i>Afbakening</i>	2
2 Plan van aanpak (PVA)	3
3 Projectplanning	4
3.1 <i>Doel</i>	4
4 Marktonderzoek grijpsystemen	5
4.1 <i>Doel</i>	5
4.2 <i>Bestaande systemen</i>	5
4.2.1 <i>Messengripper</i>	5
4.2.2 <i>Copal spidergripper</i>	6
4.2.3 <i>Vorkprincipe</i>	6
4.2.4 <i>Vinger gripper</i>	7
4.2.5 <i>Vacuüm gripper</i>	8
4.3 <i>Keuzemethode</i>	9
5 Werking palletiseerklem	11
5.1 <i>Functies</i>	11
5.1.1 <i>Vorken</i>	11
5.1.2 <i>Centreerplaten</i>	11
5.1.3 <i>Vacuümgrijper</i>	12
5.1.4 <i>Breedte instelling</i>	12
5.1.5 <i>Grijperwissel</i>	13
5.1.6 <i>Zintuigen</i>	13

5.2	<i>Palletiseren</i>	14
5.2.1	Opnemen	14
5.2.2	Stapelen	15
5.3	<i>Depalletiseren</i>	16
5.3.1	Opnemen	16
5.3.2	Neerleggen.....	16
6	Componenten keuze	17
6.1	<i>Persluchtcilinders</i>	17
6.1.1	Implementatie	17
6.1.2	Bouwworm	18
6.2	<i>Aandrijving sledes</i>	18
6.2.1	Kogelomloopspindel	19
6.2.2	Servomotor.....	19
6.2.3	Planetaire tandwielkast.....	20
6.2.4	Riemoverbrenging.....	20
6.2.5	Koppeling	20
6.2.6	Handwiel	21
6.3	<i>Lagers</i>	21
6.3.1	Aandrijfvas vork	21
6.3.2	Draagas centreerplaten	21
6.3.3	Spindellagers	22
6.3.4	Lineaire kogelomloopgeleiding	22
6.3.5	Kogelbussen.	23
6.4	<i>Vacuümgrijper</i>	23
6.4.1	Kenos	24
6.4.2	Zuignap	26
6.4.3	Besluit.....	27
6.5	<i>Elektrisch</i>	28
6.5.1	I/O lijst	28
6.5.2	Inputs.....	29
6.5.3	Outputs.....	31
6.5.4	I/O eiland.....	32
6.5.5	Servomotor.....	32
7	Materiaalkeuze	33

7.1	<i>Materiaalgroep</i>	34
7.2	<i>Materiaal</i>	35
	7.2.1 Aluminium 7075 T6	36
	7.2.2 RVS 304	36
8	Calculaties	37
8.1	<i>Robot versnelling</i>	37
8.2	<i>Persluchtcilinders</i>	39
	8.2.1 Vork	39
	8.2.2 Centreerplaten	40
	8.2.3 Lift	42
8.3	<i>Vacuümsysteem</i>	43
8.4	<i>Spindelaandrijving</i>	44
	8.4.1 Belasting	44
	8.4.2 Kogelomloopspindel	45
	8.4.3 Servomotor	49
	8.4.4 Riemoverbrenging	49
	8.4.5 Koppeling	50
8.5	<i>Scharnier as</i>	50
8.6	<i>Lagers</i>	51
	8.6.1 Kogellager scharnier as	51
	8.6.2 Glijlagerbussen	51
	8.6.3 Spindellagers	54
	8.6.4 Lineaire geleiding slede	55
	8.6.5 Kogelbussen	55
8.7	<i>Stress analyse</i>	58
	8.7.1 Dwarsligger	58
	8.7.2 Support rail	59
	8.7.3 Arm vork	59
	8.7.4 Arm centreerplaat	59
	8.7.5 Basisplaat slede	60
	8.7.1 Support as	61
8.8	<i>Payload check</i>	62
	8.8.1 Parameters	62
	8.8.2 Resultaat	62

9	Productie	65
9.1	<i>Onderdelen</i>	65
9.1.1	Anodiseren	65
9.2	<i>Montage</i>	66
9.2.1	Montage volgorde	66
9.3	<i>Ontwerpfouten.....</i>	68
10	Risicoanalyse	69
10.1	<i>Elementen van een risico</i>	69
10.2	<i>Risico evaluatie</i>	69
10.2.1	Quotering	70
10.2.2	Analyse	70
10.2.3	Interpretatie	70
11	Kosten calculatie.....	71
11.1	<i>Budget</i>	71
11.2	<i>Productie.....</i>	71
11.3	<i>Reële verkoopprijs</i>	72
12	Conclusie.....	75
	Referenties.....	76
Bijlage A	Detailtekeningen van de proefopstelling.....	1

Symbolenlijst

b	breedte	[m]
l	lengte	[m]
h	hoogte	[m]
t	tijd	[s]
S	afgelegde afstand	[m]
v	snelheid	[m/s]
a	versnelling	[m/s ²]
F	kracht	[N]
M	moment	[Nm]
T	koppel	[Nm]
r	hefboom arm	[m]
p	druk	[Pa]
S	veiligheidsfactor	-
m	massa	[kg]
g	gravitatie versnelling	[m/s ²]
μ	wrijvingscoëfficiënt	-
P	spoed	[mm]
n	toerental	[min ⁻¹]
d	diameter	[mm]
ω	hoeksnelheid	[rad/s]
f	frequentie	[Hz]
β	halve oscillatiehoek	[°]
k	veerconstante	[N/m]
L ₁₀	levensduur	[10 ⁶ omw]
L _h	levensduur	[u]
C _{dyn}	dynamisch draaggetal	[N]
C _{stat}	statisch draaggetal	[N]
P ₀	Statische lagerbelasting	[N]
η	rendement	[%]
A	Oppervlakte van de dwarsdoorsnede	[m ²]
σ	Spanning	[N/m ²]
E	Elasticiteitsmodulus	[N/m ²]

Lijst met afkortingen

DP

drop point

PP

pick point

PVA

plan van aanpak

1 PROJECTDEFINITIE

1.1 Situering bedrijf

Gebroeders DOMS, gevestigd in Brecht, is een KMO gespecialiseerd in machinebouw, automatisering en metaalconstructie. Het bedrijf is opgericht in 1980 door de broers Jozef en Jan Doms met de landbouwsector als grootste afzetmarkt. Intussen is het bedrijf actief in een grote variatie aan sectoren zoals luchtvaart industrie en voeding. Gebroeders Doms beschikt over een grote productie en montagehal waarin een volledige verspanings-, las-, elektro- en softwareafdeling ondergebracht zijn. Dit zorgt voor een goede en vlotte samenwerking tussen de verschillende facetten van de machinebouw.

1.2 Situering opdracht

Gebroeders Doms focust zich op end-of-line toepassingen. Hiervoor is het interessant om standaard componenten te ontwikkelen zodat er efficiënt een oplossing kan samengesteld worden voor de klant. Onder de end-of-line toepassingen valt vaak het palletiseren van goederen. Het is dit aspect waar deze opdracht zich situeert. Voor het palletiseren is een robotcel vaak een geschikte oplossing. Wanneer de goederen de productielijn verlaten zal een rollenbaan of transportband deze aanvoeren naar de robot. De robot zal dan vervolgens de goederen manipuleren naar de gewenste positie op de pallet.

Om een robot bruikbaar te maken voor het manipuleren van goederen moet deze voorzien zijn van een geschikte grijper.

Bij vele bedrijven worden grondstoffen geproduceerd of toegeleverd die verpakt zijn in zakken, deze zakken zijn dan op een pallet gestapeld volgens een bepaald stapelpatroon. Voor dit soort producten zou Gebroeders Doms graag een universele standaard grijper ontwikkelen die nagenoeg alle zakken kan palletiseren en depalletiseren.

1.3 Projectomschrijving

De opdracht bestaat dus uit het mechanisch ontwerpen van een universele palletiseerklem voor het palletiseren van goederen die verpakt zijn in zakken. Deze klem moet in combinatie met een robot in staat zijn om zakken te stapelen volgens een stapelpatroon en ze ook weer op te nemen van een opgestapelde pallet. Om de grijper universeel te maken moet deze instelbaar zijn op het formaat van de zakken. Zo is het mogelijk om meerdere producten te stapelen en verschillende lijnen te bedienen.

1.4 Onderzoeksvraag

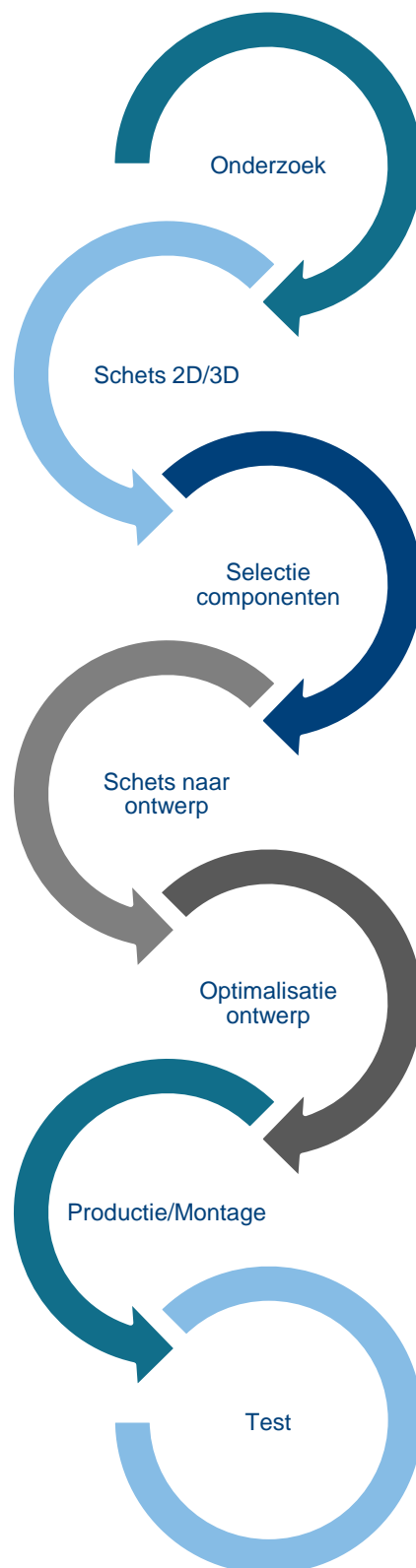
De onderzoeksvraag vormt de basis van het voorafgaande onderzoek. Het antwoord op deze vraag bepaalt de richting van het volledige project.

Vraag: Wat is het meest geschikte grijpprincipe voor het palletiseren en depalletiseren van zakken met een robot?

1.5 Afbakening

Om het project af te bakenen zijn er voor de start afspraken gemaakt in verband met de verwachtingen vanuit het bedrijf. Het project bestaat uit het volledig uitwerken van een mechanisch ontwerp. Dit project zal afgeleverd worden in de vorm van een CAD model, aangevuld met de werktekeningen. Aan het einde van het project moeten de kritische onderdelen verantwoord zijn aan de hand van de nodige berekeningen en moet er aanvullend een kostenanalyse gebeuren.

2 PLAN VAN AANPAK (PVA)

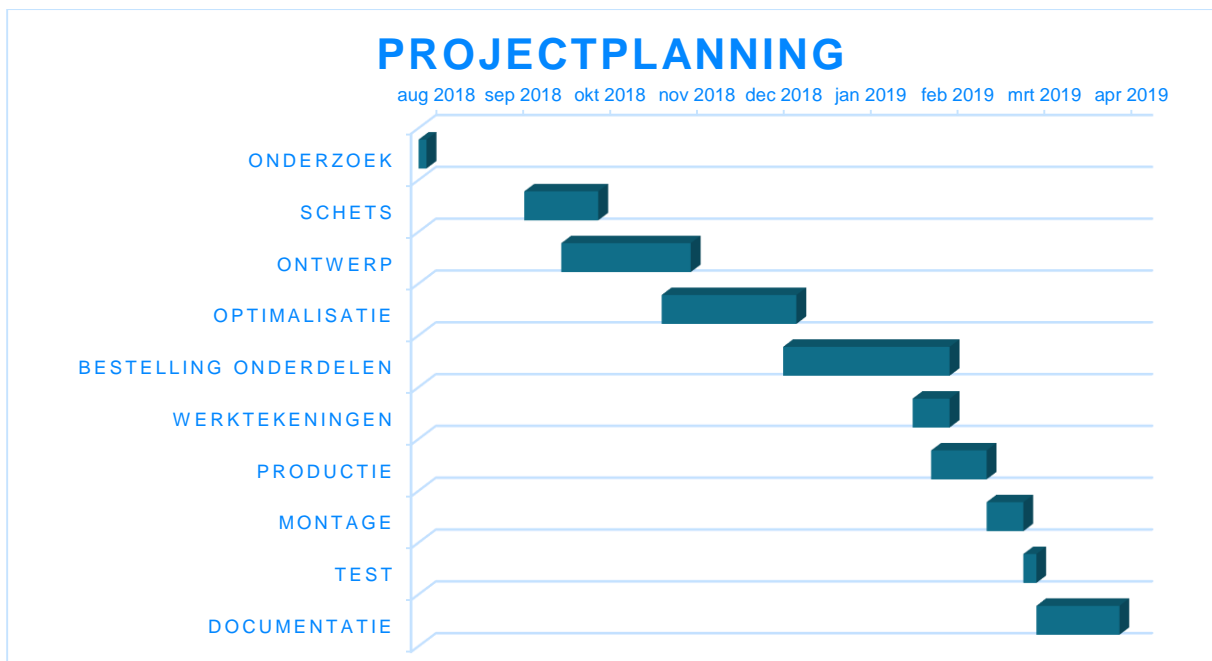


Figuur 2.1 Plan van aanpak

3 PROJECTPLANNING

3.1 Doel

Om ervoor te zorgen dat een project vlot verloopt en tijdig afgerond geraakt is het noodzaak om een goede projectplanning op te stellen. Door de stappen van het PVA, Figuur 2.1 op te lijsten en volgens een realistisch tijdschema te ordenen is het mogelijk om de deadlines te bepalen. Een planning is geen strikte verplichting maar geeft een goede weergave van de beschikbare tijd.



Figuur 3.1 Projectplanning

4 MARKTONDERZOEK GRIJPSYSTEMEN

4.1 Doel

De start van elk ontwerp begint bij het verkennen van de huidig toegepaste technieken. Voor dit stadium is een degelijk marktonderzoek vereist. Het doel van een marktonderzoek is dat de ontwerper kennis maakt met bestaande technieken en ervaringen. Het is niet de bedoeling om gekende methodes opnieuw uit te vinden. Een goede studie van bestaande oplossingen maakt het mogelijk om de geschikte systemen efficiënt te combineren en reproduceren tot een goed eindproduct. Het resultaat van dit alles vormt het antwoord op de onderzoeksvraag

4.2 Bestaande systemen

4.2.1 Messengripper

Werking: Dit grijpprincipe beschikt over een reeks messen die via een roterende of lineaire aandrijving de gevulde zakken kan perforeren. Het indringen van de messen geeft voldoende grip om de zakken te verplaatsen.

Voordelen:

- Deze klem heeft een eenvoudige en compacte constructie.
- Zeer snel door de eenvoudigheid van het systeem.

Nadelen:

- Voor het palletiseren van zakken is dit principe nagenoeg niet bruikbaar omdat de zak scheurt bij het indringen van de messen. De zakken zijn niet meer bruikbaar voor transport.

Toepassing: In productieprocessen die het product meteen verwerken waar dus de zak niet meer nodig is.

(RFA, sd)

4.2.2 Copal spidergripper



Figuur 4.1 Copal spidergripper (Copal, sd)

Werking: De klem bestaat uit enkele afzonderlijke grippers die de zak klemmen of vasthaken. Door voldoende klemkracht kan de zak eenvoudig vastgenomen worden.

Voordelen:

- Dit principe is een compacte oplossing voor het palletiseren en depalletiseren van zakken.

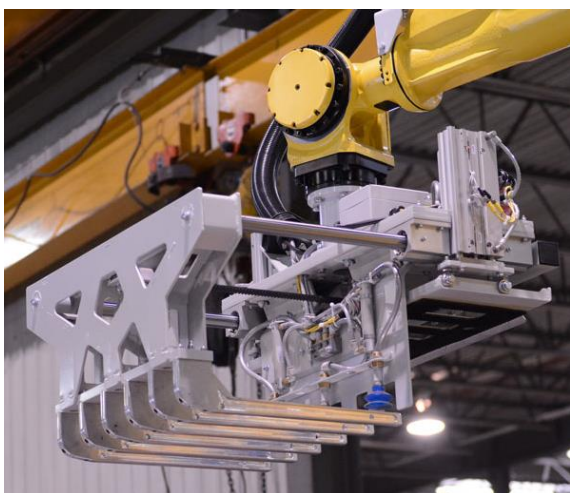
Nadelen:

- De grippers zijn enkel goed toepasbaar voor zakken vervaardigd uit stof (jute). Bij andere soorten materiaal zal de gripper geen grip krijgen of de verpakking beschadigen.

Toepassing: Voor goederen die verpakt zijn in jute zakken.

(Copal, sd)

4.2.3 Vorkprincipe



Figuur 4.2 Vorkprincipe (ptchronos, 2017)

Werking: De klem bestaat uit een brede vork die de zak kan opscheppen. Om de zak terug weg te leggen, zal de vork zich terugtrekken en dwingt een aanslagplaat de zak van de vork.

Voordelen:

- Het principe is redelijk eenvoudig, het heeft ongeveer de werking van een palletvork.
- Door de brede vork biedt dit systeem veel ondersteuning aan de zak, wat gewenst is voor een goede stapelkwaliteit.

Nadelen:

- Het volledige systeem is vrij omvangrijk en zwaar. De terugtrekbare vork zorgt voor een "lange" lineaire geleiding die een grote bewegingsruimte vereist.
- Met de vorken is het lastig om zakken op te nemen van de pallet zonder deze te beschadigen. Dit systeem is dus niet geschikt voor het depalletiseren van zakken.

Toepassing: Palletiseren van dozen en eventueel zakken.

(ptchronos, 2017)

4.2.4 Vinger grijper



Figuur 4.3 Vinger grijper (ptchronos, 2017)

Werking: Twee vorken zijn scharnierend tegenover elkaar opgesteld zoals een grijper. Voor het opnemen van de goederen draaien de vorken onder de zak door.

Voordelen:

- Dit grijper principe is eenvoudig van bouw en nog redelijk compact.
- De vorken bieden veel ondersteuning aan de zak.

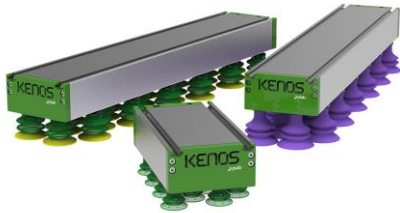
Nadelen:

- Het is net zoals met het vorkprincipe niet mogelijk om op deze manier een zak van een gestapelde pallet op te nemen zonder andere zakken te beschadigen.

Toepassing: Palletiseren van zakken.

(ptchronos, 2017)

4.2.5 Vacuüm gripper



Figuur 4.4 Piab Kenos KVG vacuüm gripper (Piab, sd)

Werking: Door met vele kleine of één grote zuignap de zak aan te zuigen is het mogelijk om deze op te nemen.

Voordelen:

- Deze opstelling is vrij compact en eenvoudig.
- Door het vacuümprincipe wordt de kracht verdeeld over een groot oppervlak waardoor beschadiging aan de verpakking minimaal is.

Nadelen:

- Er is vacuüm vereist, dit dient speciaal opgewekt te worden.
- Er moet eventueel een mechanische klem toegevoegd worden om zekere ondersteuning te garanderen.
- Luchtdoorlatende zakken kunnen niet vastgenomen worden.
- Sommige vacuümprincipes vervormen de zak sterk bij het opnemen. Grote vervormingen geven vaak problemen bij het stapelen van de zakken.

Toepassing: Palletiseren en depalletiseren van zakken.

(ptchronos, 2017)

(Piab, sd)

4.3 Keuzemethode

Om een geschikt grijpprincipe te selecteren is hier gebruik gemaakt van de Kesselringmethode. De eerste stap in het toepassen van deze keuzetechniek is het opstellen van een beoordelingsmatrix. Deze matrix bevat alle voorwaarden waar in bepaalde mate aan moet voldaan zijn voor een goede werking. De quotering is gebeurd na het doornemen van bovenstaand marktonderzoek met de projectomschrijving in het achterhoofd. Elk principe is beoordeeld volgens de opgelegde criteria met een waarde van 0 tot 5. Om realistische waarden te bekomen is de quotering ook uitgevoerd door enkele collega's bij Gebroeders Doms.

Tabel 4-1 Beoordelingsmatrix met gemiddelde score

Criteria		Vergelijking klemprincipes					
		Mes gripper	Spider gripper	Vork principe	Vinger gripper	Vacuüm gripper	Vacuüm-gripper
1	Eigen massa	5	4	3	3	4	3
2	Hefcapaciteit	3	3	5	5	3	5
3	Compactheid	5	4	2	3	5	3
4	Complexiteit	4	4	3	3	5	3
5	Snelheid	4	3	3	3	4	4
6	Energieconsumptie	4	5	4	3	2	3
7	Klemzekerheid	2	3	3	4	3	5
8	Veiligheid	2	3	3	3	4	4
9	Kostprijs	4	3	3	3	4	3
10	Toepasbaarheid	0	0	3	3	4	5
Score		33	32	32	33	38	39

Niet alle voorwaarden zijn van even groot belang voor het ontwerp. De score die rechtstreeks uit de beoordelingsmatrix komt, is dus niet veelzeggend. Het invoeren van weegfactoren kan deze afwijkingen compenseren. Door de voorwaarden onderling met elkaar te vergelijken kan een ontwerper via volgende tabel eenvoudig de weegfactoren vinden.

Op de twee assen zijn de gestelde criteria tegenover elkaar geplaatst. Indien de voorwaarde op de horizontale as belangrijker is dan deze op de verticale as, dan krijgt deze de waarde 1. In het ander geval krijgt deze een 0 als waarde. De uiteindelijke som vormt een score die hoort bij het betreffende criteria. Door tot slot de score nog om te vormen naar een geheel getal tussen 1 en 5 komt de weegfactor tot stand.

Tabel 4-2 Weegfactoren

Bepaling Weeg factoren												
Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Score	Weegfactoren
1	-	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3	2
2	1	-	0	0	1	1	0	0	1	0	4	2
3	0	1	-	0	0	0	0	1	1	0	3	2
4	1	1	1	-	0	0	0	1	0	0	4	2
5	1	0	1	1	-	0	0	1	1	0	5	3
6	0	0	1	1	1	-	0	0	1	0	4	2
7	1	1	1	1	1	1	-	0	1	0	7	4
8	1	1	0	0	0	1	1	-	0	0	4	2
9	0	0	0	1	0	0	0	1	-	0	2	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	9	5

Door nu de scores in de beoordelingsmatrix te vermenigvuldigen met bijhorende weegfactoren verkrijgen we de definitieve quotering.

Tabel 4-3 Definitieve quotering

<i>Criteria</i>	<i>Vergelijking klemprincipes</i>					
	Mes gripper	Spider gripper	Vork principe	Vinger gripper	Vacuüm gripper	Vacuüm-gripper
<i>Eigen massa</i>	10	8	6	6	8	6
<i>Hefcapaciteit</i>	6	6	10	10	6	10
<i>Compactheid</i>	10	8	4	6	10	7
<i>Complexiteit</i>	8	8	6	6	10	6
<i>Snelheid</i>	12	9	9	9	12	12
<i>Energieconsumptie</i>	8	10	8	6	4	6
<i>Klemzekerheid</i>	8	12	12	16	12	20
<i>Veiligheid</i>	4	6	6	6	8	8
<i>Kostprijs</i>	4	3	3	3	4	3
<i>Toepasbaarheid</i>	0	0	15	15	20	25
<i>Score</i>	70	70	79	83	94	104
<i>Score [%]</i>	68%	68%	76%	80%	91%	100%

Conclusie:

Tabel 4-1 geeft de resultaten weer die samengesteld zijn uit de beoordeling. Hier is meteen op te merken dat de mes- en haakgripper geen toepassing vinden binnen het project. Ondanks de relatieve hoge score zijn deze technieken dus meteen afgevoerd. Het vorkprincipe is eveneens geen geschikte methode voor het palletiseren van zakken. Vooral door de complexe constructie van deze gripper valt de totale score vrij laag uit. De vinger gripper met twee vorken is dankzij zijn compactere bouw beter toepasbaar. Ondanks de hoge score is deze gripper echter niet in staat om zakken op te nemen van een gestapelde pallet. De oplossing voor dit probleem is te vinden in de vorm van een vacuüm-gripper. Dit systeem is door middel van vacuüm wel in staat om zakken op te nemen. Het nadeel van vacuüm is dat de energieconsumptie vrij hoog ligt en de zak vervormt onder invloed van de zwaartekracht. De klemzekerheid blijft laag omdat dit principe volledig moet vertrouwen op het behoud van onderdruk. Voor onze toepassing kunnen we het meest geschikte principe samenstellen door het combineren van de vacuüm-gripper met de vinger-gripper. Zo beschikken we over de mogelijkheid om zakken op te nemen van een gestapelde pallet in combinatie met de klemzekerheid en steun van de vinger-gripper. De goede ondersteuning door vingers tijdens transport zorgen voor een minimale vervorming van de zak.

(J.C.F, 2006)

5 WERKING PALLETISEERKLEM

Dit hoofdstuk licht de functies en werking van de palletiseerklem meer toe. De toepassing van deze grijper vindt zich in de twee aspecten van het palletiseren. De grijper moet in staat zijn om zakken te palletiseren en depalletiseren.

5.1 Functies

Om de werking van de grijper te kunnen begrijpen is er enige kennis vereist van de verschillende functies. Dit onderdeel bevat een beknopte omschrijving alle belangrijke functies waarover de palletiseerklem beschikt.

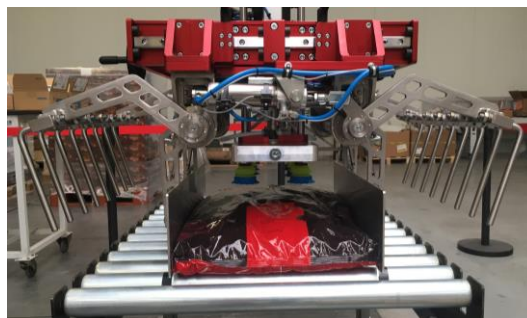
5.1.1 Vorken



Figuur 5.1 Zak ondersteund door vorken

Om de zakken goed te ondersteunen is er gekozen voor het gebruik van twee vorken. De toepassing van vorken geeft een goede ondersteuning aan de zak, wat bevorderlijk is voor de stapelkwaliteit. Deze vorken zijn scharnierend opgesteld zodat ze als een grijper de zak kunnen opscheppen.

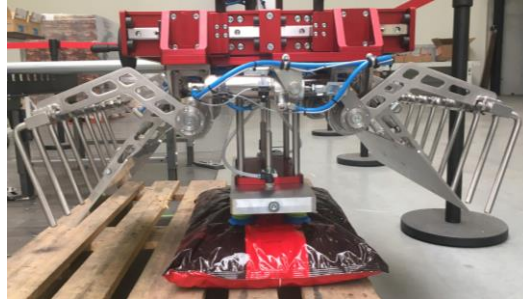
5.1.2 Centreerplaten



Figuur 5.2 Centrerende van de zak

De uitlijning van het product in de gripper is cruciaal voor de reproduceerbaarheid van het stapelpatroon en heeft dus een directe invloed op de kwaliteit van de installatie. Door deze functionaliteit in de gripper te integreren is een pusher of fijne uitlijning niet nodig op het pick point (PP). Ook bij het her stapelen van pallets is dit een pluspunt aangezien het niet nodig is om de zakken opnieuw te grijpen.

5.1.3 Vacuüm gripper



Figuur 5.3 Uitgestuurde lift

De gripper is voorzien van een vacuüm gripper om het depalletiseren mogelijk te maken. Deze gripper kan door middel van een liftstelsel naar boven en beneden bewegen tegenover de vorken. Hij heeft vooral als doel om de zakken op te nemen van een gestapeld pallet. In bepaalde situaties vindt de vacuüm gripper ook zijn toepassing bij het voorzichtig neerleggen van zakken. Klassiek laat men de zakken vallen van een geringe hoogte. Zakken zijn vaak niet vormvast en geven zo onzekerheid over de eindpositie. De vacuüm gripper maakt het mogelijk om de zakken te begeleiden tot op de pallet. Deze beweging of het inschuiven van producten verhoogt de stapelstabiliteit.

Door de vacuüm gripper is het mogelijk deze gripper te gebruiken voor het palletiseren van dozen. De vorken blijven dan steeds geopend en de centerplaten zorgen voor meer stabiliteit tijdens transport. Het is optioneel om het vacuüm gebied in verschillende zones aan te sturen, deze functie maakt het mogelijk om er bij het palletiseren van dozen voor te kiezen om twee dozen op te nemen en afzonderlijk af te zetten.

5.1.4 Breedte instelling

De universele palletiseerklem is in staat om verschillende formaten van zakken te manipuleren. Om het verschil in grootte te kunnen compenseren is het mogelijk om de klembreedte van de gripper in te stellen. De scharnierassen van de vorken en centerplaten zijn gemonteerd op twee onafhankelijke sledes. De verplaatsing van deze sledes gebeurt synchroon door het aandrijven van een spindeloverbrenging. De aandrijving kan tot stand komen door het roteren van een handwiel of aansturen van een servomotor. De servo optie is noodzakelijk indien één installatie simultaan verschillende producten moet verwerken.

5.1.5 Grijperwissel



Figuur 5.4 Schunk gripperwissel (Schunk, sd)

Om een robotcel zo optimaal mogelijk te benutten kan het interessant zijn om meerdere grijpers te voorzien. Voor deze toepassingen bestaan speciale gripperwissels die de robot in staat stellen om zelfstandig zijn gripper te wisselen. Om deze mogelijkheid niet uit te sluiten is de gripper ook voorzien voor de installatie van een Schunk gripperwissel.

5.1.6 Zintuigen

Om de klem bedrijfszeker te kunnen toepassen zijn er enkele sensoren toegevoegd die als zintuigen van de gripper functioneren.

5.1.6.1 Hoogtemeting

Een zak is geen vormvast product. Om de stapelhoogte van de pallet te kunnen inschatten en compenseren is er een afstandsmeting geplaatst op de zuignap. Zo kan de robot de klem laten zakken tot op een geschikte hoogte voor het opnemen of neerleggen van de zak.

5.1.6.2 Vacuümdetectie

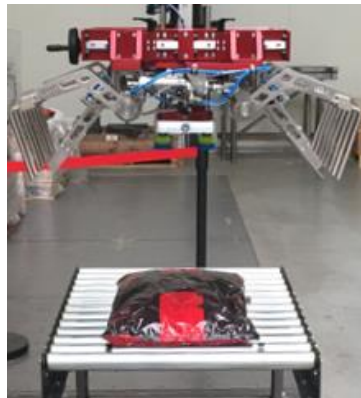
Bij het opnemen van de zak met vacuüm is de klemzekerheid laag. Het installeren van een drukmeting op de vacuümgripper maakt detectie van de onderdruk mogelijk. Wanneer deze voldoet kan de zak worden opgenomen. Indien de zak valt of door een fout geen vacuüm ontwikkeld, kan het systeem of de operator ingrijpen.

5.2 Palletiseren

Tijdens het palletiseren neemt de robot met behulp van de gripper zakken op van een PP en legt deze vervolgens neer op een pallet volgens een gewenst stapelpatroon. Vaak staat aan het einde van de lijn een rollenbaan die de zakken aanvoert aan de robotcel. Het PP is een deel van de rollenbaan waarvan de rollen op een vaste afstand staan. Deze afstand komt overeen met de steek van de vork. Zo kan de gripper hier de zak eenvoudig opscheppen.

5.2.1 Opnemen

5.2.1.1 Naderingspositie



Figuur 5.5 Naderingspositie boven pick point

De robot rijdt voor het opnemen van de zak eerst aan tot een naderingspositie boven het PP. Hier maakt de gripper zichzelf klaar voor de grijpcyclus. De vorken en centreerplaten staan open en de vacuümlift staat omhoog. Vervolgens zakt de robot tot op de geschikte grijphoogte.

5.2.1.2 Grijpcyclus

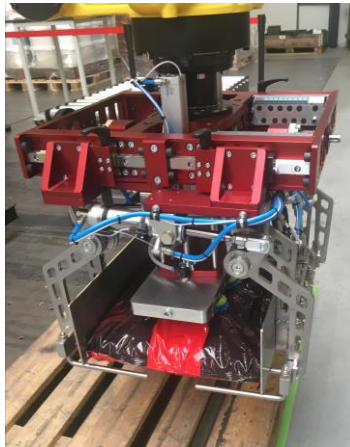


Figuur 5.6 Centreren van de zak

Eerst sluiten de centreerplaten, dit heeft als doel eventuele positieafwijkingen van de zak weg te werken. Nu de zak op een goede positie ligt, sluiten de vorken waardoor de tanden onder de zak door bewegen en die opsluiten. Hiermee is deze cyclus afgewerkt.

5.2.2 Stapelen

5.2.2.1 Naderingspositie



Figuur 5.7 Naderingspositie boven drop point

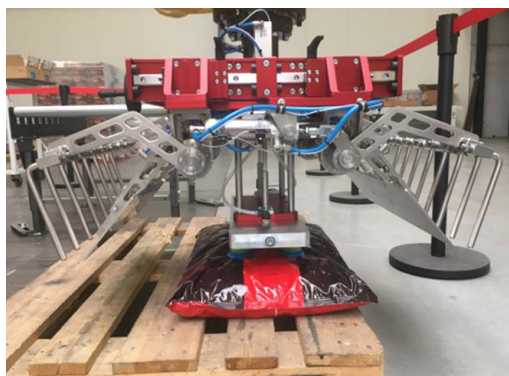
Bij het opnemen van de zak rijdt de robot aan tot een ingestelde naderingspositie boven de pallet en laat vervolgens de gripper zakken naar de geschikte drophoogte.

5.2.2.2 Neerleggen



Figuur 5.8 Klassiek neerleggen van de zak

Klassiek laat men de zakken vallen van een geringe hoogte. Dan openen enkel de vorken van de gripper waardoor de zak dankzij de centreerplaten netjes verticaal naar beneden valt.



Figuur 5.9 Neerleggen van de zak met vacuüm gripper

Voor gevoelige goederen is het mogelijk om met de vacuüm-grijper eerst de zak uit de vorken te nemen voor deze openscharnieren. Door vervolgens de lift uit te sturen is het mogelijk om de zak voorzichtig neer te leggen.

5.3 Depalletiseren

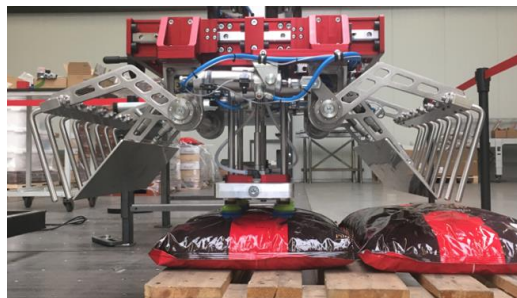
Depalletiseren is het omgekeerde van palletiseren. De robot neemt de zakken op van een pallet en voert deze toe aan de productielijn. Deze toevoer gebeurt in een vooraf bepaald drop point (DP).

5.3.1 Opnemen

5.3.1.1 Naderingspositie

In de eerste stap rijdt de robot aan tot boven het gestapelde pallet. Hier zal de robot de grijper volledig openen en vervolgens de lift met vacuüm-grijper uitsturen.

5.3.1.2 Grijpcyclus



Figuur 5.10 Zak opnemen vanaf een gestapelde pallet

In de tweede stap neemt de grijper een zak op uit een stapelpatroon zonder omliggende zakken te beschadigen. Vanaf het ogenblik dat de vacuüm-grijper de zak goed aangezogen heeft, stuurt de controller de lift omhoog. Nu kunnen de vorken onder de zak draaien waardoor de zak goed ondersteund is.

5.3.2 Neerleggen

5.3.2.1 Naderingspositie

De robot rijdt aan boven de rollenbaan of transportband die de zak aanvoert naar de productielijn.

5.3.2.2 Neerleggen

Er zijn twee methodes mogelijk voor het neerleggen van de zak. Klassiek openen de vorken waardoor de zak verticaal op het DP valt. Voor de gevoeligere goederen kan de robot met behulp van de vacuüm-grijper ook weer de zak op het DP leggen.

6 COMPONENTEN KEUZE

Dit hoofdstuk geeft meer uitleg bij de keuze van de gebruikte componenten. Bij een goed ontwerp hoort een verantwoorde selectie van de meest geschikte onderdelen. Deze ontwerpfase vereist een beperkte voorafgaande studie en voldoende inzicht. Dit hoofdstuk behandelt enkel de structurele selectie, de numerieke berekeningen zijn terug te vinden in hoofdstuk 8.

6.1 Persluchtcilinders

Om de aandrijving van de vorken, centreerplaten en lift tot stand te brengen is ervoor gekozen om persluchtcilinders te gebruiken. De implementatie van deze pneumatische componenten is een stuk eenvoudiger en goedkoper dan de meeste servosystemen. Dankzij hun eenvoudige constructie zijn deze componenten zeer robuust waardoor ze vaak terug te vinden zijn in de huidige industrie. De nauwkeurigheid die deze onderdelen kunnen bereiken is beperkt maar voldoende voor de vernoemde toepassingen.



Figuur 6.1 Persluchtcilinders

6.1.1 Implementatie

De cilinders die de vorken aandrijven zijn horizontaal opgesteld. Dit zorgt voor de meest compacte opstelling. Om de lineaire kracht om te zetten in een koppel, zijn de cilinders verbonden met een momentarm op de scharnier as.

De centreerplaten zijn met een holle as scharnierend opgesteld rond de as van de vorken. De aandrijving van de centreerplaten is op een andere manier uitgevoerd. De beide cilinders zijn gemonteerd tussen een vast punt op de sleden enerzijds en een montagepunt onderaan de centreerplaten anderzijds. De lineaire beweging van de persluchtcilinders opent en sluit de platen rechtstreeks.

Ook voor de lift is het vanzelfsprekend dat persluchtcilinders zeer goed toepasbaar zijn. Door de lineaire beweging van de cilinders rechtstreeks te koppelen met de lift is de aandrijving compleet.

6.1.2 Bouwvorm

FESTO heeft een groot gamma aan verschillende bouwvormen. De keuze van de bouwvorm heeft vaak te maken met de beschikbare inbouwruimte en benodigde attributen.

6.1.2.1 Vorken

Voor de aandrijving van de vorken is volgende cilinder geconfigureerd: DSNU-40-70-P-A-MA (zie bijlage A). Dit is een dubbelwerkende ronde cilinder en zo bijna de meest eenvoudige cilinder in het gamma. Door de grote variatie aan compatibele attributen is dit de meest geschikte cilinder voor montage onder de slede. De laatste twee letters in de productcode wijzen op een axiale persluchtaansluiting in het afsluitdeksel. Deze aansluiting was nodig om een conflict met de slede en arm van de vork te vermijden.

6.1.2.2 Centreerplaten

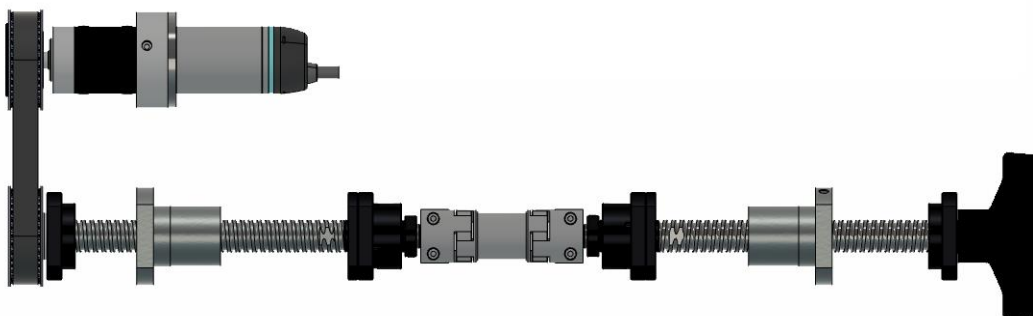
Voor de centreerplaten is volgende configuratie samengesteld: DSNU-25-40-PPV-A (zie bijlage A). Dit is eveneens een dubbelwerkende ronde cilinder, nagenoeg de basisconfiguratie. Om in de aandrijving schokken te minimaliseren heeft deze cilinder zelfinstellende pneumatische demping. Deze demping bestaat uit een vernauwing aan het einde van de slag waardoor een luchtkussen ontstaat dat de overige kinetische energie kan dempen.

6.1.2.3 Lift

De cilinders van de lift zijn verwerkt in de basis. Door de beperkte inbouwruimte is er gekozen voor een compacte cilinder met volgende configuratie: ADN-25-115-A-PPS-A-95K8 (zie bijlage B). Ook deze cilinders zijn dubbelwerkend en beschikken over zelfinstellende pneumatische demping. Om de cilinder rechtstreeks te kunnen monteren aan de liftplaat zijn de cilinders uitgevoerd met een verlengde zuigerstang. Dit wil zeggen dat tegenover de standaard cilinder de zuigerstang 95 mm langer is. Zo steekt de zuigerstand nog uit over een lengte van 95mm als de cilinder volledig in gestuurd is.

6.2 Aandrijving sledes

Om de breedte van de klem eenvoudig te kunnen wijzigen is gekozen voor een spindeloverbrenging. Door een spindel met linkse en rechtse schroefdraad met elkaar te verbinden, bewegen de sledes synchroon in tegenovergestelde richting bij aandrijving door een extern koppel.



Figuur 6.2 Aandrijfsysteem sledes

6.2.1 Kogelomloopspindel



Figuur 6.3 Kogelomloopspindel (Eichenberger, sd)

Om de spindeloverbrenging robuust uit te voeren met een hoog rendement zijn kogelomloopspindels gebruikt. In tegenstelling tot een gewone schroefspindel vereist de kogelomloopspindel geen losbreekkoppel om de statische wrijving te overwinnen en geeft dit een ultieme vermogensoverdracht. De fabrikant die de geselecteerde spindel levert, is Eichenberger. Deze Duitse firma levert spindels van hoge kwaliteit. De meest geschikte spindel uit het gamma van Eichenberger blijkt de Carry $\varnothing 16 \times 5$ FBI. Het spindel type Carry geeft weer dat het gaat om de kogelomloopspindels van Eichenberger. Het moer type FB wijst op een compacte montageflens en de laatste letter geeft weer met welk kogelomloopsysteem de moer is uitgevoerd. Het kogelomloop type I heeft de meest compacte bouwvorm. De diameter van 16mm is bepaald aan de hand van een vereiste veiligheidsfactor $f_s > 10$ om onvoorspelbare schokken te compenseren.

(Eichenberger, sd)

6.2.2 Servomotor

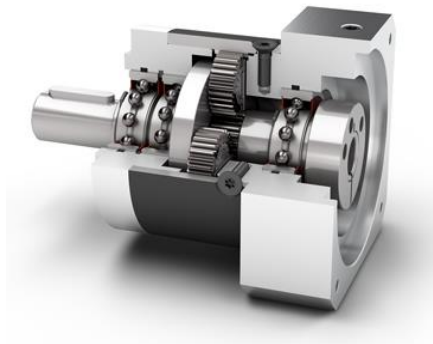


Figuur 6.4 Cyber® dynamic line servo motoren (Wittenstein, sd)

De aandrijving van de spindel gebeurt door middel van een servomotor. Deze motor maakt het mogelijk om automatisch de breedte van de grijper in te stellen. Door de beperkte ruimte is er nood aan een compacte servomotor. Voor deze motoren kwam de fabrikant Wittenstein meteen in aanmerking. Deze levert de cyber® dynamic line motoren. Dit zijn compacte servomotoren met een heel grote vermogensdichtheid.

(Wittenstein, sd)

6.2.3 Planetaire tandwielkast



Figuur 6.5 Planetaire reductiekast (Neugart, sd)

De motoren van Wittenstein hebben een uitgangstoerental van 5575tr/min. Om dit toerental te reduceren naar het gewenste toerental en vervolgens koppel te winnen is er op de motor een planetaire overbrenging gemonteerd. Onze toepassing vereist overbrengingsverhouding $i=4$. Om de axiale spankrachten van de riem te kunnen weerstaan is er gekozen om een tandwielkast van Neugart te nemen met volgende configuratie: PLE 040004. Deze tandwielkast heeft niet de correcte montageflens. Om de tandwielkast te kunnen monteren op de cyber® dynamic line motoren moet deze eerst nog enkele machinale bewerkingen ondergaan.

(Neugart, sd)

6.2.4 Riemoverbrenging

Om de uitgaande as van de tandwielkast te koppelen met de spindels zijn deze verbonden met een tandriemoverbrenging. De tandriem is in tegenstelling tot een vlakke- of V-riem slipvrij en zorgt voor een eenvoudige en robuuste overbrenging.

6.2.5 Koppeling



Figuur 6.6 R+W line shaft (R+W, sd)

Om de beweging van de sledes synchroon uit te voeren zijn de spindels verbonden met een askoppeling van R+W. De geschikte koppeling heeft volgende configuratie: R+W_EZ2_10_10. De naam wijst op een line shaft met bouwmaat 10 en as diameter van 10mm. De lengte van deze koppelingen is steeds volledig vervaardigd op maat van de beschikbare inbouwruimte.

(R+W, sd)

6.2.6 Handwiel



Figuur 6.7 VDT+IR handwiel (Elesa+Ganter, sd)

Voor toepassingen waarbij het niet noodzakelijk is om de breedte frequent te regelen kan de klant ook kiezen voor een handwiel. Dit is een stuk goedkoper en zal voor vele toepassingen volstaan.

6.3 Lagers

Om verschillende starre onderdelen met een geringe wrijving tegenover elkaar te laten bewegen is de keuze van een geschikte lageropstelling van groot belang. Het ontwerp van deze gripper bevat een grote variatie aan lagertypes.

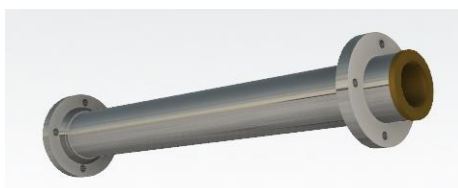
6.3.1 Aandrijfas vork



Figuur 6.8 Aandrijfas vork

De vorken zijn gemonteerd op een volle aandrijfas. Deze as heeft als hoofddoel om de beide armen van de vork te verbinden met elkaar zodat er een star geheel ontstaat. Als bijkomende functie dient deze als scharnierpunt van de centreerplaten. De lagertypes ondervinden dus voornamelijk een variabele last. Deze aandrijfas is gelagerd met twee enkelrijige groefkogellagers. Een groefkogellager is het meest eenvoudige lagertype. Dit soort lagertypes is in massaproductie eenvoudig te maken. Daarom zijn ze relatief goedkoop. Voor de lagering van deze as was inbouwruimte en extreme belasting geen bottleneck waardoor er dus rechtstreeks geopteerd is voor de eenvoudige groefkogellagers.

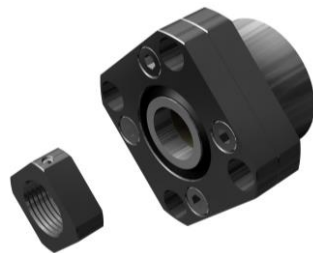
6.3.2 Draagas centreerplaten



Figuur 6.9 Draagas centreerplaten

De draagassen voor de centreerplaten zijn hol uitgevoerd. Dit maakt het mogelijk om deze as rond de draagas van de vorken op te stellen. Op die manier maken beide elementen gebruik van hetzelfde scharnierpunt waardoor de grijper een stuk compacter blijft. De lagering van deze as is uitgevoerd met bronzen glijlagers, de keuze voor glijlagerbussen maakt het mogelijk om verschillende onderdelen gemakkelijk te monteren of demonteren. Dit vereenvoudigt het onderhoud enorm en heeft als bijkomend voordeel dat deze bij gebruik een kleine inbouwruimte vereisen wat voor het ontwerp van groot belang is.

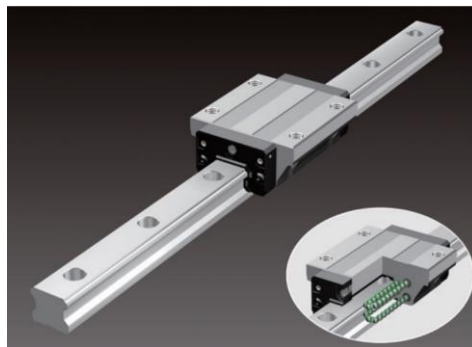
6.3.3 Spindellagers



Figuur 6.10 (THK, sd)

Om de spindels correct te lagere levert onder andere THK specifieke spindellagers. Elke spindel is voorzien van een vaste en losse lager. Wanneer de omgevingstemperatuur wijzigt zal de spindel of het frame uitzetten of krimpen. De losse lager compenseert deze lengteverandering en vermijdt zo hoge ongewenste lagerbelastingen.

6.3.4 Lineaire kogelomloopgeleiding



Figuur 6.11 (THK, Caged ball LM guide SHS, 2007)

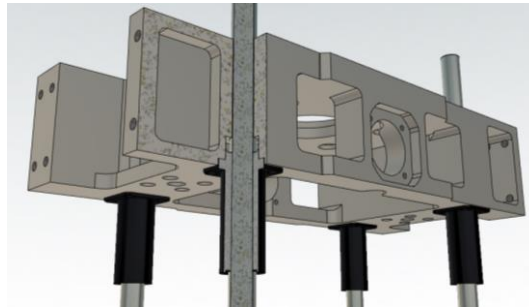
Om de sledes te kunnen verplaatsen zijn deze gemonteerd op een lineaire geleiding. Deze lagering moet voldoende stijfheid waarborgen maar toch een grote belasting kunnen verdragen omdat onder deze slede het volledige grijpermechanisme gemonteerd is. Voor dit soort toepassing is een kogelomloopgeleiding ideaal. De leverancier voor dit product is THK. De bouwvorm die voor ons project voldoet is de SHS20LC. Dit is de geleiding met een breedte van 20mm met een lange uitvoering van de loopwagen. Deze verlengde loopwagen geeft een groter draagvermogen en een betere weerstand tegen het optredende wringmoment.

6.3.5 Kogelbussen.



Figuur 6.12 Kogelbus LMIK-L (THK, LMIK-L, sd)

Ook de lift heeft met zijn lineaire beweging nood aan extra steun. Deze lagering is gebaseerd op enkele kogelbussen. Deze geleiding is samengesteld uit een ronde geslepen as die door de kogelbus vrij kan schuiven in de axiale richting. De geselecteerde kogelbus is geschikt voor een geleidingsas van $\varnothing 16$. Verder heeft deze een vierkante flens waardoor ze heel compact in te bouwen is. De laatste troef van deze geleidingsbussen is dat ze voorzien zijn van een pasrand waardoor deze veel steun krijgt van een montageboring.



Figuur 6.13 Montage kogelbussen

6.4 Vacuümgrijper

Vooraleer een geschikte vacuümgrijper te selecteren is er een beperkt marktonderzoek gedaan.

In het algemeen bestaan er 3 verschillende systemen voor het opnemen van zakken: de foam gripper, de gripper met een grote vacuümkamer en een gripper met afzonderlijke zuignappen. Het gedrag van een vacuümgrijper is moeilijk te voorspellen, vele parameters zijn afhankelijk van het op te nemen object. Om het meest geschikte principe te selecteren was het dus nodig om de grippers te testen op enkele zakken.

Vele leveranciers bieden een uitgebreid gamma aan van vacuümssystemen. De producent Piab leek meteen heel interessant omdat ze de 3 verschillende principes aanbieden onder de Kenos-serie.

Om de grippers te kunnen testen is er contact gelegd met de Belgische verdeler Pnevano. Pnevano is een bedrijf dat 40 jaar ervaring heeft op vlak van pneumatica en vacuümtechniek. De troef van Pnevano is dat ze verdeler zijn van veel verschillende merken. Dit zorgt voor een groter assortiment aan componenten en vaak ook een meer economische oplossing voor het probleem. Het bedrijf is gevestigd in Wommelgem, dit is ten opzichte van Brecht relatief nabijgelegen.

6.4.1 Kenos

De Kenos serie van Piab bestaat uit een ejectormodule die uitgerust kan worden met een grote variatie van grippers. Dit is zeer interessant omdat deze module als toevoer enkel perslucht vereist. Dit maakt de installatie zeer eenvoudig.

6.4.1.1 KSG gripper



Figuur 6.14 KSG gripper (Piab, sd)



Figuur 6.15 KSG gripper met foam afdichtingsrand

De KSG gripper is het eerste principe dat aan de test onderworpen werd, dit principe is algemeen bekend als zakkengrijper en is gebaseerd op een grote vacuümkamer. Deze gripper heeft veel kracht en is in staat om de zakken op te nemen en vast te houden in dynamische toepassingen. De grote vacuümkamer heeft als nadeel dat de zak sterk vervormt en zelfs blijvende sporen nalaat. De vervorming van de zak is vaak nefast voor de stapelkwaliteit en blijvende plooien zijn voor end-of-line toepassingen ongewenst.



Figuur 6.16 Resultaat KSG gripper

De vervorming is vooral het gevolg van de onderdruk die zak in de vacuümkamer trekt. Het lijkt dus logisch dat de vervorming vermindert door de bodem van de gripper te verlagen. Deze aanpassing levert weinig op omdat het opzuigen van de zak net de grote kracht geeft aan dit principe. De gripper verzwakt in dit geval enorm en is dus niet meer in staat om de zak op te heffen.

6.4.1.2 KBC gripper

Omdat de KSG gripper veelbelovend is naar hefvermogen toe, stelde Pnevano voor om de Kenos KBC gripper te testen. De KBC gripper is het kleine broertje van de KSG gripper maar met een minder diepe bodem. Het resultaat van deze test bewijst weer dat de diepe bodem van de KSG gripper net de troef is die zorgt voor het hoge hefvermogen. Verder blijft bij dit principe ook de vervorming van de zakken een probleem. Ook deze gripper is dus niet geschikt.



Figuur 6.17 Resultaat KBC gripper

6.4.1.3 KVG gripper

Als volgende alternatief biedt Piab de KVG gripper aan. Deze gripper is beschikbaar in twee uitvoeringen. De eerste is een foam gripper en de tweede is voorzien van kleine zuignappen.



Figuur 6.18 KVG120

Een foam gripper is een vacuüm gripper die met behulp van structurele schuim de kracht goed kan verdelen over het oppervlak en in staat is om beperkte oneffenheden te compenseren. Zoals verwacht is de foam gripper niet echt geschikt voor zakken. Deze gripper werkt het best bij een vormvast product. Er zijn fabrikanten die foam grippers toch aanbieden voor het verhandelen van zakken. Ondanks het aanbod raden de meeste verkopers dit principe vooral aan bij het palletiseren van dozen.

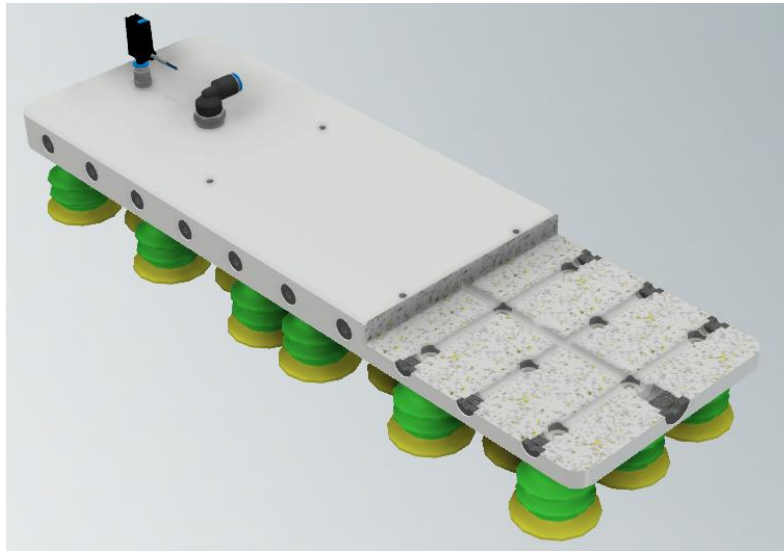


Figuur 6.19 KVG120C

Voor de laatste gripper is het moeilijker om een direct oordeel te vormen. Het grijpvermogen is sterk afhankelijk van de zuignap die gemonteerd staat op de gripper. De zuignappen op het demomodel matchen niet goed met ons testmateriaal.

6.4.2 Zuignap

Door zelf een vacuümeiland te ontwerpen op maat van de klant zal dit zorgen voor een optimale ondersteuning bij het palletiseren en depalletiseren. Het vacuüm eiland bestaat uit een aluminium blok die voorzien is van een netwerk aan luchtkanalen. Deze kanalen zorgen ervoor dat de onderdruk elke zuignap bereikt. Net zoals bij de volledige vacuümgrijpers is het best om de zuignappen te testen op het testmateriaal om zo de meest geschikte zuignap te vinden. Ook hier is Piab de producent.



Figuur 6.20 Vacuüm eiland

6.4.2.1 BX52P 30/60

Configuratie: 0106045



Figuur 6.21 BX52P 60/30

Deze zuignap beschikt over een zachte lip waardoor deze de oneffenheden van de zak goed afsluit. Ook de twee balgen zorgen voor een uitstekende compensatie. Tegenover de zachtheid van de lip staat dat deze vrij dik is. Door de dikke lip heeft deze zuignap moeite om de plooien in de zak af te dichten waardoor het lekdebiet te hoog oploopt. Hierdoor ontstaat onvoldoende onderdruk om de zak op te heffen.

6.4.2.2 *piGrip® BGI48*

Configuratie: G.BGI48S50.B1.S1.G14M.01



Figuur 6.22 piGrip® BGI48

Dit is de baghandeling cup van piab met een diameter van 48mm. Deze heeft in tegenstelling tot de BX52P een heel dunne harde lip. De hardheid van de lip zorgt voor een hoge duurzaamheid. Omdat de lip zo dun is lukt het om de plooien van de zak voldoende af te sluiten. Zo is deze zuignap wel in staat om de zakken op te nemen. De kleine diameter kan echter niet genoeg weerstand bieden tegen de afschuifkrachten. Na verloop van tijd schuift de zak uit de gripper.

6.4.2.3 *piGrip® BGI63*

Configuratie: G.BGI63S50.B1.S1.G14M.01



Figuur 6.23 Pigrip® BGI60

Deze cup is het grotere formaat van de baghandeling cup met een diameter van 63mm en heeft dezelfde eigenschappen als de piGrip® BG48. Door de grotere diameter is deze zuignap in staat om de afschuifkrachten te overwinnen en de zak vast te houden voor langere duur. Deze zuignap geeft het beste resultaat met het beschikbare testmateriaal.

6.4.3 **Besluit**

Voorgaande testen leveren als resultaat dat de meest geschikte vacuümgrijper bestaat uit een opstelling met afzonderlijke zuignappen. Door het vacuümeiland zelf te ontwerpen is het mogelijk om een zuignappatroon op maat van de klant te maken. Dit zal de meest geschikte oplossing zijn voor een universele toepassing.

6.5 Elektrisch

Ook in het ontwerp van de palletiseerklem is het gebruik van elektronische componenten niet weg te denken. Een controller zal zorgen voor de aansturing van de grijper en moet vertrouwen op de geïmplementeerde sensoren. De configuratie van de sensoren op de grijper zal voor elke toepassing nagenoeg hetzelfde zijn. Het is dus interessant om dit verder uit te werken.

6.5.1 I/O lijst

De I/O lijst in Tabel 6-1 geeft een overzicht van de benodigde in en uitgangen.

Tabel 6-1 I/O lijst

	<i>Type</i>	<i>Soort</i>	<i>Functie</i>
<i>Inputs</i>	Digital	Reed	Vork gesloten links
	Digital	Reed	Vork open links
	Digital	Reed	Vork gesloten rechts
	Digital	Reed	Vork open rechts
	Digital	Reed	Centreerplaat gesloten links
	Digital	Reed	Centreerplaat open links
	Digital	Reed	Centreerplaat gesloten rechts
	Digital	Reed	Centreerplaat open rechts
	Digital	Reed	Lift up
	Digital	Reed	Lift down
	IO-Link	Drukmeting	Vacuümdetectie
	IO-Link	Afstandsmeting	Stapelhoogte
<i>Outputs</i>	Digital	5/3 Ventiel	Aansturing vorken open
	Digital	5/3 Ventiel	Aansturing vorken open
	Digital	5/2 Ventiel	Aansturing centreerplaten
	Digital	5/2 Ventiel	Aansturing lift
	Digital	2/2 Ventiel	Aansturing lift

6.5.2 Inputs

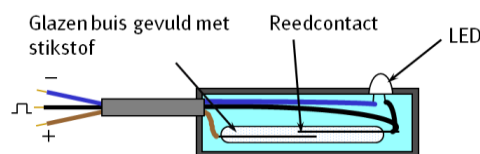
6.5.2.1 Reedcontacten

Sensor: FESTO: SME-8M-DS-24V-K-2.5-OE



Figuur 6.24 Reedcontact (Festo, sd)

Om de stand van de vorken en centreerplaten te controleren zijn de cilinders uitgerust met reedcontacten. De reedcontacten zullen detecteren wanneer de cilinder volledig in of uit gestuurd staat. Eigenlijk is de reed sensor zien als een elektromagnetische naderingsschakelaar. Dit type van sensoren is enkel toepasbaar op cilinders waarvan de zuiger uitgerust is met een permanente magneet.



Figuur 6.25 Inwendige bouw reedcontact (Festo, sd)

De term “magneetsensoren” slaat dus op het type sensoren die de aanwezigheid van een permanente magneet kunnen detecteren. Bij een reedcontact is het schakelende element een open contact dat in een glazen buisje is ingebracht. Dit glazen buisje is gevuld met inert gas. Binnen het magnetische veld, van de op de cilinder gemonteerde magneet, trekt het reedcontact aan en sluit vervolgens het elektrische contact. Het schakelen verloopt dus geheel contactloos.

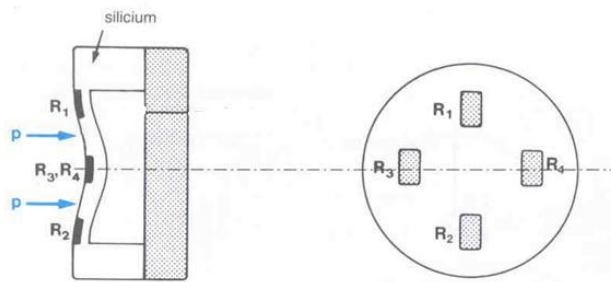
(Festo, sd)

6.5.2.2 Vacuümdetectie

Sensor: FESTO: SPAE-V1R-S6-PNLK-2.5K



Figuur 6.26 SPAE-V1R-S6-PNLK-2.5K (Festo, sd)



Figuur 6.27 Piëzoresistieve meetcel (Festo, sd)

Deze druksensoren zijn uitgerust met een piëzoresistieve meetcel. Deze meetcel bestaat uit een membraan dat vervaardigd is uit een siliciumschijfje. Op het silicium zijn rekstrookjes aangebracht. Een rekstrookje is een element waarvan de elektrische weerstand wijzigt bij een vormverandering. Het membraan vervormd onder invloed van de druk, zoals in Figuur 6.27 is voorgesteld. De vervorming doet de weerstand variëren van de rekstrookjes. Uit deze variatie is de grootte van de druk af te leiden.

(Festo, sd)

6.5.2.3 Afstandsmeting

Sensor: SICK: WTT12LC-B2553



Figuur 6.28 WTT12LC-B2553 (SICK, 2014)

Met een reflexastere zit de zender en ontvanger in eenzelfde behuizing. De optische elementen zijn onder een hoek naar elkaar geplaatst. Het snijpunt dat deze componenten vormen, geeft de bovengrens van het meetbereik. Deze sensor werkt volgens de time-of-flight technologie. Door te meten hoeveel tijd er zit tussen het zenden en ontvangen van het lichtsignaal kan de sensor de afstand bepalen. De communicatie van deze sensor zal ook gaan via IO-Link.

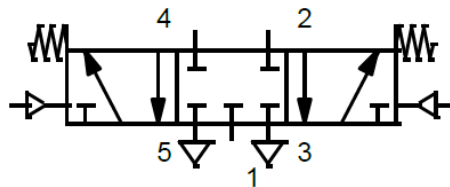


Figuur 6.29 Reflexastere (SICK, 2014)

6.5.3 Outputs

6.5.3.1 5/3 ventiel

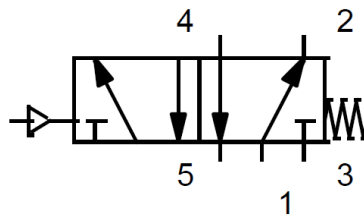
Het 5/3 ventiel heeft 5 aansluitingen en 3 standen. Dit ventiel is in staat om dubbelwerkende cilinders aan te sturen. De stabiele toestand is een gesloten middenstand. Zo zal het ventiel bij het wegvallen van het stuursignaal alle poorten afsluiten en de beweging stopzetten. De andere toestanden zijn te bereiken door het aansturen van de gewenste spoel. Dit soort ventiel vereist dus twee digitale uitgangen.



Figuur 6.30 symbool 5/3 ventiel (Festo)

6.5.3.2 5/2 ventiel

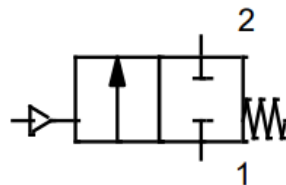
Het 5/2 ventiel heeft 5 aansluitingen en 2 toestanden. Ook dit ventiel kan dubbelwerkende cilinders aansturen. Het ventiel is monostabiel en vereist dus maar één digitale uitgang. Bij het wegvallen van het stuursignaal zal dit ventiel de cilinder naar de vaste rustpositie sturen.



Figuur 6.31 Symbol 5/2 ventiel (Festo)

6.5.3.3 2/2 ventiel

Het 2/2 ventiel heeft 2 aansluitingen en 2 toestanden. Dit ventiel heeft dezelfde werking als een afsluitklep. Deze is niet in staat om een cilinder te ontluchten. Dit ventiel zal een vacüumejector aansturen dat met het venturiprincipe geen ontluchting vereist.



Figuur 6.32 Symbol 2/2 ventiel (Festo)

6.5.4 I/O eiland

- 1) Siemens: 6ES7141-6BH00-0AB0 (16 digitale in/uitgangen)
- 2) Siemens: 6ES7148-6JA00-0AB0 (IO-Link master)



Figuur 6.33 I/O eiland (Siemens, sd)

Een I/O eiland verzamelt in- en outputs op een compacte plaats. Dit eiland zal dan met Profinet de sensor info verder communiceren naar de PLC.

6.5.5 Servomotor



Figuur 6.34 Servomotor met servoregelaar cyber® simco® drive (Wittenstein, sd)

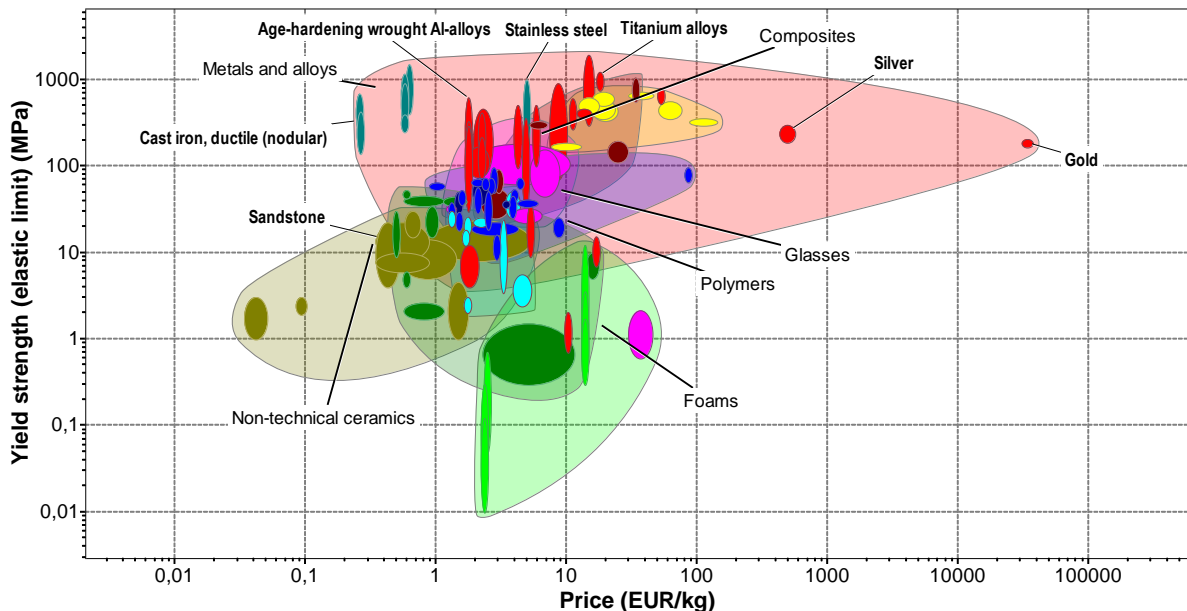
De servodrive is gemonteerd in de basis van de grijper. Deze drive vereist een voeding van 48V en communiceert ook over profinet met de PLC.

7 MATERIAALKEUZE

Bij een goed mechanisch ontwerp hoort een selectie van geschikte materialen. De materiaalkeuze is grotendeels uitgevoerd met het pakket CES edupack. Dit softwarepakket maakt het mogelijk om de materialen grafisch te schikken en filteren op ingestelde parameters.

CES edupack is een betrouwbare materialendatabase die nagenoeg alle beschikbare materialen bevat met daarbij de materiaaleigenschappen. Deze software maakt het mogelijk om materialen grafisch uit te zetten in een assenstelsel. Door de assen te definiëren met twee kritische parameters, is meteen uit de afbeelding visueel af te leiden welke materialen het meest geschikt zijn. Het toevoegen van filters verkleint het zoekgebied tot enkel materialen overblijven die voldoen aan de opgestelde voorwaarden.

Voor onderstaande curves is er gekozen om de prijs en treksterkte tegenover elkaar uit te zetten. De prijs is belangrijk voor een economisch ontwerp en de treksterkte is een goede weergave van de algemene sterkte.

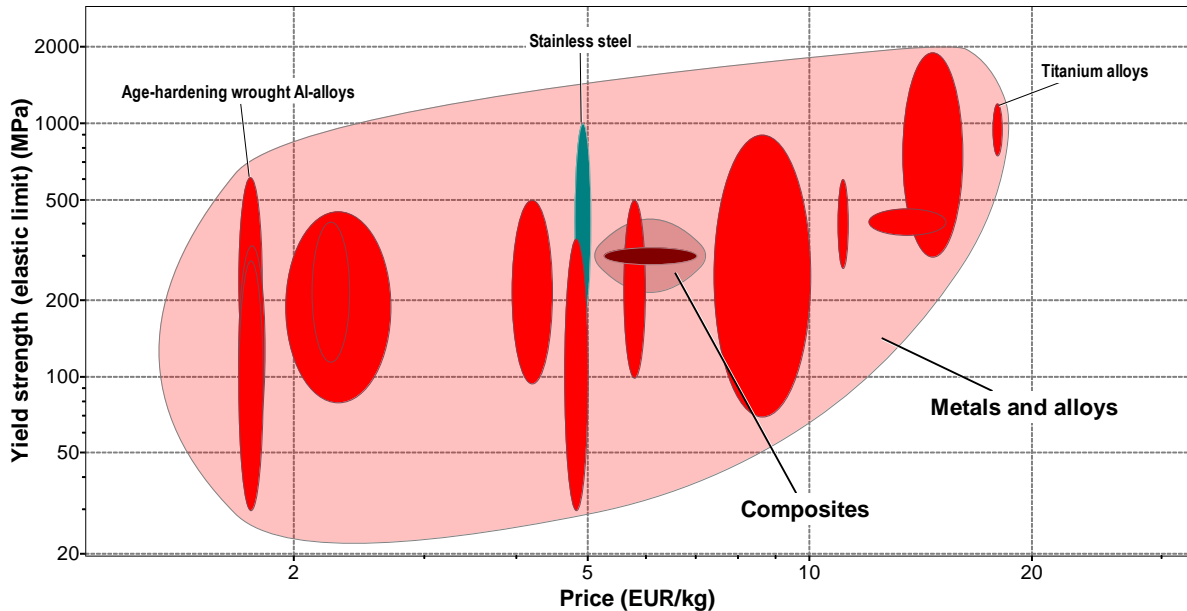


Figuur 7.1 Overzicht materiaalgroepen

De laatste jaren is de verscheidenheid aan materialen en legeringen enorm toegenomen. Vooral de kunststoffen zijn in volle opmars. In deze grote database efficiënt materiaal kiezen, gebeurt in twee stappen.

7.1 Materiaalgroep

Door eerst de materiaalgroepen te bestuderen is de richting van materiaalkeuze snel bepaald. Niet alle materiaalgroepen zullen geschikt zijn voor het project, waardoor het zoekgebied al flink verkleint. Deze stap geeft een kort overzicht van de mogelijkheden bij een mechanisch ontwerp.



Figuur 7.2 Geschikte materiaalgroepen

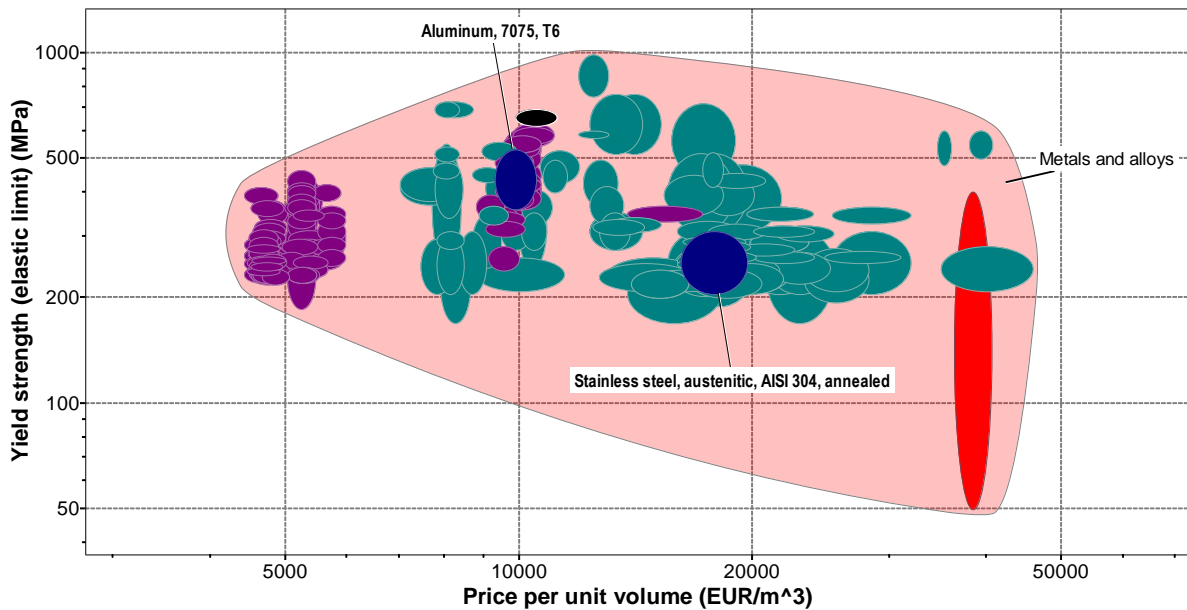
Tabel 7-1 Selectie parameters materiaalgroep

Elasticiteitsgrens	min 235MPa
Bewerkbaarheid	min 3 (op een schaal van 1-5)
Weerbaarheid	tegen water: excellent
Brandbaarheid	niet brandbaar

In deze afbeelding vallen meteen enkele interessante materiaalgroepen op. De verouderde aluminium legeringen zijn beschikbaar met een grote sterkte en zijn economisch zeer gunstige materialen. Ook de RVS groep, gekend voor zijn weerbaarheid heeft een hoge sterkte en bevindt zich in de gemiddelde prijsklasse.

7.2 Materiaal

Nu de correcte materiaalgroepen gevonden zijn kunnen we specifiek gaan filteren op andere parameters. In deze stap gaan we op zoek naar het geschikte materiaal of legering.



Figuur 7.3 Geschikte materialen

Tabel 7-2 Selectie parameters materiaal

Compositie		Ferro- en non-ferrometalen
Prijs		max 5 eur/kg
Mechanische eigenschappen		Elasticiteitsgrens 235MPa
Verspaanbaarheid		20m/min
Weerbaarheid	Water(zuiver)	Excelent
	Water(zout)	Excelent,Acceptable,Limited use
	Zuren	Excelent,Acceptable,Limited use
	Organische oplosmiddelen	Excelent,Acceptable,Limited use
	UV stralen	Excellent
Brandbaarheid		Niet brandbaar
Recycleerbaar		Ja

Bovenstaande criteria streven naar een economisch, weerbaar en voldoende sterk materiaal. Omdat Gebroeders Doms alle onderdelen binnen eigen productiecellen vervaardigt is de verspaanbaarheid ook een belangrijke factor. Hier zijn in grote lijnen dezelfde materiaalgroepen terug te vinden als in stap één.

Na het filteren van voorgaande stappen zijn er nog verschillende materialen die voldoen aan onze eisen. Nu zijn er verschillende manieren om tot het uiteindelijke materiaal te komen. Het is mogelijk om alle materiaalparameters te analyseren en de filters aan te passen tot enkel het meest geschikte materiaal overblijft. Deze methode is heel theoretisch en vraagt veel inzicht. Een andere methode is gebaseerd op inzicht en vooral ervaring met de materialen. Door te kiezen voor materialen waar al enige ervaring mee bestaat, is een inschatting van de toepasbaarheid en productiemogelijkheden veel eenvoudiger.

De tweede methode was het meest voor de hand liggend. Zo is er gekozen voor materialen die al meerdere keren toegepast zijn in het verleden, namelijk aluminium 7075 en RVS 304.

7.2.1 Aluminium 7075 T6

Om het gewicht van de klem te minimaliseren is het gebruik van een aluminium legering ideaal. Aluminium 7075 T6 is een materiaal dat Gebroeders Doms vaker toepast voor de bouw van grijpers. Deze aluminiumlegering is ook zeer eenvoudig te verkrijgen bij de leverancier Testas. De grote troef van deze legering is de elasticiteitsgrens die draait rond 500MPa. Dit is te vergelijken met constructiestaal. Deze legering vormt een aluminium dat goed bestand is tegen vermoeiing, wat wel gewenst is in een dynamische toepassing. Verder is dit materiaal goed te verspanen waardoor de productiekosten laag blijven. Het aluminium vindt daarom vooral zijn toepassing in de grote freesonderdelen.

7.2.2 RVS 304

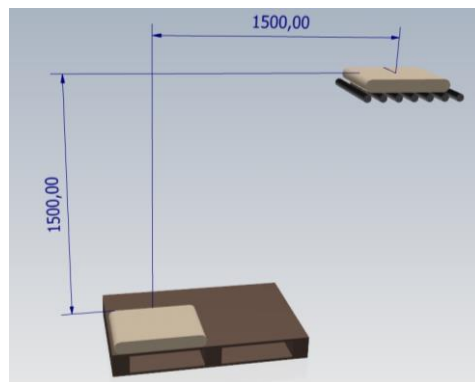
De onderdelen die in contact komen met de zakken moeten slijtvast zijn om een duurzame werking te garanderen. Voor deze onderdelen is aluminium niet geschikt, daarom is er gekozen voor RVS 304. Dit is in de industrie een courant materiaal waardoor het in de handel eenvoudig te verkrijgen is. Tegenover de grote concurrent RVS 316 is deze legering economisch een stuk gunstiger en zijn de materiaaleigenschappen voldoende voor onze toepassing. Het grote voordeel van dit materiaal is dat het een hogere hardheid en weerbaarheid heeft dan het aluminium. De dichtheid van RVS ligt wel een stuk hoger dan bij aluminium. Het gebruik ervan is daarom best beperkt omdat de massa van de gripper voor de robot een limiterende factor is.

8 CALCULATIES

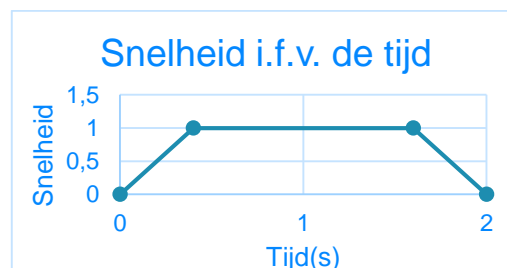
8.1 Robot versnelling

Dimensionering van de verschillende componenten vereist een inschatting van de versnellingen waar de grijper aan blootgesteld is. Berekeningen van de robotbelasting zelf zijn terug te vinden in de payload check.

De exacte bewegingen van de robot zijn onvoorspelbaar en afhankelijk van de toepassing. Om de berekeningen enigszins mogelijk te maken zijn er enkele vereenvoudigingen ingevoerd. De beweging die de grijper beschrijft tussen het PP en DP is beschouwd als een rechtlijnige baan en het snelheidsprofiel bestaat uit de combinatie van een constante versnelling en snelheid zoals afgebeeld in Figuur 8.2 .



Figuur 8.1 Ruimtelijke baan beschrijving



Figuur 8.2 Snelheidsprofiel

In de sterkteberekeningen zal het interessant zijn om de versnellingen te kennen volgens het cartesisch assenstelsel. Zo is uit Figuur 8.1 af te leiden dat de af te leggen afstand S voor de Z- en Y-richting 1.5m is.

Om de versnellingen te bepalen voor deze baanbeschrijving is er uitgegaan van de parameters in Tabel 8-1.

Tabel 8-1 Bewegingsparameters

Gewenst # picks	5 picks/min
Pick time	2.4s
Drop time	5.6s

Om de grijper rendabel toe te passen in een industriële installatie moet deze in staat zijn om 5 zakken per minuut te stapelen. Dit wil ook zeggen dat de robot 12s krijgt om één zak te stapelen. De pick en drop time geven weer hoe lang het duurt om respectievelijk de grijp- en dropcyclus te voltooien. Uit deze gegevens volgt dan de tijd die de robot overheeft om te bewegen van het PP naar het DP. Omdat de grijper heen en weer beweegt tussen het PP en DP delen we de totale bewegingstijd door twee.

$$t_{movetot} = t_{total} - t_{pick} - t_{drop} = 12 - (2.4 + 5.6) = 4s \quad \text{Vgl. 8.1}$$

$$t_{move} = \frac{t_{movetot}}{2} = 2s \quad \text{Vgl. 8.2}$$

$t_{movetot}$ = Totale bewegingstijd [s]

t_{tot} = Totale cyclustijd [s]

t_{pick} = Totale tijd voor het opnemen [s]

t_{drop} = Totale tijd voor het neerleggen [s]

t_{move} = Tijd voor de beweging tussen het pick- en drop-point [s]

Er zijn dus 2s over om de robot te laten bewegen tussen de twee posities. Met het vooraf gekozen snelheidspatroon zal de robot 1/5 van de tijd gebruiken om te versnellen.

$$\text{Versnelling: } t_1 = \frac{2}{5} = 0.4s \quad \text{Vgl. 8.3}$$

$$\text{Constante snelheid: } t_2 = 2 - 2 * 0.4 = 1.2s \quad \text{Vgl. 8.4}$$

t_1 = Tijdsinterval met constante versnelling [s]

t_2 = Tijdsinterval met constante snelheid [s]

Om de versnellingen te berekenen zijn volgende vergelijkingen opgesteld:

$$s = v * t_2 + \left(\frac{a * t_1^2}{2}\right) * 2 \quad \text{Vgl. 8.5}$$

$$v = a * t_1 \quad \text{Vgl. 8.6}$$

$$\text{Uit (8.5) en (8.6): } a = \frac{s}{t_1 * t_2 + t_1^2} \quad \text{Vgl. 8.7}$$

$$a = \frac{1.5}{0.4 * 1.2 + 0.4^2} = 2.34 \frac{m}{s^2} \quad \text{Vgl. 8.8}$$

$$\text{Met het resultaat van (8.8) in (8.6): } v = 2.34 * 0.4 = 0.93m/s \quad \text{Vgl. 8.9}$$

S = Afgelegde afstand [m]

v = Snelheid [m/s]

a = Robotversnelling [m/s²]

Het resultaat van onze berekening geeft een versnelling van 2.34m/s². Dit lijkt een realistische waarde waar we onze volgende berekeningen op kunnen baseren.

8.2 Persluchtcilinders

8.2.1 Vork

Belasting

Om de cilinders te kunnen bepalen is er eerst een inschatting nodig van de belastingen die optreden. De vorken zullen in de toestand afgebeeld in Figuur 8.3 het zwaarst belast zijn. Deze toestand is enkel onder invloed van verticale krachten. De krachten zijn een gevolg van versnellingen die inwerken op de massa van de zak. Deze versnellingen zijn afkomstig van de gravitatie en de bewegingen van de robot. Voor berekening is de grijper opgesplitst in twee delen. Het maximale gewicht van de zak is 30 kg wat resulteert in 15 kg voor elke vork.

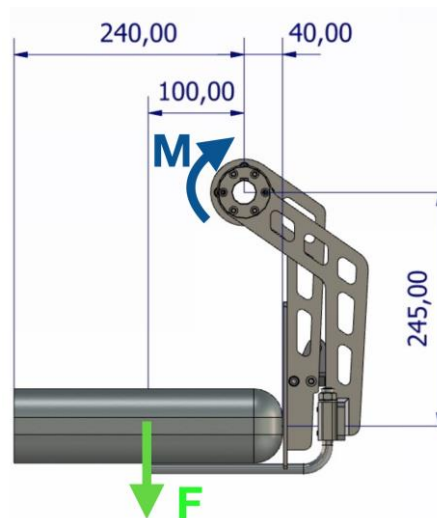
$$F_g = m * a_g = 15 * 9.81 = 147.1N \quad \text{Vgl. 8.10}$$

$$F_{acc} = m * a_{acc} = 15 * 2.34 = 35.1N \quad \text{Vgl. 8.11}$$

$$F_{last} = F_g + F_{acc} = 147.1 + 35.1 = 182.2N \quad \text{Vgl. 8.12}$$

- F_g = Gravitatielkracht [N]
- F_{acc} = Acceleratielkracht [N]
- F_{last} = Totale belasting [N]
- a_g = Gravitatieversnelling [m/s^2]
- a_{acc} = Robotversnelling [m/s^2]
- m = Massa zak [kg]

Door de last te vermenigvuldigen met de momentarm r_1 bekomen we het moment rond de scharnier as.



Figuur 8.3 Belasting vork

$$M_{as} = F_{last} * r_1 = 182 * 0.1 = 18.2Nm \quad \text{Vgl. 8.13}$$

- M_{as} = Moment rond scharnier as [Nm]
- r_1 = Hefboomarm last [m]

Benodigde cilinder kracht

Uit deze momenten volgen met dezelfde formule de krachten die de cilinders moeten leveren. Omdat elke as uitgerust is met twee persluchtcilinders is de noemer vermenigvuldigd met twee om de juiste waarde te kunnen bekomen.

$$F_{cil_ver} = \frac{M_{as}}{r_2 * 2} = \frac{18.2}{0.0456 * 2} = 200N \quad \text{Vgl. 8.14}$$

F_{cil_ver} = Vereiste cilinderkracht [N]
 r_2 = Hefboomarm cilinders [m]

Veiligheidsfactor

In het ontwerp is gekozen voor een cilinder met diameter 40. Deze levert een drukkracht van 753N. De veiligheidsfactor dat deze cilinder geeft volgt uit volgende berekening.

$$S = \frac{F_{cil}}{F_{cil_ver}} = \frac{753}{200} = 3.8 \quad \text{Vgl. 8.15}$$

S = Veiligheidsfactor
 F_{cil} = Beschikbare cilinder kracht [N]

Deze veiligheidsfactor is vrij hoog maar omdat de vorken de zak zekeren bij het bewegen, mag dit onderdeel wat extra marge hebben.

8.2.2 Centreerplaten

Belasting

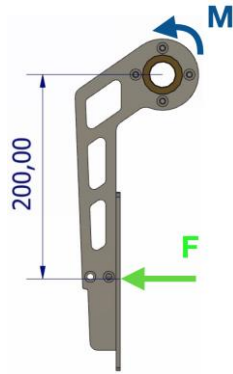
Deze berekening start bij het bepalen van de gewenste duwkracht van de centreerplaten. De werking van de centreerplaten gebeurt steeds wanneer de grijper stil staat, de robotversnelling heeft hier dus geen invloed. Wanneer de centreerplaten de wrijvingskracht tussen de zak en de rollen kunnen overwinnen zijn ze in staat om hun werking goed te doen. De statische wrijvingscoëfficiënt tussen staal en kunststof of staal en papier verzamelen we met een waarde van $\mu = 0.35$ (Wrijvingscoëfficiënt, Rolweerstand en Luchtweerstand, sd). Het maximale gewicht van de normale zakken in de handel is 25kg. Uit deze gegevens volgt dus de gewenste drukkracht van de platen.

$$F_w = F_g * \mu_s \quad \text{Vgl. 8.16}$$

$$F_g = m * a = 25 * 9.81 = 245N \quad \text{Vgl. 8.17}$$

$$F_w = 245 * 0.3 = 86N \quad \text{Vgl. 8.18}$$

F_w = Wrijvingskracht [N]
 F_g = Gravitatiekracht [N]
 μ_s = Statische wrijvingscoëfficiënt
 m = Massa zak [kg]



Figuur 8.4 Belasting centreerplaat

Omdat deze kracht de gemiddelde kracht op de plaat voorstelt nemen we voor het aangrijpingspunt van de hefboomarm r_1 ongeveer het midden van de plaat.

$$M_{as} = F_w * r_1 = 86 * 0.2 = 17.2 Nm \quad \text{Vgl. 8.19}$$

M_{as} = Moment rond de scharnieras [Nm]
 r_1 = Hefboomarm centreerplaat [m]

Benodigde cilinderkracht

Nu het moment rond de as gekend is, kan de berekening van de cilinderkracht op een gelijkaardige manier gebeuren. De breuk bevat in de noemer een factor twee omdat we de kracht zullen verdelen over twee pneumatische cilinders.

$$F_{cil_ver} = \frac{M_{as}}{r_2 * 2} = \frac{17.2}{0.0436 * 2} = 197.2 N \quad \text{Vgl. 8.20}$$

F_{cil_ver} = Vereiste cilinderkracht [N]
 r_2 = Hefboomarm cilinders [m]

Veiligheidsfactor

Deze kracht is minimaal nodig om de centreerplaten goed te laten functioneren. Zo kunnen we in de datasheet de juiste cilinder selecteren. De cilinder met diameter 25mm geeft een drukkracht van 295N. De veiligheidsfactor die deze cilinder geeft volgt uit volgende berekening.

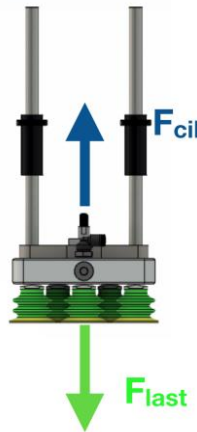
$$S = \frac{F_{beschik}}{F_{vereist}} = \frac{295}{197.2} = 1.5 \quad \text{Vgl. 8.21}$$

$F_{beschik}$ = beschikbare hefkracht zuignap [N]
 S = veiligheidsfactor

Een veiligheidsfactor van 1.5 is voor de centreerplaten voldoende.

8.2.3 Lift

De lift is bedoeld om de vacuüm-eiland op en neer te laten bewegen. Zoals eerder besproken is het gewicht van de normale zakken maximaal 25kg. Het vacuüm eiland heeft een bijkomende massa van 7kg. De lift moet enkel verticale krachten overwinnen die samengesteld zijn door de gravitatie- en robot versnelling.



Figuur 8.5 Liftbelasting

$$F_g = m * (a_g + a_{acc}) = 32 * (9.81 + 2.34) = 390N$$

Vgl. 8.22

F_g = Gravitatiekracht [N]

a_g = Gravitatieversnelling [m/s²]

a_{acc} = Robotversnelling [m/s²]

m = Massa zak [kg]

De lift is aangedreven door twee persluchtcilinders, zo kan de kracht weeral verdeeld worden over de twee cilinders.

$$F_{cil} = \frac{390}{2} = 195N$$

Vgl. 8.23

Voor de lift is er gekozen voor twee cilinders van diameter 25. Er moet hier opgemerkt worden dat de cilinders gaan trekken om de lift in te sturen. Door de zuigerstang is voor de ingaande slag het werkbare oppervlak van de zuiger kleiner. Dit resulteert in een kleinere kracht. De cilinder kan bij ingaande slag nog een kracht leveren van 247N.

$$S = \frac{F_{beschikbaar}}{F_{cil}} = \frac{247}{195} = 1.3$$

Vgl. 8.24

$F_{beschikbaar}$ = beschikbare hefkracht zuignap [N]

S = veiligheidsfactor

8.3 Vacuümsysteem

Belasting

Voor het opnemen van zakken is gekozen voor de bag handling cup van Piab. Doordat het vacuümeiland onder de lift gemonteerd is, zijn de krachten die de zak veroorzaakt gelijk aan de massakrachten van de zak.

$$F_{last} = m * a_{tot} = 25 * (9.81 + 2.34) = 304N \quad \text{Vgl. 8.25}$$

F_{last} = Totale belasting [N]

a_{tot} = Totale versnelling [m/s^2]

m = Massa zak [kg]

Benodigde zuignappen

De vacuümgrijper moet ook in staat zijn om dozen op te nemen. Om een doos goed op te kunnen tillen moeten er minstens vier zuignappen aanwezig zijn per doos, er is voor twee dozen dus een minimum van acht zuignappen vereist. Het is de bedoeling om met dezelfde vacuümgrijper de zak op te nemen. De massa van de zak is dus ook verdeeld over deze acht zuignappen.

$$F_{cup} = \frac{304}{8} = 34N \quad \text{Vgl. 8.26}$$

F_{cup} = benodigde hefkracht zuignap [N]

Veiligheidsfactor

De veiligheidsfactor is te bepalen door de werkelijke belasting te vergelijken met de data uit de datasheet. De zuignappen hebben een werkingsgebied van -40 tot -60kPa

$$S = \frac{F_{beschik}}{F_{cup}} \quad \text{Vgl. 8.27}$$

$F_{beschik}$ = beschikbare hefkracht zuignap [N]

S = veiligheidsfactor

Indien in de zuignap een vacuüm bestaat van -40kPa

$$S = \frac{39.9}{34} = 1.17 \quad \text{Vgl. 8.28}$$

Indien in de zuignap een vacuüm bestaat van -60kPa

$$S = \frac{58.2}{34} = 1.71 \quad \text{Vgl. 8.29}$$

Bij een vacuüm van -40kPa is de veiligheidsfactor aan de kleine kant maar door het vacuüm te verhogen is het perfect mogelijk om de zak goed op te nemen.

8.4 Spindelaandrijving

De kogelomloopspindel moet in staat zijn om de sledes dynamisch te verplaatsen voor de instelling van de breedte en statisch vast te houden tijdens de normale werking van de klem (Figuur 6.2). Het bepalen van de volledige aandrijving is uitgevoerd met enkele iteratieve stappen. De resultaten staan hier beschreven.

8.4.1 Belasting

Dankzij de complexe bouw van de grijper is belasting van de sledes is niet eenvoudig te bepalen. Door een inschatting van de belasting te combineren met een goede veiligheidsfactor is dit probleem te omzeilen.

De centreerplaten klemmen de zak om deze goed te kunnen positioneren. De maximale klemkracht is eenvoudig te bepalen uit de kracht die de persluchtcilinders kunnen leveren.

$$F_{cil} = 295N$$

$$M_{as} = F_{cil} * 2 * r_1 = 295 * 2 * 0.0436 = 25.7Nm \quad \text{Vgl. 8.30}$$

$$F_{klem} = \frac{M_{as}}{r_2} = \frac{25.7}{0.2} = 128.6N \quad \text{Vgl. 8.31}$$

F_{cil} = kracht uitgaande slag van persluchtcilinder $\varnothing 25\text{mm}$ [N]

F_{klem} = klemkracht centreerplaten [N]

M_{as} = moment rond de scharnier as [Nm]

r_1 = hefboomarm cilinder [m]

r_2 = hefboomarm centreerplaten [m]

Ook op de sledes hebben de versnellingen van de robot invloed. De massa van de slede en de zak zullen dus ook invloed hebben op de spindelbelasting. Deze berekening is gebaseerd op de versnelling bepaald in 8.1.

$$F_{acc} = m * a_g = 2.34 * (30 + 27) = 133.4N \quad \text{Vgl. 8.32}$$

m_{zak} = massa zak = 30 [kg]

m_{slede} = massa slede = 27 [kg]

F_{acc} = versnellingskracht [N]

Bij normale werking geven de vorken geen rechtstreekse belasting aan de spindel. Bij een fout kan het eventueel voorkomen dat er iets tussen de vorken terecht komt tijdens het klemmen. Het zou ongebruikelijk zijn wanneer de grijper bij dit soort fout zou falen. Deze belasting is eveneens af te leiden uit de kracht van de persluchtcilinders

$$M_{as} = F_{cil} * 2 * r_1 = 753 * 2 * 0.06 = 90.4Nm \quad \text{Vgl. 8.33}$$

$$F_{klem} = \frac{M_{as}}{r_2} = \frac{90.4}{0.3} = 300N \quad \text{Vgl. 8.34}$$

F_{cil} = kracht uitgaande slag van persluchtcilinder $\varnothing 40\text{mm}$ = 753 [N]

F_{klem} = klemkracht vorken [N]

M_{as} = moment rond de scharnieras [Nm]

r_1 = hefboomarm cilinder [m]

r_2 = hefboomarm centreerplaten [m]

Voor de berekening van de maximale belasting gaan we uit van het slechtste geval. Dat is voor deze toepassing wanneer net alle krachten en versnellingen in dezelfde richting staan.

$$F_{maxstat} = 128.6 + 133.4 + 300 = 562N \quad \text{Vgl. 8.35}$$

8.4.2 Kogelomloopspindel

De spindel zal zorgen voor de omzetting van een roterende naar een lineaire beweging. De spoed van de spindel bepaalt de grootte van het koppel en toerental. Uit de combinatie van calculaties en de info uit de componenten volgt de keuze van een kogelomloopspindel Carry $\varnothing 16 \times 5$, zie bijlage C voor de datasheet.

8.4.2.1 Beweging

De sledes kunnen elk bewegen met een slag van 100mm. Voor de instelling van de breedte krijgt de grijper ongeveer één seconde tijd. Uit deze gegevens volgt de gemiddelde snelheid van de slede en toerental van de spindel.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0.1}{1} = 0.1m/s \quad \text{Vgl. 8.36}$$

$$n = \frac{s}{t \cdot p} = \frac{v}{P} = \frac{0.1}{0.005} = 20 \frac{tr}{s} \approx 1200tr/min \quad \text{Vgl. 8.37}$$

- v = gemiddelde snelheid slede [m/s]
- s = maximale instelbeweging [m]
- t = gewenste insteltijd [s]
- P = spoed [m]
- n = spindeltoerental [min^{-1}]

Om te controleren of deze spindel verder ook voldoet aan andere ontwerp vereisten, zijn de berekeningen gevolgd die zijn voorgeschreven volgens (Eichenberger).

8.4.2.2 Geschiktheidstest

De kogelomloopspindel is op mechanisch vlak beperkt in het maximale toerental. Bij hogere toerentallen voldoet de smering niet meer en kan de traagheid van inwendige onderdelen hoog oplopen. Het maximale toerental is berekend volgens volgende formule.

$$n_{max} = \frac{\text{rotational speed characteristic}}{d_1} \quad \text{Vgl. 8.38}$$

$$n_{max} = \frac{60000}{15.7} = 3821.65tr/min > 1200tr/min$$

n_{max} = maximum toerental [min^{-1}]

d_1 = buitendiameter spindel [mm]

rotational speed characteristic = 60000 voor kogelomloop type I.

Het maximaal toelaatbare toerental van 3821 tr/min ligt boven het gewenste toerental van 1200 tr/min. Dit geeft een veilige situatie.

8.4.2.3 Kritisch toerental

Wanneer een kracht, een lichaam gedurende een korte tijd elastisch vervormd, dan zal het lichaam na het wegvallen van deze kracht een grote maar tegengesteld gerichte terugstelkracht ondervinden die het lichaam in buigtrilling brengt. Bij een eenmalige aanstoting worden de trillingen door de luchtweerstand en wrijving langzaam gedempt. Wanneer op een lichaam echter steeds opnieuw krachten inwerken op het ritme van de eigenfrequentie, dan komt het tot resonantie. De trillingsuitslagen vergroten na elke krachtstoot, zodat onder bepaalde omstandigheden zelfs breuk kan optreden. Bij draaiende assen ontstaan trillingsverwekkende krachten door onbalans van draaiende massa's. Onbalans ontstaat als het zwaartepunt van een massa niet met de draaias samenvalt. Zo'n onbalans veroorzaakt op de ronddraaiende massa's een centrifugaal kracht F_z als trillingsverwekkende kracht. Het is mogelijk dit verschijnsel te vermijden door te werken onder het kritisch toerental. In deze zone kan resonantie niet optreden.

(Herbert, Dieter, Dieter, & Joachim, Theorieboek, 2013)

$$n_{per} = K_D * 10^6 * \frac{d_2}{l_a^2} * S_n$$

Vgl. 8.39

$$n_{per} = 190 * 10^6 * \frac{13}{165^2} * 0.8 = 72580tr/min$$

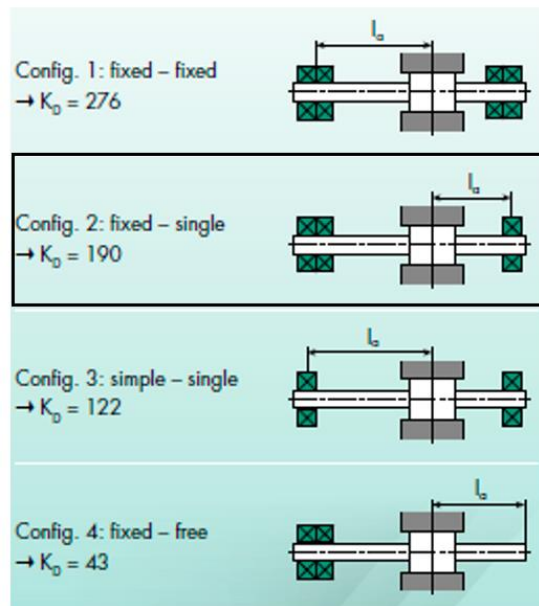
n_{per} = toelaatbaar toerental [min^{-1}]

K_D = karakteristieke constante afhankelijk van de lager opstelling. (Figuur 8.6)

d_2 = kerndiameter spindel [mm]

l_a = lagerafstand zie fig.....[mm]

S_n = veiligheidsfactor (0.5...0.8)



Figuur 8.6 Karakteristieke constante lageropstelling

De spindel in onze opstelling heeft een lage /d verhouding. Dit geeft de as een hoge stijfheid waardoor de eigenfrequentie hoog ligt. (Vgl. 8.40)

Zoals uit Vgl.8.39 volgt, ligt ons werkingsgebied in de veilige zone onder het resonantiegebied.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Vgl. 8.40

ω_n = eigenfrequentie [rad/s]

k = veerconstante [N/m]

m = equivalente massa [kg]

8.4.2.4 Nominale levensduur

De statische levensduur L_{10} is statisch beschreven als het aantal omwentelingen of aantal uren bij een onveranderd toerental, dat 90% van een grote partij van gelijke lagers bereikt of overschrijdt. Anders verwoord: de overlevingskans komt overeen met 90% voordat de eerste vermoeiingsverschijnselen optreden. 10% van de lagers kan eerder uitvallen, wat een uitvalwaarschijnlijkheid van 10% betekent. Testen hebben geleid tot een vergelijking die voor alle lagersoorten geldig is bij de bepaling van de nominale levensduur in 10^6 omwentelingen of bedrijfsuren.

(Herbert, Dieter, Dieter, & Joachim, Theorieboek, 2013)

$$L_{10} = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 * 10^6 = \left(\frac{9700}{128.6}\right)^3 * 10^6 = 4.29 * 10^{11}$$

Vgl. 8.41

$$L_h = \frac{L_{10}}{n_m * 60} = \frac{4.29 * 10^{11}}{1200 * 60} = 5958 * 10^3 u$$

Vgl. 8.42

L_{10} = service life [#rotaties]

L_h = service life [u]

C_{dyn} = dynamisch draaggetal [N]

F_m = gemiddelde belasting [N]

n_m = gemiddeld toerental [tr/min]

8.4.2.5 Draaimoment

Bij een spindeloverbrenging zorgt een moment voor een axiale kracht en vice versa. De opstelling van een linkse en rechtse spindel compenseert de krachten onder invloed van versnellingen. Het moment geleverd door de linker zijde zal even groot maar tegengesteld zijn aan de rechterzijde. Daarom zijn bij de berekening van het motorkoppel enkel de klemkrachten verrekend.

$$M = \frac{F_a * p * \eta'}{2000 * \pi}$$

Vgl. 8.43

$$\eta' = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{0.9} = 1.11$$

Vgl. 8.44

$$M_e = 2 * \frac{128.6 * 5 * 1.11}{2000 * \pi} = 0.23 Nm$$

Vgl. 8.45

$$M_h = 2 * \frac{428.6 * 5 * 1.11}{2000 * \pi} = 0.76 Nm$$

Vgl. 8.46

M_e = vereist draaimoment normaal bedrijf [Nm]

M_h = vereist houdkoppel [Nm]

F_a = axiale klemkracht [N]

p = spoed [mm]

- η = spindel rendement. [%]
 η' = gecorrigeerd rendement. [%]

8.4.2.6 Toelaatbare maximum belasting

Het statische draagvermogen omvat een aantal eigenschappen die een lager moet hebben om bij stilstand, zeer lage toerentallen of zwenkbewegingen bepaalde mechanische belastingen op te nemen. Bij een statische belasting van het lager ontstaan er vervormingen op de contactvlakken van de loopbanen. Deze vervormingen moeten beperkt blijven zodat ze de vereiste loopeigenschappen niet beïnvloeden. De draagveiligheid is een waarde die staat voor de beschermingsfactor tegen te grote blijvende vervormingen.

(Herbert, Dieter, Dieter, & Joachim, Theorieboek, 2013)

$$F_{per} = \frac{C_{stat}}{f_s} \quad \text{Vgl. 8.47}$$

$$f_s = \frac{C_{stat}}{F_{per}} = \frac{22000}{562} = 39 \quad \text{Vgl. 8.48}$$

- F_{per} = toelaatbare belasting [N]
 C_{stat} = statisch draaggetal [N]
 f_s = statische draagveiligheid

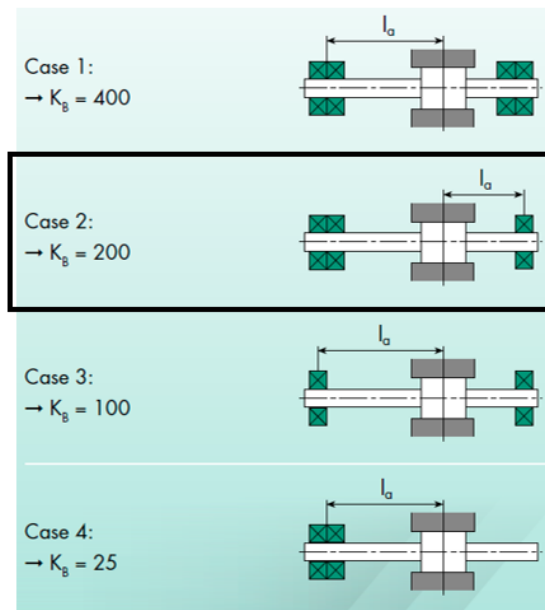
8.4.2.7 Toelaatbare knikkracht

Bij lange op druk belaste schroeven of spindels bestaat de kans op uitknikken. Knik is het ongecontroleerd uitbuigen van een lang lichaam, wat resulteert in een onstabiele situatie. Daarom is het aangeraden om de maximale knikkracht te controleren.

(Herbert, Dieter, Dieter, & Joachim, Theorieboek, 2013)

$$F_B = \frac{K_B}{S_B} * \frac{d_2^4}{l_a^2} * 10^3 = \frac{200}{4} * \frac{13^4}{165^2} * 10^3 = 52453N \quad \text{Vgl. 8.49}$$

- F_B = Knikkracht [N]
 K_B = karakteristieke constante (zie Figuur 8.7).
 d_2 = kerndiameter spindel [mm]
 S_B = knik veiligheidsfactor (2...4)
 l_a = belaste kniklengte [mm] (zie Figuur 8.7)



Figuur 8.7 Karakteristieke constante lageropstelling

8.4.3 Servomotor

Van de cyber® dynamic line (Figuur 6.4) voldoet enkel bouwgrootte 40. Om de motor compatibel te maken met het volledige aandrijfsysteem is deze gemonteerd op een planetaire tandwielkast. De geschikte overbrengingsverhouding is 4.

Dit systeem geeft ons een continu koppel van 0.7Nm met een toerental van 1250tr/min. Het nominale toerental valt nagenoeg samen met het gemiddelde toerental dat de spindel nodig heeft. Uit het beschikbare koppel van de motor en het benodigde koppel aan de spindel volgt de veiligheidsfactor

$$S = \frac{T_{beschikbaar}}{T_{vereist}} = \frac{0.7}{0.23} = 3 \quad \text{Vgl. 8.50}$$

Bij een fout tijdens het palletiseren kan de grijper de zak klemmen. Hier kan de sturing het maximale koppel kortstondig inzetten zodat de grijper niet ontregeld is en extreme krachten uitgesloten zijn.

$$S = \frac{T_{beschikbaar}}{T_{vereist}} = \frac{1.4}{0.76} = 1.8 \quad \text{Vgl. 8.51}$$

$T_{beschikbaar}$ = Beschikbaar motorkoppel [Nm]
 $T_{vereist}$ = Vereist koppel aan de spindel [Nm]

Voor normale werking is de veiligheidsfactor van 3 meer dan voldoende. Hier volstaat ook bouwgrootte 32. Wanneer bij een fout het maximale koppel optreedt beschikt enkel de servomotor met bouwgrootte 40 nog over voldoende vermogen. Door de hoge kostprijs van deze motoren is het aan te raden om de veiligheidsfactoren hoog te nemen.

8.4.4 Riemoverbrenging

Omdat de toerentallen van de spindel en motor al met elkaar overeen komen, heeft de riemoverbrenging enkel nog als nut om de twee componenten met elkaar te verbinden. De

berekening van de riemopstelling is uitgevoerd met een online tool van Continental. Het resultaat is te vinden in bijlage D.

8.4.5 Koppeling

De R+W_EZ2_10_10 koppeling (Figuur 6.6) kan een nominaal koppel van 12.5Nm overdragen. Omdat deze koppeling geselecteerd is aan de hand van montage mogelijkheden geeft deze een hele grote veiligheidsfactor.

$$S = \frac{T_{koppeling}}{T_{maxmotor}} = \frac{12.5}{1.4} = 8.9 \quad \text{Vgl. 8.52}$$

$T_{koppeling}$ = nominaal koppel koppeling[Nm]

$T_{maxmotor}$ = maximaal motorkoppel[Nm]

De as zal torsen onder invloed van het aandrijfkoppel. Omdat de koppeling niet oneindig stijf is, zal deze belasting gepaard gaan met een hoekverdraaiing. Met onderstaande formule is de hoekverdraaiing eenvoudig te bepalen.

$$\varphi = \frac{180 * T_{as}}{\pi * C_r^{ZA}} \quad \text{Vgl. 8.53}$$

$$\varphi = \frac{180 * 1.4}{\pi * 727 * 0.097} = 1.14^\circ$$

φ = Hoekverdraaiing [°]

T_{as} = askoppel [Nm]

C_r^{ZA} = Algemene stijfheid [Nm/rad]

Deze hoekverdraaiing zal de breedte instelling van de zak beïnvloeden. Deze afwijking is eenvoudig te bepalen indien de spoed van de spindel gekend is. Door de kleine hoekverdraaiing zal deze afwijking verwaarloosbaar zijn.

$$\Delta x = 5 * \frac{1.14}{360} = 0.0158 \text{ mm} \quad \text{Vgl. 8.54}$$

Δx = afwijking op de breedte [mm]

p = spoed [mm]

φ = hoekverdraaiing [°]

8.5 Scharnier as

Deze as verbindt de armen van de vork en moet zo het geheel meer stijfheid geven. Het maximale moment rond de as is afhankelijk van de persluchtcilinders.

$$M_{as} = F_{last} * r_1 = 753 * 0.06 = 45.2 \text{ Nm} = 45200 \text{ Nmm} \quad \text{Vgl. 8.55}$$

$$I_t = \frac{\pi}{32} * d^4 = \frac{\pi}{32} * 18.9^4 = 12527 \quad \text{Vgl. 8.56}$$

$$\varphi = \frac{180}{\pi} * \frac{T * l}{G * I_t} = \frac{180}{\pi} * \frac{45200 * 515}{80000 * 12527} = 0.023^\circ \quad \text{Vgl. 8.57}$$

8.6 Lagers

8.6.1 Kogellager scharnier as

De lagers die de binnenste scharnieras lagere zijn niet onderhevig aan een constant toerental. De belasting is eerder een trage oscillerende beweging die bij het openen en sluiten van de vorken roteert over een beperkte hoek. Voor deze belastingen volstaat het om enkel de statische lagerbelasting te controleren. (SKF, Hoofdcatalogus, 2006)

De lagerbelasting bestaat hier uit de massa van de vork en de zak. Elke vork is gelagerd met twee lagers.

$$P_0 = m * a = \left(\frac{30}{4} + \frac{16.4}{2} \right) * (9.81 + 2.34) = 190.7N \quad \text{Vgl. 8.58}$$

De lager in kwestie is een groefkogellager 6005 2RSH

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{6.55}{0.19} = 41 \quad \text{Vgl. 8.59}$$

C_0 = statisch draaggetal [kN]

P_0 = equivalente statische lagerbelasting [kN]

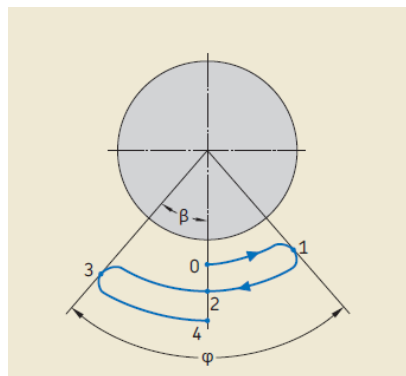
S_0 = statische veiligheidsfactor

(SKF, 2006)

8.6.2 Glijlagerbussen

Type: PBMF 253525 M1G1

Specifieke lagerbelasting



Figuur 8.8 Oscillatie (SKF, Hoofdcatalogus, 2006)

De lagerbelasting is samengesteld uit de klemkracht en cilinderdrukkracht

$$p = \frac{F}{A} = \frac{343.6}{1250} = 0.274N/mm^2 \quad \text{Vgl. 8.60}$$

p = specifieke lagerbelasting [N/mm²]

F = lagerbelasting [N]

A = belaste doorsnede [mm²]

Gemiddelde glijsnelheid

$$v = 5.28 * 10^{-7} * d * \beta * f$$

Vgl. 8.61

$$v = 5.28 * 10^{-7} * 25 * 20 * 10 = 2.64 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

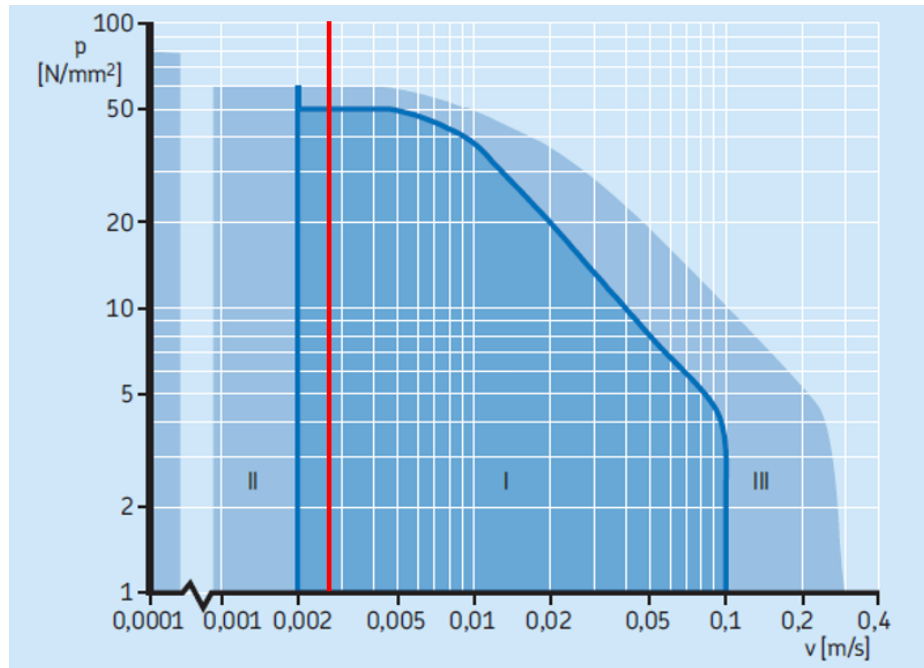
v = gemiddelde glijsnelheid [m/s]

d = binnendiameter [mm]

f = oscillatie frequentie [min⁻¹]

β = halve oscillatiehoek [°]

(SKF, Requisite bearing size, sd)



Figuur 8.9 p-v diagram voor bronzen lagerbussen (SKF, 2011)

Het werkingsgebied van de glijlager valt binnen de range I (zie Figuur 8.9). Dit wil zeggen dat de formule voor het bepalen van de levensduur voldoet.

Levensduur

$$G_h = b_1 * b_2 * b_3 * b_4 * b_5 * \frac{330}{p^{2.5} * v}$$

Vgl. 8.62

$$G_h = 2 * 1 * 1.4 * 3.8 * 9 * \frac{330}{0.274^{2.5} * 2.64 * 10^{-3}} = 304.6 * 10^6 \text{ uur}$$

G_h = levensduur [uur]

b₁ = belastingsconditie factor (2 voor wisselende belastingsrichting)

b₂ = temperatuur factor (Figuur 8.10)

b₃ = glijdingsfactor (Figuur 8.11)

b₄ = snelheidsfactor (Figuur 8.12)

b₅ = factor voor de oscillatiehoek (Figuur 8.13)

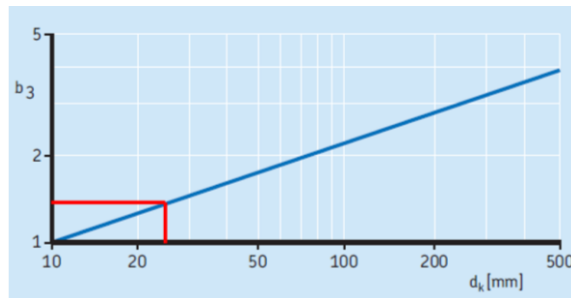
p = specifieke lagerbelasting [N/mm²]

v = gemiddelde glijsnelheid [m/s]

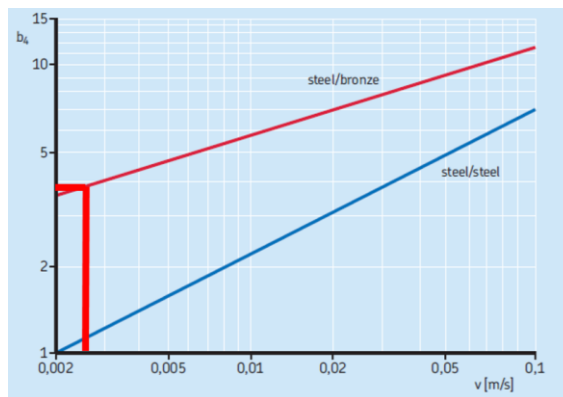
Temperature factor b_2 for steel/steel and steel/bronze sliding contact surface combinations

Operating temperature		Temperature factor b_2
over	incl.	
°C	-	
-	120	1,0
120	160	0,9
160	180	0,8
180	-	Contact the SKF application engineering service

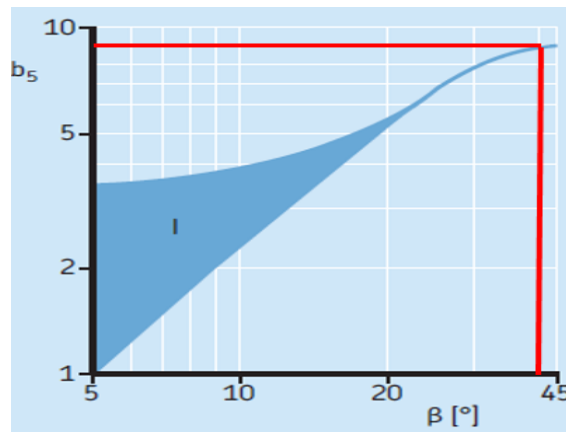
Figuur 8.10 Temperatuurfactor (SKF, 2011)



Figuur 8.11 Glijdingsfactor i.f.v. asdiameter (SKF, 2011)



Figuur 8.12 Snelheidsfactor i.f.v. de snelheid (SKF, 2011)



Figuur 8.13 Factor voor de oscillatiehoek (SKF, 2011)

8.6.3 Spindellagers

8.6.3.1 Losse lager

Type: FF10 (Bijlage E)

Lager toegepast in het lagerhuis: 6002-2Z

Statische lagerbelasting

De belasting van de lager bestaat uit de voorspankracht van de riemoverbrenging met een grootte van 117N.

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{2.85}{0.117} = 24.4 \quad \text{Vgl. 8.63}$$

C_0 = statisch draaggetal [kN] (Bijlage E)

P_0 = equivalente statische lagerbelasting [kN]

S_0 = statische veiligheidsfactor

Dynamische lagerbelasting

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{5.85}{0.117}\right)^3 = 125000 \quad \text{Vgl. 8.64}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} * L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 1200} * 125000 = 1736111 \text{ u} \quad \text{Vgl. 8.65}$$

L_{10} = Nominale levensduur [miljoenen omwentelingen]

L_{10h} = Nominale levensduur [bedrijfsuren]

C = Dynamisch draaggetal

P = Equivalente dynamische lagerbelasting [kN]

n = toerental [min^{-1}]

p = exponent voor levensduurformule [3 voor kogellagers]

8.6.3.2 Vaste lager

Type: FK10 (Bijlage E)

F_r = 117N

F_a = 562N

Lager dubbel toegepast in het lagerhuis: 7002

Statische lagerbelasting

De equivalente statische lagerbelasting

$$P_0 = F_r + 0.52F_a \text{ (Voor lagers in X of O opstelling)} \quad \text{Vgl. 8.66}$$

$$P_0 = 0.117 + 0.52 * 0.562 = 0.41N$$

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{1.93}{0.41} = 4.7 \quad \text{Vgl. 8.67}$$

C_0 = statisch draaggetal [kN] (Bijlage E)

P_0 = equivalente statische lagerbelasting [kN]

S_0 = statische veiligheidsfactor

Dynamische lagerbelasting

De equivalente dynamische lagerbelasting

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{562}{117} = 4.8 > 1.14 \quad \text{Vgl. 8.68}$$

$$P_0 = 0.35F_r + 0.57F_a \quad \text{Vgl. 8.69}$$

$$P_0 = 0.35 * 0.117 + 0.57 * 0.562 = 0.361$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{4.42}{0.361}\right)^3 = 1835.5 \quad \text{Vgl. 8.70}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * L_{10} = \frac{10^6}{60 * 1200} * 1835.5 = 25493 \text{ u} \quad \text{Vgl. 8.71}$$

L_{10} = Nominale levensduur [miljoenen omwentelingen]

L_{10h} = Nominale levensduur [bedrijfsuren]

C = Dynamisch draaggetal (Bijlage E)

P = Equivalente dynamische lagerbelasting [kN]

n = toerental [min^{-1}]

p = exponent voor levensduurformule [3 voor kogellagers]

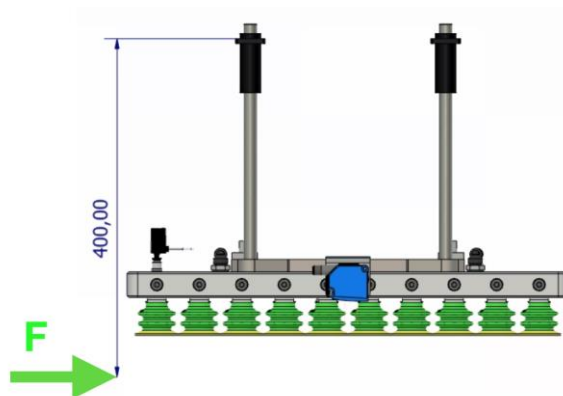
8.6.4 Lineaire geleiding slede

Type: SHS20LC

De fabrikant THK heeft voor deze berekeningen een tool ontwikkeld die eenvoudig de levensduur en veiligheidsfactor kan bepalen. Het resultaat is terug te vinden in bijlage F.

8.6.5 Kogelbussen

Configuratie: Samick LMEKP16LUU of THK LMIK-16L (zie bijlage G)



Figuur 8.14 Belasting kogelbussen

Inwerkende krachten

$m_{tot} = 38.4$ kg verdeeld over vier kogelbussen

$$m = \frac{m_{tot}}{4} = 9.6 \quad \text{Vgl. 8.72}$$

$$P_c = m * a = 9.6 * 2.34 = 22.5N \quad \text{Vgl. 8.73}$$

$$M = F * r = 22.5 * 400 = 9000Nm \quad \text{Vgl. 8.74}$$

$$P_u = K * M = 0.192 * 9000 = 1728N \quad \text{Vgl. 8.75}$$

Statische lagerbelasting

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{2350}{1728+9.6} = 1.35 \quad \text{Vgl. 8.76}$$

Dynamische lagerbelasting

$$L = \left(\frac{f_H * f_T * f_C}{f_W} * \frac{C}{P_c + P_u} \right)^3 * 50 \quad \text{Vgl. 8.77}$$

$$L = \left(\frac{1 * 1 * 0.61}{1.3} * \frac{1230}{22.5 + 1728} \right)^3 * 50 = 1.8km$$

Deze dynamische lagerbelasting ligt vrij laag. Dit geval is ook veel extremer dan het in werkelijkheid zal zijn. De versnellingen zullen meestal enkel verticaal optreden met de vacuümgreipper uitgestuurd.

C_0 = statisch draaggetal [kN]

P_0 = equivalente statische lagerbelasting [kN]

S_0 = statische veiligheidsfactor

L = nominale levensduur [km]

C = dynamisch draaggetal

P_c = Berekende radiale belasting [N]

f_T = Temperatuursfactor

f_c = Contactfactor

f_W = Belastingfactor

f_H = Hardheidsfactor

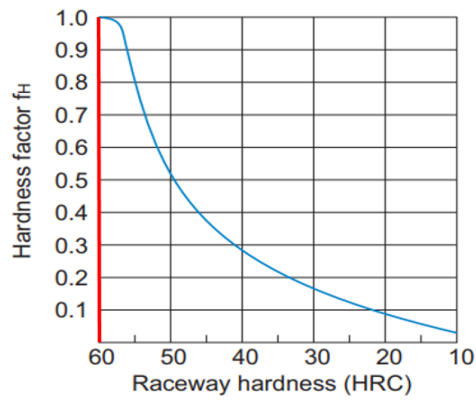
P_u = Equivalente radiale belasting [N]

K = equivalentie factor

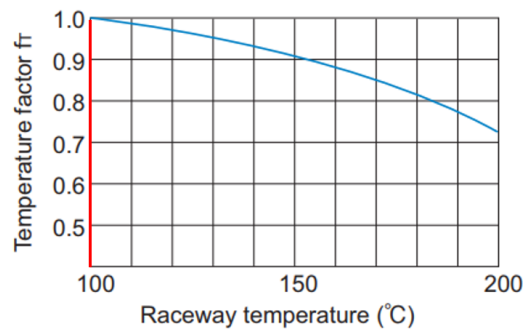
M = Inwerkend moment [Nmm]

Model No.	Equivalent factor: K
	Single nut
LM 3L	0.654
LM 4L	0.578
LM 5L	0.446
LM 6L	0.402
LM 8L	0.302
LM 10L	0.236
LM 12L	0.226
LM 13L	0.214
LM 16L	0.192
LM 20L	0.164
LM 25L	0.12
LM 30L	0.106
LM 35L	0.1
LM 40L	0.086
LM 50L	0.068
LM 60L	0.062

Figuur 8.15 Equivalentie factoren (Bijlage 2)



Figuur 8.16 Hardheidsfactor (Bijlage 2)



Figuur 8.17 Temperatuur factor (Bijlage 2)

Number of nuts in close contact with each other	Contact factor f_c
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61
Normal use	1

Figuur 8.18 Contact factor (Bijlage 2)

Vibrations/ impact	Speed(V)	f_w
Faint	Very low $V \leq 0.25\text{m/s}$	1 to 1.2
Weak	Slow $0.25 < V \leq 1\text{m/s}$	1.2 to 1.5
Medium	Medium $1 < V \leq 2\text{m/s}$	1.5 to 2
Strong	High $V > 2\text{m/s}$	2 to 3.5

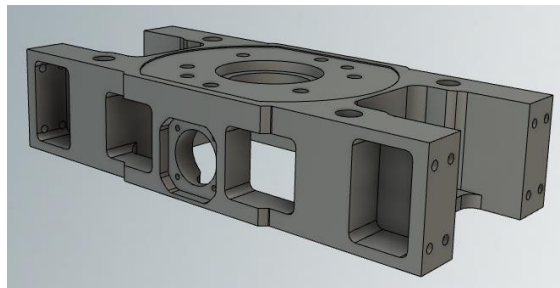
Figuur 8.19 Belastingsfactor (Bijlage 2)

8.7 Stress analyse

Voor de grote freesonderdelen is het heel omslachtig of zelfs onmogelijk om handmatig een goede controle op sterkte uit te voeren. Omdat van deze onderdelen toch een 3D model bestaat is het eenvoudig om met inventor een stress analyse uit te voeren. Wanneer de belastingen goed beschreven zijn, geeft het programma heel realistisch weer waar de spanningsproblemen zich situeren. De resultaten van de stress analyse zijn te vinden in de bijlagen, dit hoofdstuk behandelt de voorafgaande bepaling van de inwerkende krachten.

8.7.1 Dwarsligger

De dwarsligger vormt de basis van de constructie. Dit freesonderdeel houdt het geheel samen en vormt het montagepunt voor de robot. Het is dus belangrijk dat de stijfheid en sterkte voldoende hoog zijn om goede werking te waarborgen. Dit onderdeel is vervaardigd uit Aluminium 7075. (zie Bijlage H)



Figuur 8.20 Dwarsligger

De belasting waar dit onderdeel aan blootgesteld is, bestaat voornamelijk uit krachten onder invloed van de onderliggende massa.

$$F_{tot} = m * (g + a) \quad \text{Vgl. 8.78}$$

$$F_{tot} = 85 * (9.81 + 2.34) = 1032N$$

De totale last is verdeeldt over montagepunten.

$$F_{mont} = \frac{F_{tot}}{4} = \frac{1032}{4} = 260N \quad \text{Vgl. 8.79}$$

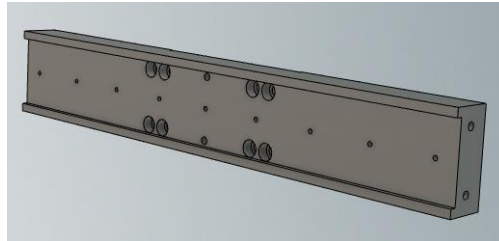
Ook de cilinders van de lift zullen een kracht uitoefenen op dit onderdeel. Deze kracht is eveneens afhankelijk van de massa onder de lift, verdeeldt over de twee cilinders.

$$F_{cil} = \frac{38 \cdot (9.81 + 2.34)}{2} = \frac{460}{2} = 230 \text{ N}$$

Vgl. 8.80

8.7.2 Support rail

De supports voor de lineaire geleiding zijn zijdelings op de dwarsligger gemonteerd. De belasting is vooral een buigmoment onder invloed van diezelfde massakracht. Elk uiteinde is belast met de kracht van 260N. (zie Bijlage I)



Figuur 8.21 Support rail

8.7.3 Arm vork

Bij de berekening van de maximale spindelbelasting is de maximale klemkracht van de vork te vinden. (300N) (zie Bijlage J)



Figuur 8.22 Arm vork

8.7.4 Arm centreerplaat

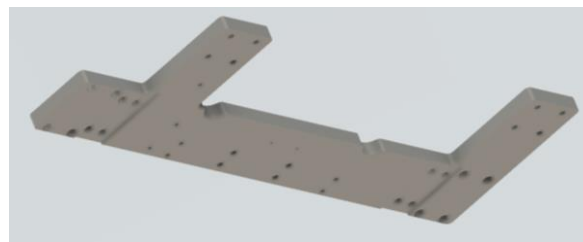
Bij de berekening van de maximale spindelbelasting is de maximale klemkracht van de centreerplaten te vinden. (128.6N) (zie Bijlage K)



Figuur 8.23 Arm centreerplaat

8.7.5 Basisplaat slede

Deze plaat vormt de basis van elke slede. Op deze plaat zijn alle supports en cilinders bevestigd. Op deze plaat werken dus verschillende krachten waardoor een controle op sterkte zeker nodig is. (zie Bijlage L)



Figuur 8.24 Basisplaat slede

8.7.5.1 Cilinders vork

De cilinders van de vorken hebben zoals eerder besproken een duwkracht van 753N. In het slechtste geval is de cilinder gekanteld over een hoek van 4.6°. Met enkele meetkundige formules zijn de krachten eenvoudig op te splitsen voor het cartesisch assenstelsel.

$$F_y = \cos(4.6) * 753 = 750.6N$$

Vgl. 8.81

$$F_z = \sin(4.6) * 753 = 60.4N$$

Vgl. 8.82

8.7.5.2 Cilinders centreerplaten

De cilinders van de vorken hebben zoals eerder besproken een duwkracht van 295N. In het slechtste geval is de cilinder gekanteld over een hoek van 79°. Met enkele meetkundige formules zijn de krachten eenvoudig op te splitsen voor het cartesisch assenstelsel.

$$F_y = \cos(79) * 295 = 56.3N \quad \text{Vgl. 8.83}$$

$$F_z = \sin(79) * 289.6 = N \quad \text{Vgl. 8.84}$$

8.7.5.3 Massakrachten

$$F_m = m * (g + a) = \frac{66}{4} * (9.81 + 2.34) = 200N \quad \text{Vgl. 8.85}$$

8.7.1 Support as

Ook op dit onderdeel werkt de massakracht van 260N. Er kan een axiale kracht optreden tegenover de scharnier as die de support zijdelings belast. Deze kracht ontstaat door de versnelling van de robot. (zie Bijlage M)



Figuur 8.25 Support as

$$F_{ax} = m * a = \frac{66}{4} * 2.34 = 38.6N$$

Vgl. 8.86

8.8 Payload check

Voor elke robot is de maximale belasting van de assen gelimiteerd. In de datasheet (zie bijlage N) is het maximale laadvermogen terug te vinden. Dit laadvermogen is slechts een richtlijn voor het selecteren van een robot. Deze waarde houdt geen rekening met de hoge dynamica en het zwaartepunt van de last. Om deze variabelen in rekening te brengen moet er een volledige payload check gebeuren. Fanuc heeft een Excel document opgesteld waarin alle rekenfactoren verwerkt zitten om snel en eenvoudig een payload check uit te voeren. Dit document kent de verschillende parameters van de robot en kan zo vrij exact de polsbelasting controleren.

8.8.1 Parameters

8.8.1.1 Robot

Om te starten moet het rekenblad weten voor welke robot de check zal gebeuren. Deze payload check is gebaseerd op de M-900iA/150P van Fanuc. Deze robot heeft zes assen en een laadvermogen van 150kg. Verdere specificaties zijn terug te vinden in bijlage N.

8.8.1.2 Massa

Om de invloed van de massa te kunnen bepalen is het van groot belang om dit zo correct mogelijk in te vullen. De payload mass is de massa van de grijper met een zak. De arm load mass is de equivalente massa van het slangenpakket dat op de robot gemonteerd is. Ook de ligging van de massa is belangrijk voor het maken van de berekening, daarom moet ook de afstand van de pols tot het zwaartepunt van de last en de traagheidsmomenten gekend zijn. Deze parameters zijn eenvoudig met Inventor te bepalen indien er een CAD model beschikbaar is.

8.8.2 Resultaat

Wanneer het achterliggende rekenwerk voltooid is door het rekenblad, is het belangrijk om de resultaten juist te interpreteren. In de resultaten zijn enkel de drie laatste assen vermeld. Deze assen zijn omwille van inertiekrachten het meest kritisch ontworpen. Het is dus voldoende om enkel de belasting van deze assen na te gaan.

Een snelle indicatie is meteen af te lezen in de *summary results*. Het is aan te raden om te voorzien dat alle resultaten OK geven. Dit wil zeggen dat de berekende resultaten onder de veilige waarde van 90% belasting moeten zitten. Indien het resultaat WARN geeft zit de belasting boven 90% van de maximumwaarde. Dit geeft niet meteen een probleem naar goede werking toe maar zorgt er wel voor dat de veiligheidsmarge relatief klein is. Indien het resultaat OVER geeft, is minstens één as te zwaar belast. De robot zal niet in zijn volledig bereik kunnen functioneren. In deze controle zijn er 3 resultaten belangrijk. De payload is de statische belasting die een robot kan dragen. Momenten zijn het resultaat van krachten die inwerken op een hefboomarm en de inertie zijn de traagheidskrachten die de versnellingen van de robot zullen tegenwerken. Dit is vooral belangrijk wanneer de robot werkt in zeer dynamische toepassingen.

Item	Result	Meaning
Payload Moments Combined load Inertias Approved	OK	Item is OK
	WARN	Item zit dicht bij de bovengrens
	OVER	Item zit over bovengrens

De *Detailed results* geven meer gedetailleerd de procentuele belastingen van de assen. De statische belasting van de robot is 84,6%. Zo is de capaciteit van de robot goed benut zonder de grens van 90% te overschrijden. Verder is te merken dat de andere lasten zelfs niet boven 50% stijgen. De curves stellen de waardes visueel voor, dit is vaak eenvoudiger te interpreteren. Ook hier is duidelijk te zien dat alle belastingen binnen de brede marge liggen. Het besluit is dus dat op vlak van statische *payload* de robot goed benut is en dat alle andere belastingen ver onder de veiligheidsgrenzen liggen.

ROBOT INPUT DATA	
Robot Type	M-900iA/150P
Payload Input Type	CofG - SI
Robot File Reference Number	1
J5 Offset	0,27

PAYLOAD INPUT DATA: CofG - SI	
J6 Payload Mass (kg)	130,7
J3 Arm Load Mass (kg)	2,5
Payload Center X (m)	0,008589
Payload Center Y (m)	0,006535
Payload Center Z (m)	0,329234
Payload Inertia Ix (Kg.m ²)	7,3
Payload Inertia Iy (Kg.m ²)	7,9
Payload Inertia Iz (Kg.m ²)	6,2

WORKING DATA	Specification	Actual Value
J6 Payload (kg)	150	130,700
J3 Arm/J3 Casing Load (kg)	25	2,500
Axis 4 Moment (Nm)	1666	767,659
Axis 5 Moment (Nm)	1666	767,659
Axis 6 Moment (Nm)	715,4	13,824
Axis 4 Inertia (Kg.m ²)	313,6	54,847
Axis 5 Inertia (Kg.m ²)	313,6	54,842
Axis 6 Inertia (Kg.m ²)	225,4	6,215

REFERENCE DATA	
Robot E#	20180182
Tool #	Bag palletizer
Robot Station #	
Engineer	Stijn Knaepkens
Comment	V01

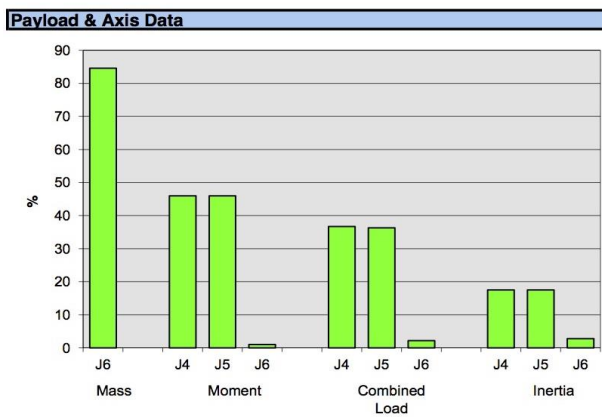
SUMMARY RESULTS	
Payload	OK
Moments	OK
Combined Loads	OK
Inertias	OK
Approved	OK

DETAILED RESULTS	
J6 Payload as % of Max Allowed	84,6
Max J6 Payload for current J3 Payload	154,5
Actual J5 Offset calculated from CofG data (m)	0,599
Moment as % of Max Allowed	
Axis 4	46
Axis 5	46
Axis 6	1
Combined Load as % of Max Allowed	
Axis 4	36,7
Axis 5	36,3
Axis 6	2,2
Inertia as % of Normal Max Allowed	
Axis 4	17,5
Axis 5	17,5
Axis 6	2,8
Note: Warn %	90

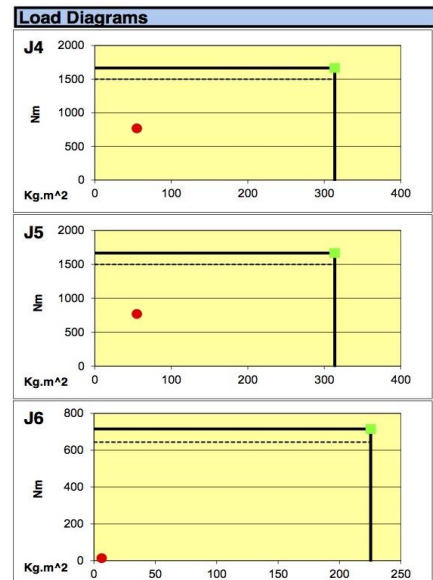
A-83842-04/25

Figuur 8.26 Robot analyse

REFERENCE DATA	
Robot Type	M-900iA/150P
Robot E#	20180182
Tool #	Bag palletizer
Robot Station #	
Engineer	Stijn Knaepkens
Comment	V01



A-83842-04/25



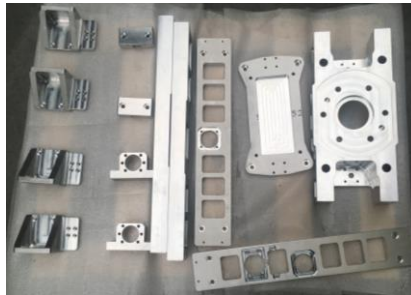
Figuur 8.27 Resultaat diagrammen

9 PRODUCTIE

De productie van de grijper bevat het vervaardigen van de onderdelen en het samenstellen van de grijper. In dit proces komen de ontwerpfouten naar boven, het is als ontwerper daarom heel interessant om dicht bij deze processen te staan. Zo ontstaat er een betere voeling met de realiteit.

9.1 Onderdelen

Het vervaardigen van de onderdelen gebeurt bij Doms bijna volledig intern. Het goed opvolgen van dit proces is belangrijk om tijdig alle onderdelen klaar te krijgen. Daarom is er bijvoorbeeld voor gekozen om de aluminium onderdelen eerst in productie te brengen, omdat deze nadien nog een externe oppervlaktebehandeling moeten ondergaan.



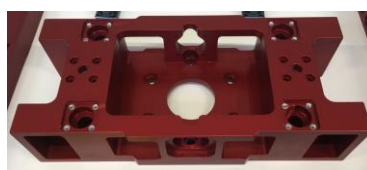
Figuur 9.1 Aluminium freesonderdelen voor anodiseren

De grijper bestaat vooral uit freesonderdelen waardoor dit ook de bottleneck vormt in het volledige productieproces. De aluminium onderdelen zijn zeer goed te verspanen en vormen na de nodige oppervlaktebehandeling meteen een afgewerkt onderdeel. Het RVS daarentegen is een stuk harder waardoor het frezen ook stroever verloopt. Draaien, lasersnijden, plooiën en lassen zijn de andere technieken die in beperkte mate intern zijn uitgevoerd om de onderdelen te vervaardigen.

9.1.1 Anodiseren

Een geschikte oppervlaktebehandeling van aluminium is het anodiseren. Dit is de enige techniek die is uitbesteed aan een extern bedrijf. Anodiseren zet op een elektrochemische wijze het basismateriaal om in een oxidelaag. Deze oxidelaag is een stuk harder dan het basismateriaal waardoor de slijtvastheid sterk verhoogt. De oxidelaag bevat een groot aantal poriën. Het is mogelijk om deze met een kleurstof op te vullen waardoor het werkstuk meteen de gewenste kleur heeft en verder geen kleurende deklaag meer vereist.

(SurfaceTreatment)



Figuur 9.2 Dwarsligger na anodiseren

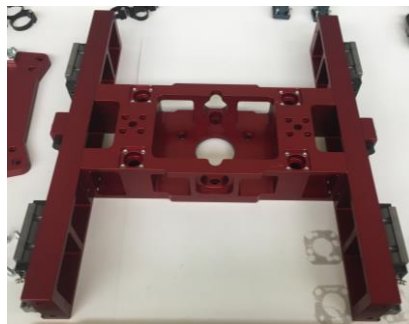
9.2 Montage

Het montageproces is volledig door mezelf uitgevoerd. Het uitvoeren van deze productiefase geeft de mogelijkheid om meer technisch inzicht te verwerven. In deze stap komen ook de meeste ontwerpfouten naar boven, dit kunnen in de toekomstige carrière nieuwe aandachtspunten zijn waaruit ervaring ontstaat.

9.2.1 Montage volgorde

9.2.1.1 Basis

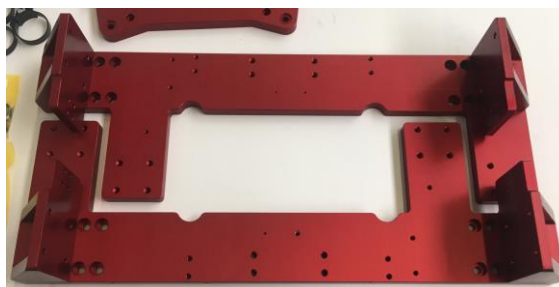
De eerste stap is het samenstellen van de basis. Die vormt het geraamte van de grijper. Op de beide zijden van de basis is de lineaire geleiding bevestigd. De bouten zijn nog niet volledig vastgeschroefd om in een volgende stap de basis nog te kunnen uitlijnen met de sledes.



Figuur 9.3 Geraamte basis

9.2.1.2 Sledes

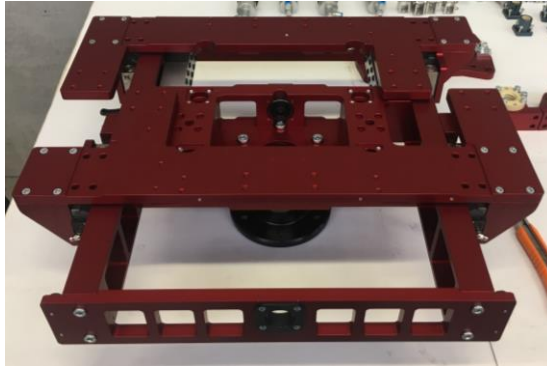
De tweede stap omvat het monteren van de sledes. Ook deze samenstelling is nog niet volledig vastgeschroefd, om een goede uitlijning te kunnen uitvoeren.



Figuur 9.4 Sledes

9.2.1.3 Combineren en uitlijnen

In deze stap komen de sledes en de basis samen. Bij het samenvoegen is het heel belangrijk dat de lineaire geleiding goed is uitgelijnd. Wanneer dit niet het geval is, zal de beweging stroef verlopen en kunnen er parasitaire belastingen ontstaan. Deze ongewenste belastingen komen bovenop de normale last en kunnen de werkelijke levensduur inkorten.



Figuur 9.5 Mechanische structuur basis

9.2.1.4 Afmonteren basis

De laatste stap die nog op de werkbank uitgevoerd is, is het afmonteren van de basis. Deze fase omvat het toevoegen van alle functies die nodig zijn om de gripper te kunnen laten functioneren, bijvoorbeeld persluchtcilinders, sensoren, spindels,....



Figuur 9.6 Basis afgemonteerd

9.2.1.5 Vorken en centreerplaten

De laatste structurele onderdelen die nog missen zijn de vorken en centreerplaten. Om die te monteren is de gripper opgehangen aan de robot. Dit is de meest eenvoudige manier om dit geheel te assembleren. Door de aandrijfvas van de vorken doorheen de lagers te schuiven verloopt de montage heel eenvoudig. De armen van de vorken zijn als laatste, langs de buitenzijde over de as geplaatst. Na het aansluiten van de perslucht en sensoren is de opbouw van de gripper compleet.



Figuur 9.7 Palletiseerklem

9.3 Ontwerpfouten

Tijdens de montage zijn er enkele ontwerpfouten naar boven gekomen. In het algemeen vielen het aantal fouten en de ernst ervan goed mee waardoor de montage zelf vlot verlopen is. Hieronder is een klein overzicht te vinden van de grootste fouten.

- Enkele montagepunten waren voorzien van verkeerde schroefdraad.
 - **Oplossing:** Plaatsen van inserts
- De astappen van de spindels zijn iets te lang waardoor het monteren van de koppeling stroever verloopt.
 - **Oplossing:** Inkorten astappen.
- De centreerplaten komen te laag waardoor de vorken niet volledig tussen de rollen van het PP kunnen zakken.
 - **Oplossing:** Inkorten van de centreerplaten
- Enkele overgangspassing hadden te weinig speling waardoor montage niet meteen mogelijk was.
 - **Oplossing:** Aanpassen van de toleranties op de werktekeningen.

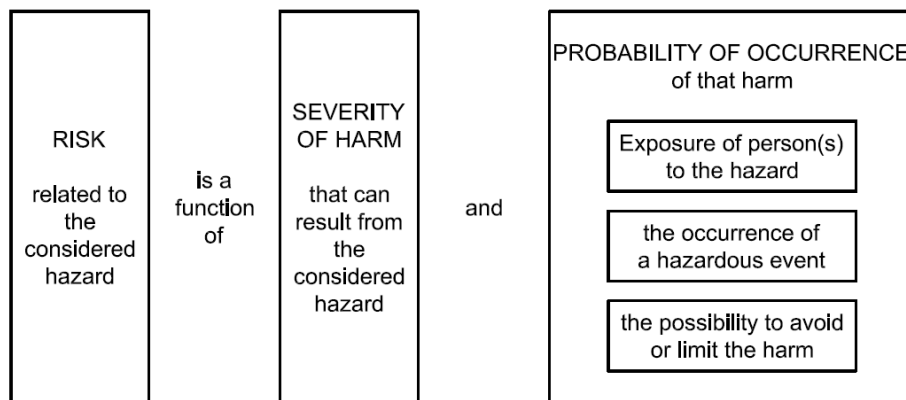
10 RISICOANALYSE

Volgens Europese richtlijn 2009/104/EG is de werkgever verplicht om de nodige maatregelen te nemen en ervoor te zorgen dat de nodige arbeidsmiddelen beschikbaar zijn voor de werknemers zodat de veiligheid en gezondheid van de werknemers gewaarborgd is. Een risicoanalyse voor de specifieke installatie ondersteunt de werkgever hierin en heeft als doel om systematisch alle gevaren te identificeren en de bijhorende risicofactoren te evalueren. Bij deze evaluatie hoort het aanbieden van preventiemaatregelen tot het restrisico daalt naar een aanvaardbaar niveau. De risicoanalyse van een robotcel uitgerust met de betreffende palletiseerklem is terug te vinden in bijlage O. Dit hoofdstuk verklaart hoe de bepaling van het risico in zijn werk gaat.

10.1 Elementen van een risico

Het risico dat een gevaar met zich meebrengt is afhankelijk van verschillende elementen. Dit risico is te vinden door alle elementen op een verantwoorde manier samen te stellen.

- De ernst omschrijft de gevolgen van het gevaar op het menselijk lichaam.
- De frequentie beschrijft hoe vaak het voorval kan voorkomen.
- De waarschijnlijkheid geeft weer hoeveel kans er bestaat dat het gevaar zich voor doet.
- Dit vermindering geeft weer in welke mate het mogelijk is om het gevaar te ontwijken wanneer het zich voordoet.



Figuur 10.1 Elementen van een risico (ISO/FDIS, 2010)

10.2 Risico evaluatie

Voor de evaluatie is er gebruik gemaakt van het hybride model beschreven in (NPR-ISO/TR, 2012). Dit model is één van de verschillende methodes die beschikbaar zijn voor het evalueren van de risico's.

10.2.1 Quotering

Door het gevaar te interpreteren is het mogelijk om aan de hand van Tabel 10-1 de verschillende elementen van het risico te quoteren.

Tabel 10-1 Quoteringstabel

Frequency Fr		Probability Pr		Avoidance Av	
≤ 24 h	5	Verry high	5	Impossible	5
> 24 h to ≤ 2 w	4	Likely	4		
> 2 w to ≤ 1 yr	3	Possible	3	Possible	3
> 1 yr	2	Rarely	2		
		Neglible	1	Likely	1

10.2.2 Analyse

De analyse bepaalt tot welke risicocategorie het betreffende gevaar behoort.

De ernst van het gevaar weegt hard door en bepaalt in welke rij het risico valt. De som van de frequentie, waarschijnlijkheid en vermijding bepaalt in welke klasse het risico valt. Door deze waarde te combineren met de ernst is de risicocategorie bepaald.

Tabel 10-2 Hybride methode

Consequences	Severity Se	Class CL (Fr + Pr + Av)				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Death, loss of eye or arm	4	Yellow	Red	Red	Red	Red
Permanent injury, loss of finger	3	Green	Yellow	Red	Red	Red
Reversible injury, medical attention	2	Green	Green	Yellow	Red	Red
Reversible injury, first aid	1	Green	Green	Green	Yellow	Red

10.2.3 Interpretatie

Nu de risicocategorie gekend is, is de interpretatie nog belangrijk. Zo lang dat het risico laag is en dus in de groene zone valt, moet de werkgever geen extra maatregelen nemen. De oranje zone geeft weer dat het risico hoog is. In dit gebied is de werkgever niet verplicht om maatregelen te nemen maar het wel is aangewezen. Indien het resultaat binnen de rode zone valt is het risico ontoelaatbaar. De werkgever moet risico verlagende maatregelen nemen. De maatregelen moeten ervoor zorgen dat na een tweede analyse de risicocategorie van aanvaardbaar niveau is.

Tabel 10-3 Categorieën

Laag	Hoog	Ontoelaatbaar
------	------	---------------

11 KOSTEN CALCULATIE

Voor elk project is een goede analyse van het financiële aspect belangrijk. Een project moet winstgevend zijn maar de winstmarge moet ook beperkt blijven om te kunnen concurreren. Daarom is het opstellen van budgetten en opvolgen van de cashflow noodzakelijk.

11.1 Budget

Voor elk project is slechts een beperkte hoeveelheid kapitaal beschikbaar. Door slecht beheer kan een groot deel van dit budget in vroege ontwerpstadia al sneuvelen waardoor volgende stappen in het gedrang komen. Het is dus noodzakelijk om budgetten op te stellen en zo het geld correct te verdelen over de verschillende projectstappen.

Na het opstellen van een totale richtprijs hanteert firma Doms de regel dat $\frac{3}{4}$ van het budget dient als projectbudget en het overige behouden blijft als marge. Deze marge moet grotendeels de uiteindelijke winst vormen.

Het projectbudget is vervolgens opgesplitst in een budget voor het uurloon en voor het materiaal. Deze verhoudingen zijn licht afhankelijk van het type project. In dit project vraagt de engineering een grote hap uit het projectbudget omdat de nadruk hier vooral ligt op ontwikkeling.

Uit Figuur 11.1 is te merken dat de materiaalkost perfect binnen het budget gebleven is. De loonkost daarentegen heeft de limiet overschreden. Er stelt zich hier geen probleem omdat het totale budget nog steeds toereikend is.

11.2 Productie

De kost van de productie is samengesteld uit de loonkost van de arbeiders in combinatie met de residentiële- en machinekost. De gehanteerde uurkost is te vinden in Tabel 11-1. Merk op dat het projectmanagement en de calculatie niet doorgerekend zijn aan de klant. Deze kost is mee verrekend in de andere bewerkingen.

Tabel 11-1 Uurkost

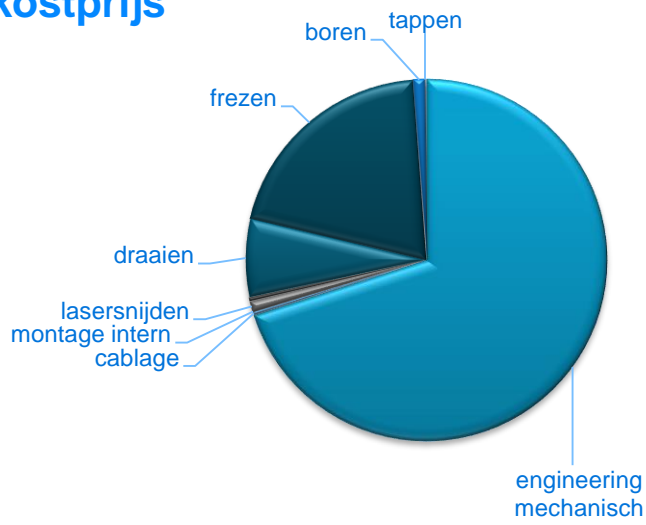
BEWERKING	BEDRAG [€/UUR]
PROJECTMANAGEMENT	0
CALCULATIE	0
ENGINEERING	52,96
ENGINEERING MECH	52,96
ENGINEERING ELEC	55,99
ENGINEERING SOFTWARE	53,89
BORDENBOUW	48,43
CABLAGE	48,43
CABLAGE INTERN	48,43
CABLAGE EXTERN	48,43
MONTAGE	57,87
MONTAGE INTERN	57,87
MONTAGE EXTERN	57,87
LASERSNIJDEN	50,19
PLOOIEN	50,19
KNIPPEN	50,19
DRAAIEN	52,5
FREZEN	52,5
BOREN	52,5
TAPPEN	52,5
ZAGEN	54,43
BUIGEN	52,5
LASSEN/SAMENSTELLEN	54,43
OPPERVLAKTEBEHANDELING	53,5
MAGAZIJNBEHEER	53,5
LADEN EN LOSSEN	53,5
TRANSPORT/REISTIJD	53,5

Zoals bij de budgetten al is aangehaald, gaat een groot deel van de gependeerde uren naar engineering. Voor een eenmalig project weegt deze kost enorm door op de totale kostprijs. Het is de bedoeling om deze grijper meermaals toe te passen in andere projecten. Bij het produceren van een volgende versie valt de engineering kost nagenoeg volledig weg. Dit is het voordeel van een serieproduct.

11.3 Reële verkoopprijs

De reële verkoopprijs is gebaseerd op de werkelijke kosten aan het einde van het project. Door alle kosten op te tellen en te vermeerderen met $\frac{1}{4}$ marge ontstaat een reële verkoopprijs van het project. Omdat de budgetten goed benut zijn, ligt de reële verkoopprijs dicht bij de geschatte verkoopprijs.

Uurkostprijs



PO	20180182	totaal verkoopprijs	€ 50.000,00
klant	Gebroeders Doms BVBA		
omschrijving	R&D Palletiseerklem		

projectbudget ma	€ 4.140,39	
projectbudget ure	€ -3.257,26	
projectbudget	€ 883,13	
voorlopig resultaat	€ 13.383,13	

MATERIAAL	
verkoopprijs	€ 16.666,67
projectbudget	€ 12.500,00
verkoopmarge	€ 4.166,67
resultaat	€ 8.307,05

UREN	
verkoopprijs	€ 33.333,33
projectbudget	€ 25.000,00
verkoopmarge	€ 8.333,33
resultaat	€ 5.076,08

TOTAAL	
verkoopprijs	€ 50.000,00
meerprijzen	€ -
totaal verkoopprijs	€ 50.000,00
projectbudget	€ 37.500,00
verkoopmarge	€ 12.500,00
voorlopig resultaat	€ 13.383,13
gefactureerd	
resultaat	€ -36.616,87

projectbudget materialen	€ 12.500,00
aankoopprijs materialen	€ 7.584,31
openstaande bestellingen	€ 167,75
overige	€ 607,55
totaal materialen	€ 8.359,61
resterend projectbudget materiale	€ 4.140,39

"REELE" VERKOOPPRIJS	
materialen	€ 10.449,52
uren	€ 35.321,57
totaal	€ 45.771,09
verschil	€ 4.228,91
resultaat	€ 11.442,77

	€			offerte	verschil
projectbudget uren	€ 25.000,00	480,77			
projectmanagement	€ -	0,00	0%		0,00
calculatie	€ -	0,00	0%		0,00
engineering mechanisch	€ 19.749,84	372,92	61%		-372,92
engineering elektro	€ -	0,00	0%		0,00
engineering software	€ -	0,00	0%		0,00
bordenbouw	€ -	0,00	0%		0,00
cablage	€ 96,86	2,00	0%		-2,00
cablage intern	€ -	0,00	0%		0,00
cablage extern	€ -	0,00	0%		0,00
montage intern	€ -	75,90	12%		-75,90
montage extern	€ -	0,00	0%		0,00
lasersnijden	€ 271,03	5,40	1%		-5,40
plooiën	€ 92,85	1,85	0%		-1,85
knippen	€ -	0,00	0%		0,00
draaien	€ 1.969,80	37,52	6%		-37,52
frezen	€ 5.676,83	108,13	18%		-108,13
boren	€ 282,45	5,38	1%		-5,38
tappen	€ 5,25	0,10	0%		-0,10
zagen	€ -	0,00	0%		0,00
buigen	€ -	0,00	0%		0,00
lassen/samenstellen	€ -	0,00	0%		0,00
oppervlaktebehandeling	€ 38,52	0,72	12%		-0,72
magazijnbeheer	€ -	0,00	0%		0,00
laden en lossen	€ 73,83	1,38	0%		-1,38
transport/reistijd	€ -	0,00	0%		0,00
totaal uren	€ 28.257,26	611,30			-611,30
resterend projectbudget uren	€ -3.257,26	-130,53			

Figuur 11.1 Kosten calculatie

12 CONCLUSIE

Deze masterproef is gebaseerd op de vraag naar het meest geschikte grijpprincipe voor het palletiseren en depalletiseren van zakken met een robot. Om op deze vraag te kunnen antwoorden is er een marktonderzoek uitgevoerd. In het marktonderzoek zijn verschillende grijpprincipes beoordeeld volgens dezelfde criteria. Door het toepassen van de Kesselringmethode is hieruit vervolgens het meest geschikte principe gevonden. Zo blijkt dus dat een combinatie van de vingergrijper en vacuümgripper het beste resultaat levert voor het palletiseren en depalletiseren van zakken. De tanden van de vorken geven veel steun bij het manipuleren van de zakken en het toepassen van vacuüm maakt het mogelijk om zakken te depalletiseren.

Na het marktonderzoek volgden alle stappen die een reëel project doorloopt, ontwerpen, productie, montage en testen. Het doorlopen van deze stappen is als junior ingenieur interessant. De eerste fase, het ontwerp, is gebaseerd op het analyseren en oplossen van problemen. De tweede fase, de productie, is leerrijk om van dichtbij op te volgen, zo kan er meer inzicht ontstaan naar de productieprocessen. Dit kan in de toekomst leiden tot een meer efficiënt ontwerp. De derde fase, de montage, brengt de meeste ontwerpfouten naar boven. Door deze stap zelf uit te voeren, ontstaat er meer voeling met de technieken en passingen, zo is het mogelijk om in de toekomst met deze fouten meer rekening te houden.

Het resultaat van de finale test is veelbelovend. De vorken geven de gewenste steun aan de zak waardoor de vorm mooi behouden blijft en de vacuümgripper maakt het mogelijk om zakken te depalletiseren. Door het toepassen van de vacuümgripper bij het palletiseren, kunnen de zakken heel gecontroleerd en stevig gestapeld worden. De grijper is dus heel geschikt voor het palletiseren en depalletiseren van zakken met een robot.

Referenties

- Copal. (sd). *Copal Bagripper Robot*. Opgehaald van Copal handling systems: <https://rijlaarsdam.eu/?cat=9>
- Eichenberger. (sd). *Ballscrews*. Opgehaald van Eichenberger gewinde: <https://www.gewinde.ch/produkte/carry-kugelgewindetriebe>
- Eichenberger. (sd). *Design fundamentals*. Opgehaald van Eichenberger gewinde: <https://www.gewinde.ch/products/carry-ballscrews>
- Elesa+Ganter. (sd). *VDT solid handwheels*. Opgehaald van Elesa+Ganter: <https://www.elesa-ganter.com/webapp/wcs/stores/servlet/en/b2bstorewww/products/operating-elements-eg-en-operating-elements-sales--1/without-handle-vdt#categoryid=12513&sortby=0&facetvalue=&searchtopcategoryid=12501&searchparentcategoryid=12513>
- Europese Unie. (2009, 09 16). *Richtlijn 2009/104/EG*.
- Festo. (sd). *Dossier sensoren in de elektropneumatica*. Opgehaald van Festo: https://www.festo.com/rep/nl-be_be/assets/pdf/Sensoren.pdf
- Festo. (sd). *Dossier wegventielen*. Opgehaald van Festo: https://www.festo.com/cms/nl-be_be/53069.htm
- Festo. (sd). *Products*. Opgehaald van Festo: https://www.festo.com/cat/nl-be_be/products
- Herbert, W., Dieter, M., Dieter, J., & Joachim, V. (2013). *Roloff/Matek machineonderdelen Tabellenboek* (5e ed.). (Hapax, Vert.) Amsterdam: Boom.
- Herbert, W., Dieter, M., Dieter, J., & Joachim, v. (2013). *Roloff/Matek machineonderdelen Theorieboek* (5e ed.). (Hapax, Vert.) Amsterdam: Boom.
- ISO/FDIS. (2010). 12100:2010(E). *Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction*.
- ISO/TS. (2011). EN ISO 10128-2. *Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration*.
- J.C.F, d. B. (2006). In d. B. J.C.F, *Methodisch ontwerpen* (2e ed., pp. 91-97). Ulvenhout: Sdu Uitgevers.
- Neugart. (sd). *PLE Economy planetary gearbox*. Opgehaald van Neugart: <https://www.neugart.com/en/products/planetary-gearboxes-with-output-shaft/ple/>
- NPR-ISO/TR. (2012). EN ISO 14121-2. *Veiligheid van machines - Risicobeoordeling - Deel 2: Praktische gids en voorbeelden van methoden*.
- Piab. (sd). *Kenos® Vacuum gripping systems*. Opgehaald van Piab: <https://www.piab.com/en-US/products/kenos-vacuum-gripping-systems/>
- ptchronos. (2017, 04 26). *Choosing the right end-effector*. Opgehaald van ptchronos: <https://www.ptchronos.com/en-us/blog/choosing-the-right-end-effector>
- R+W. (sd). *Line shafts*. Opgehaald van rw-couplings: <https://www.rw-couplings.com/products/precision-couplings/line-shafts/>

- RFA. (sd). *Zakken palletiseren*. Opgehaald van Rijlaarsdam factory automation: <https://rijlaarsdam.eu/?cat=9>
- Schunk. (sd). *SWS verandersystemen*. Opgehaald van Schunk Superior clamping and gripping: https://schunk.com/nl_nl/grijpsystemen/series/sws/
- SICK. (2014, 02 08). *Photoelectric Sensors*. Opgehaald van sick: <https://www.sick.com/be/nl/>
- Siemens. (sd). *SIMATIC ET 200eco PN*. Opgehaald van Industry Mall: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/www/Catalog/Product/6ES7141-6BH00-0AB0>
- SKF. (2006). *Hoofdcatalogus*. Italië.
- SKF. (2011). *SKF spherical plain bearings and rod ends*. Opgehaald van SKF: <https://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/index.html>
- SKF. (sd). *Requisite bearing size*. Opgehaald van SKF: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/principles-for-selection-and-application/selecting-bearing-size/requisite-bearing-size/index.html>
- SurfaceTreatment. (sd). *Technisch anodiseren*. Opgehaald van Surface Treatment: <http://www.surfacetreatment.nl/public/files/files/Technisch%20anodiseren.pdf>
- THK. (2007, 11 03). *Caged ball LM guide SHS*. Opgehaald van tech.thk: https://tech.thk.com/upload/catalog_claim/pdf/235E_SHS.pdf
- THK. (sd). *FK fixed-side round type*. Opgehaald van thkstore: <https://www.thkstore.com/fk.html>
- THK. (sd). *LMIK-L*. Opgehaald van thkstore: <https://www.thkstore.com/lmik-l.html>
- Wittenstein. (sd). *cyber® dynamic motor – borstelloze servomotoren*. Opgehaald van Wittenstein: https://cyber-motor.wittenstein.biz/nl-nl/producten/servomotoren/rotatieve-synchrone-motoren/cyber-dynamic-motor-borstelloze-servomotoren/#_ga=2.160884927.346449599.1555588842-944294615.1554301357
- Wrijvingscoëfficiënt, Rolweerstand en Luchtweerstand*. (sd). Opgehaald van werktuigbouw.nl: <http://www.werktuigbouw.nl/abc/cof.htm>

Bijlagen

Bijlage A	Round cylinders DSNU/ESNU (op USB)
Bijlage B	Compact cylinders ADN/AEN (op USB)
Bijlage C	Eichenberger spindel 16x5 factsheet
Bijlage D	Continental Belt Calculation
Bijlage E	Spindellagers
Bijlage F	THK_Tool_SHS20LC_calculation
Bijlage G	Kogelbussen
Bijlage H	Stress Analysis Report_Dwarsligger
Bijlage I	Stress Analysis Report_Support_Rail
Bijlage J	Stress Analysis Report_Arm_Vork
Bijlage K	Stress Analysis Report_Arm_Centreerplaat
Bijlage L	Stress Analysis Report_Basisplaat_Slede
Bijlage M	Bijlage_M_Stress Analysis Report_Support_As
Bijlage N	Bijlage_N_Fanuc_900iA_Serie
Bijlage O	Bijlage_O_Risicoanalyse

Bijlage A DETAILTEKENINGEN VAN DE PROEFOPSTELLING

FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
CAMPUS GEEL
Kleinhoefstraat 4
2440 GEEL, België
tel. + 32 14 72 13 00
iiw.geel@kuleuven.be
www.iw.kuleuven.be

