

2016•2017  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Ontwerp van een robotcel voor het beladen van een boor-freesmachine met  
sorteerfunctie

Promotor :  
Prof. dr. ir. Eric DEMEESTER

Promotor :  
Dhr. JEF VAN GAEL

Copromotor :  
ing. BART VAN DE PEER

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

Jef Clijsters , Wouter Theo Stakenborg

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: elektromechanica*

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Ontwerp van een robotcel voor het beladen van een  
boor-freesmachine met sorteerfunctie

Promotor :  
Prof. dr. ir. Eric DEMEESTER

Promotor :  
Dhr. JEF VAN GAEL

Copromotor :  
ing. BART VAN DE PEER

Jef Clijsters , Wouter Theo Stakenborg

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: elektromechanica*

## Woord vooraf

De masterproef vormt het sluitstuk binnen onze opleiding Master in de Industriële Wetenschappen optie Elektromechanica aan de Universiteit Hasselt in samenwerking met de KU Leuven. Deze masterproef werd gerealiseerd bij de firma Robberechts te Turnhout met als onderwerp “Ontwerp van een robotcel voor het beladen van een boor-freesmachine met sorteerfunctie”. Het resultaat zou niet hetzelfde geweest zijn zonder de hulp van een aantal mensen. Een klein bedankje is dan ook wel op zijn plaats:

Op de eerste plaats willen we graag onze bedrijfspromotoren, de heer Jef van Gael en ing. Bart van de Peer bedanken om ons de kans te geven om in dit bedrijf onze stage te kunnen verwezenlijken. Verder danken we ook alle collega’s van Robberechts voor advies, kennis en hulp.

Op de tweede plaats gaat onze dank uit naar Prof. dr. ir. Eric Demeester, onze interne promotor voor de feedback en hulp tijdens deze periode.

Tenslotte nog een dankwoordje aan dr. ir. Kris Henriouille en ing. John Bijnens voor respectievelijk voor de hulp bij de sterkteberekening en de berekeningen in Creo Simulate.

Jef Clijsters  
Wouter Stakenborg  
Mei 2017



# Inhoudsopgave

<b>Woord vooraf</b> .....	<b>1</b>
<b>Lijst van tabellen</b> .....	<b>5</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>8</b>
<b>Verklarende woordenlijst</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>12</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>14</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>16</b>
1.1 Situering .....	16
1.2 Probleemstelling .....	16
1.3 Doelstelling.....	17
1.4 Methode.....	19
<b>2 Data-analyse</b> .....	<b>20</b>
2.1 Productie en cyclustijd .....	20
2.2 Besluit.....	23
<b>3 Literatuurstudie</b> .....	<b>24</b>
3.1 vacuümtechnologieën .....	24
3.1.1 Type vacuümgeneratoren .....	24
3.1.2 Zuignappen .....	26
3.1.3 Selecteren van vacuümcomponenten.....	27
3.2 Aandrijving geleiding grijper .....	28
3.3 Robots en hun periferie .....	29
3.3.1 Industriële robots .....	29
3.3.2 Robotslide.....	29
3.4 Veiligheid .....	30
3.4.1 Safe move .....	30
3.4.2 2D sensoren.....	31
3.4.3 Veiligheidsafstand volgens norm EN ISO 13855.....	32
3.4.4 Veiligheidscomponenten.....	34
<b>4 Morfologisch overzicht</b> .....	<b>36</b>
4.1 Functieblokschema.....	37
4.2 Concepten .....	41
4.3 Evalueren concepten.....	48
<b>5 Mechanisch ontwerp</b> .....	<b>50</b>
5.1 Ontwerp grijper .....	50

5.1.1	Doorbuiging van de Arm.....	52
5.1.2	Dimensionering vacuüm.....	58
5.1.3	Sensoren.....	61
5.1.4	Geleiding.....	62
5.1.5	Aandrijving.....	64
5.2	Ontwerp lay-out .....	65
5.2.1	Inleiding .....	65
5.2.2	Werking .....	65
5.2.3	Getroffen veiligheidsvoorzieningen .....	67
5.2.4	Besluit.....	68
5.3	Rek.....	69
5.3.1	Inleiding .....	69
5.3.2	Ontwerp magazijnrek .....	69
5.3.3	Montage .....	70
5.3.4	Oplegbuizen.....	70
5.3.5	Berekeningen magazijnrek .....	71
5.3.6	Besluit.....	77
<b>6</b>	<b>Implementatie in Robotstudio.....</b>	<b>78</b>
6.1	Bereikstudie.....	78
<b>7</b>	<b>Besluit .....</b>	<b>80</b>
	<b>Literatuurlijst .....</b>	<b>82</b>
	<b>Bijlagen.....</b>	<b>84</b>

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Productie gegevens augustus .....	21
Tabel 2: Data plaatlengte BHX.....	21
Tabel 3: Productiegegevens September .....	22
Tabel 4: Concept 1 maximale functionaliteit buizenrek .....	41
Tabel 5: Concept 2 maximale functionaliteit palletten.....	42
Tabel 6: Concept 3 directe afstapeling op mobiele rekken.....	43
Tabel 7: Concept 4 de combi-grijper .....	43
Tabel 8: Concept 5 vaste robot met kleinere product aantallen .....	44
Tabel 9: Concept 6 minimale configuratie .....	45
Tabel 10: Concept 7 robot op slide met palletten reeks afstapeling .....	46
Tabel 11: Concept 8 robot slide met buizenrek +palletten.....	46
Tabel 12: Concept 9 dubbele uitvoering van de buizenrek.....	47
Tabel 13: Weegfactoren .....	48
Tabel 14: Onderlinge vergelijkingen oplossingen deelfuncties.....	48
Tabel 15: Technische specificaties SAB suction Cups.....	52
Tabel 16: Eigenschappen vacuümejector.....	59
Tabel 17: Eigenschappen buis .....	71
Tabel 18: Eigenschappen paneel.....	72
Tabel 19: Eigenschappen één koker.....	76







## Lijst van figuren

Figuur 1: Grondplan fabriekshal.....	17
Figuur 2: Weeke BHX 200.....	17
Figuur 3: BMG Homag .....	20
Figuur 4: Vacuüm gebieden [1] .....	24
Figuur 5: Standaardvacuümgenerator Festo [2] .....	25
Figuur 6: Eentraps ejector venturi principe [1] .....	25
Figuur 7: Schmalz SBX vlak grijpersysteem [4] .....	26
Figuur 8: Vacuüm ejector PiSTAMP Piab [5] .....	27
Figuur 9: Zuignappen type SAB Schmalz [3].....	27
Figuur 10: Gesloten regelkring [6].....	28
Figuur 11: Werkgebied robot ABB IRB 7600-150/3.5 [7] .....	29
Figuur 12: Track motion IRBT7004 [7].....	29
Figuur 13: Principetekening 2D-sensor [9].....	31
Figuur 14: S3000 2D-sensor met zonebewaking [8].....	31
Figuur 15: Oplossend vermogen [9] .....	32
Figuur 16: Soorten beveiligingsmogelijkheden [9].....	33
Figuur 17: Lichtschermbeveiliging.....	34
Figuur 18: Veiligheidsmat.....	35
Figuur 19: Een methodisch ontwerpproces [10].....	36
Figuur 20: Functieblokschema .....	37
Figuur 21: Morfologisch overzicht.....	40
Figuur 22: Onderaanzicht Grijper.....	50
Figuur 23: Vooraanzicht grijper .....	50
Figuur 24: Zijaanzicht arm .....	51
Figuur 25: Mechanische eigenschappen AL 6060 T6 .....	52
Figuur 26: VLS arm.....	53
Figuur 27: Doorbuiging arm wanddikte 4 mm .....	56
Figuur 28: Spaningsverloop arm wanddikte 4mm .....	57
Figuur 29: Werkwijze dimensionering vacuüm .....	58
Figuur 30: Montage Zuignappen .....	58
Figuur 31: VTUG ventiel 10 .....	60
Figuur 32: SPT Sensor Festo .....	60
Figuur 33: Contact sensor in arm .....	61
Figuur 34: DLVZ160 .....	62
Figuur 35: Lightweight concept 1 .....	63
Figuur 36: Lightweight concept 2 .....	63
Figuur 37: Siemens 1FK70 .....	64
Figuur 38: Lay-out robotcel .....	65
FIGUUR 39: INDELING VAN LAY-OUT IN ZONES .....	67
Figuur 40: Magazijnrek in perspectief.....	69
Figuur 41: Magazijnrek vooraanzicht+ zijaanzicht .....	69
Figuur 42: Voetplaat en arm.....	70
Figuur 43: Insteekdop.....	70
Figuur 44 VLS buis .....	72
Figuur 45: Snedenkrachten buis.....	73

Figuur 46: Doorbuiging v2 .....	74
Figuur 47: Resultaten Creo .....	75
Figuur 48: Kolom sectie .....	75
Figuur 49: VLS kolom .....	76
Figuur 50: Doorbuiging rek.....	77
Figuur 51:Grijper langs onderzijde paneel .....	78
Figuur 52:Grijper langs bovenzijde paneel.....	78

## Verklarende woordenlijst

**Additive manufacturing (AM)** is een proces waarbij voorwerpen gemaakt worden uit een 3D-model. Deze worden laag per laag opgebouwd. In tegenstelling tot conventionele technieken. Binnen de AM onderscheiden we verschillende printtechnieken zoals fused deposition modeling (FDM), selectief laser sinteren (SLS) en stereolithografie (SLA) . Deze technieken worden steeds meer gebruikt voor toepassingen binnen de industrie en de medische wereld.

**Vrijlichaamsschema (VLS)** is een schema waarbij het lichaam(constructie) vrijgemaakt wordt zodat alle krachten die inwerken weergegeven worden. Hiermee kunnen naderhand de evenwichtsvergelijkingen etc. opgelost worden.



## Abstract

De firma Robberechts te Turnhout is een fabrikant van kantoormeubilair. Om de productiefLOW te optimaliseren wil de firma investeren in een nieuwe boor-en freescel, type BHX200, voor het bewerken van gemelamineerde topbladen. De panelen worden tijdens het zagen genest i.v.m. optimaal materiaalgebruik. Hierdoor verschilt de stapelvolgorde van de montagevolgorde. Deze masterproef heeft als doel een cel te ontwerpen die de handeling van de bureaubladen automatiseert en vervolgens optimaal sorteert voor de montage.

Om het probleem methodisch aan te pakken werd eerst een morfologisch overzicht opgesteld. Hieruit volgden negen concepten. Deze werden vergeleken op basis van functionaliteit, kostprijs en eenvoud van werking. Dit resulteerde in twee concepten die in detail zijn uitgewerkt, bestaande uit een robot met grijper, voorrichtsysteem, een buffer voor de bladen. Op basis van een literatuurstudie werden de juiste componenten geselecteerd. Dit concept werd gesimuleerd en iteratief verfijnd in Robotstudio om te verifiëren of alle posities bereikbaar zijn met de robot.

Dit resulteerde in een cel die bestaat uit een buizenrek, kantelafel en een grijper. Omdat de grijper voorzien is van verrijdbare armen kan deze een grote variatie van platen verwerken. Het gebruik van een buizenrek zorgt voor een sorteermogelijkheid. Een alternatief lichtgewicht grijper ontwerp die bestaat uit een 3D geprinte structuur en carbon buizen zorgt mogelijks voor een gewichtsbesparing. Hierdoor kan er een lichtere, goedkopere robot gebruikt worden.



## Abstract in English

The company Robberechts located in Turnhout is a manufacturer of office furniture. To optimise the production flow the company wants to invest in a new drilling and milling cell of type BHX200, to treat the melamine top sheets. These sheets are nested during the sawing process to ensure optimal material usage. This has multiple disadvantages, e.g., the stacking order differs from the assembly order. This thesis is about designing a cell that treats the sheets and sorts them in assembly order afterwards.

This problem was solved methodically by using a morphological overview. Out of this followed 9 concepts. These were evaluated on functionality, price and simplicity of operation. This resulted in 2 concepts that have been elaborated in detail, consisting of a robot with gripper, directional table and a buffer for the sheets. . Based on the literature study the optimal components were selected. This concept was simulated and iteratively refined in Robotstudio to verify that all positions are accessible by the robot.

This resulted in a cell consisting out of a rack, tilt table and a gripper. Because the gripper is equipped with mobile arms, it can handle a large variety of sheets. Using a pipe rack allows us to apply sorting routines. The further development of a lightweight construction, by using 3D printing and carbon tubes. This will result in a weight reduction so a lighter and cheaper robot can be used.





# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

De firma Robberechts te Turnhout is een hout-staalverwerkend bedrijf dat gespecialiseerd is in het ontwerpen, fabriceren en verhandelen van kantoormeubilair en *custom-made* producten. Robberechts beschikt over een uitgebreid machinepark maar om de productiefLOW te optimaliseren investeert de firma Robberechts in een nieuwe boor-en freescel, type Weeke BHX200. Deze nieuwe productiecel gaat Robberechts gebruiken om gemelamineerde houten topbladen van bureaus en kasten te bewerken. Het doel van deze masterproef is het integreren van deze cel in het huidige productieproces en de belading/ontlading van de machine te automatiseren.

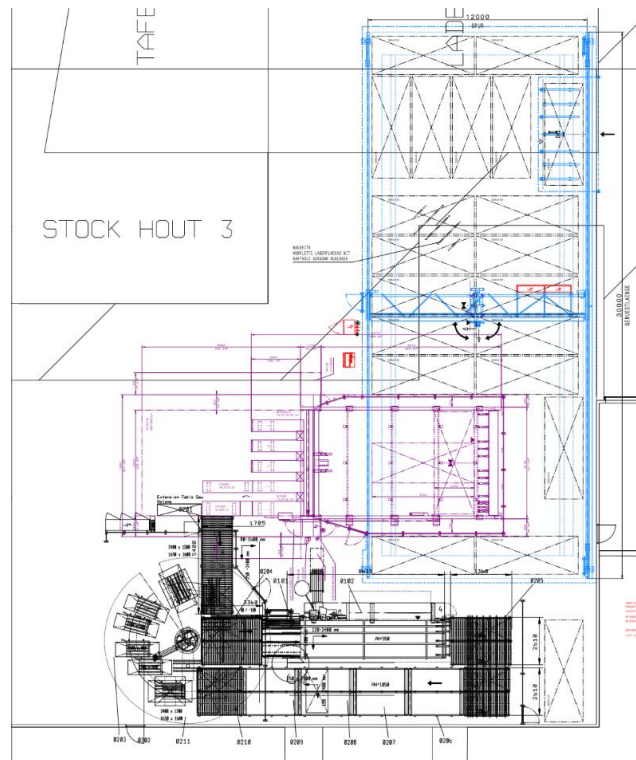
## 1.2 Probleemstelling

De productie verloopt momenteel als volgt. Allereerst legt een operator met behulp van een heftruck platen in een buffer voor een opdeelzaag, rechts in het paars, zie Figuur 1. Vervolgens neemt een opdeelzaag de plaat en verzaagt deze volgens het nesting-principe. M.a.w. de stukken worden optimaal uitgezaagd om zo een minimaal materiaalverlies te hebben. Wanneer de plaat verzaagd is, kleeft een operator een barcode op het werkstuk. Hierdoor kunnen we in latere stappen van het proces de werkstukken herkennen.

Hierna voert een operator de gezaagde panelen in op een rolbaan naar de kantenverlijmer, onderaan centraal, Figuur 1. Deze is voorzien van een automatische barcodescanner die leest om welk werkstuk het gaat. Op basis hiervan wordt het programma voor de *handlingrobot* en kantenverlijmer geselecteerd en gestart. De robot voert het werkstuk in de kantenverlijmer. Daarna komt het gedeeltelijk verwerkte werkstuk via een automatisch retoursysteem terug bij de robot. Afhankelijk van het beoogde eindproduct, legt de robot het werkstuk opnieuw in met een andere oriëntatie. Zo worden er één tot vier rondgangen door de kantenverlijmer doorlopen tot het werkstuk klaar is.

Als dit afgewerkte paneel terug bij de robot komt, dan stapelt hij het paneel af op één van de 6 mogelijke stapelposities. De panelen worden via het dennenboomprincipe gestapeld, d.w.z. center op center. Hierna worden de stukken manueel naar de volgende verwerkingseenheid verplaatst waar er boor-freesbewerkingen uitgevoerd worden. Als laatste worden de panelen terug op palletten gestapeld en naar de montageafdeling getransporteerd.

Deze manier van werken geeft echter enkele problemen. Zo is de stapelvolgorde van de panelen nadat ze bewerkt zijn, niet de volgorde die men hanteert bij de montage. Het gevolg hiervan is dat een operator de stukken handmatig op ordernummer moet sorteren. Dit is een tijdrovend en arbeidsintensief werk. Door de huidige, suboptimale productiefLOW kan een operator zijn tijd niet efficiënt benutten.



Figuur 1: Grondplan fabriekshal

### 1.3 Doelstelling

De firma Robberechts wil een robotcel ontwerpen en installeren voor het automatisch laden en ontladen van hun aangekochte boor-freesmachine(BHX200) zie Figuur 2. Vermits de stukken vanwege de materiaalloptimalisatie niet in de optimale volgorde verwerkt worden, wil Robberechts de stukken sorteren in een sorteerbuffer om deze nadien in de optimale volgorde voor de verdere montage af te stapelen op palletten. De tussenkomst van een robotcel moet arbeidskrachten uitsparen en de efficiëntie bij de montageafdeling verhogen. Deze oplossing zal ook de ergonomie voor de operatoren verbeteren.



Figuur 2: Weeke BHX 200

Om de rechtstreekse koppeling tussen de kantenverlijmer en de BHX 200 te verwezenlijken dient er een tussentijdse buffer voorzien te worden. Deze zal de schommelingen in cyclustijden tussen de verschillende machines opvangen. Hierna worden de panelen afgevoerd naar een centreerpositie zodat de robot de panelen kan grijpen. Alternatief wordt een automatische belading van de machine d.m.v. een kanteltafel en invoertransportbandje bekeken. Dit heeft als voordeel dat de robot qua cyclustijd ontlast wordt en dat ook kleinere stukken zonder problemen in de machine kunnen ingevoerd worden.

Om de houten panelen met hun verschillende afmetingen te kunnen grijpen dienen we een dynamische gripper te ontwerpen. Deze panelen hebben een minimale grootte van 500 x 400 mm en een maximale grootte van 3050 x 1250 mm. Het maximale gewicht van de panelen bedraagt 100 kg. De gripper dient meerdere handelingen uit te voeren. Allereerst moet deze de panelen automatisch laden in de BHX 200. Wanneer deze de panelen bewerkt heeft, moeten ze omgedraaid worden i.v.m. bewerkingen aan de achterzijde ofwel afgevoerd worden naar een buffer.

Het doel van deze buffer is de panelen tijdelijk te stockeren. De productie is namelijk variabel in de tijd. Wanneer de buffer vol zit of wanneer de robot tijd over heeft, zal hij de panelen op een logische manier afstapelen op palletten, zodanig dat deze naar een verder productieproces getransporteerd kunnen worden. De eerste buffer dient om de verschillen in bewerkingstijd tussen de kantenverlijmer en de BHX op te vangen. Omwille van de 4 omlopen (bewerken van de 4 kanten) die op de kantenverlijmer nodig zijn, worden op één moment kortstondig 7 werkstukken aangeleverd. Dit kan de BHX nooit opvolgen. Daarom werd er een kleine buffer voorzien die dit opvangt.

Wanneer de BHX de werkstukken bewerkt heeft dan worden deze in de laatste buffer gestapeld zodat alle werkstukken individueel adresseerbaar zijn. Zodra de eerste stukken uit de gesorteerde lijst klaar zijn worden deze uit de buffer genomen en op de palletten in de juiste volgorde afgestapeld.

Doorheen het ontwerp wordt er rekening gehouden met de veiligheid. Wanneer arbeiders toegang willen tot het werkgebied moet dit veilig zijn.

Graag zou Robberechts ook willen werken met een manuele invoer zodat er eventueel platen manueel ingevoerd kunnen worden in de BHX200 (vnl. zéér kleine platen die niet door de robot gehanteerd kunnen worden). In de tussentijd zou de robot de buffer kunnen ontladen. Op die manier wordt de productiviteit geoptimaliseerd.

Bijkomend moet er een parametrisch robotprogramma geschreven worden voor de afstapel-  
sorteerrouines. Een gevolg hiervan is dat de robotgripper voorzien moet zijn van een sensor om de hoogte van de afstapelposities eenvoudig te bepalen.

## 1.4 Methode

Allereerst analyseren we de data van de cyclustijden van de verschillende onderdelen. Hieruit kunnen we de buffer, grijper, ... dimensioneren. Vervolgens splitsen we de problemen op in kleine deelproblemen en aan de hand daarvan stellen we een morfologisch overzicht op. Uit dit overzicht selecteren we één oplossing per deelprobleem dat we verder uitwerken. Bij elke keuze die we maken houden we rekening met de eisen van het bedrijf en de eventuele beperkingen die nefast zijn voor een optimale werking. Hieruit worden dan 2 concepten bepaald welke we verder uitwerken. Het verschil tussen beide concepten is het ontwerp van de grijper en of er al dan niet een tussentijdse buffer voorzien is in de afvoer.

Van de grijper moet er een ontwerp gemaakt worden. Hiervoor is het belangrijk dat de verschillende componenten worden gedimensioneerd. Allereerst berekenen we de vacuümcomponenten zoals zuignappen, vacuümgeneratoren, ventieleiland etc. Om de geleiding te dimensioneren is het belangrijk dat we het krachtenverloop en de bijkomende doorbuiging in rekening brengen. Deze dienen zo laag mogelijk te zijn zodat de robot de platen nauwkeurig op de desbetreffende locatie kan leggen. De keuze van de grijper beïnvloedt het draagvermogen, snelheid, herhaalbaarheid en de nauwkeurigheid van de robot.

Deze robot zal hoogstwaarschijnlijk van de firma ABB zijn. Deze robots zijn al aanwezig in andere productieprocessen wat maakt dat de nodige knowhow aanwezig is binnen het bedrijf. De robot zal gemonteerd worden op een lineaire geleiding. Hiervoor dient de het bereik van de robot te bepaald te worden net zoals de berekening van de zwaartepunten en inertie van de afzonderlijke assen. Hiervoor wordt er gebruik van Robotstudio ABB. Dit is een programma waarin de robot geïntegreerd wordt in de productiecel zodat alle handelingen gesimuleerd en gecontroleerd worden.

## 2 Data-analyse

De eerste stap tijdens het uitwerken van deze masterproef was het analyseren van de productiegegevens, ook wel de data-analyse genoemd. Hierbij werd de SQL-database doorgrond om een idee te krijgen welke werkstukken Robberechts maakt. Initieel bevatte de database “houtplan” enkel productie gegevens tussen de periode augustus en september 2016, voor de BAZ, BHX en de niet bewerkte onderdelen. De database bevat gegevens omtrent:

- De V.O. nummer (verkooporder)
- Datum van aanmaak en productie
- Artikelcode en omschrijving
- Het aantal kanten die verlijmd moeten worden
- De afmetingen (lengte & breedte)
- BAZ/ BMG programma nummer (met G-codes)<sup>1</sup> → BHX programma
- Starttijd en stoptijd

Uit deze database werden voornamelijk de afmetingen, de cyclustijden en de aantallen geobserveerd. Deze hebben een belang om de volgende stappen uit het proces zo optimaal mogelijk te dimensioneren zodat de cel continu kan werken. De voorziene plaats voor de afstapelposities (buffers) is eindig. Daarom is het bepalen van de grote orde belangrijk.

### 2.1 Productie en cyclustijd

Gedurende het analyseren van de database waren de voornaamste objectieven het bepalen van het aantal afstapelposities en een indicatie van de cyclustijd. Hiervoor werd de database met alle werkstukken opgedeeld in 3 verschillende databases. Binnen de productie worden de platen voor drie doeleindes gebruikt, namelijk de platen die gebruikt worden voor de BHX, BMG<sup>2</sup> en de niet bewerkte platen. Initieel was het de bedoeling om alle platen door te voeren, dus de buffer zou ook de platen van de BMG, zie Figuur 3, moeten kunnen houden die groter kunnen zijn. Naderhand is van dit idee afgeweken en is de buffer enkel bepaald voor de platen die de BHX bewerkt. Deze gegevens zijn zoals weergegeven in Tabel 1 en Tabel 3, vervolgens zijn deze gegevens onderworpen aan enkele eenvoudige statistische testen, zoals het gemiddelde, de mediaan, spreiding, modulus en standaardafwijking.



Figuur 3: BMG Homag

<sup>1</sup> G code: Commando dat gebruikt wordt bij het programmeren van een CNC-programma

<sup>2</sup> Dit is een CNC die de zijkanten van de platen ook kan bewerken. Zoals bv. ovale topbladen

Tabel 1: Productie gegevens augustus

	aantal platen BHX	aantal platen BMG	Niet bewerkt
12/08/2016	22	5	5
16/08/2016	84	14	98
17/08/2016	18	0	65
18/08/2016	49	1	15
19/08/2016	50	0	33
22/08/2016	28	0	6
23/08/2016	343	3	85
24/08/2016	188	10	110
25/08/2016	74	3	61
26/08/2016	64	4	23
29/08/2016	113	10	40
30/08/2016	212	9	50
31/08/2016	175	0	187
<b>Totaal Aug</b>	<b>1420</b>	<b>59</b>	<b>778</b>
<b>Procentueel</b>	<b>62,9%</b>	<b>2,6%</b>	<b>34,5%</b>
<b>Gemiddelde</b>	<b>109</b>	<b>5</b>	<b>60</b>
<b>Spreading</b>	<b>91,7</b>	<b>4,6</b>	<b>49,1</b>

Allereerst worden de gegevens van augustus besproken. Deze beginnen vanaf 12 augustus omdat het bedrijf voordien gesloten was, de BHX zou gedurende de maand augustus maximaal 343 platen moeten bewerken en gemiddeld 109 platen per dag. Voor de maand september zat het gemiddeld aantal platen rond de 116 met een maximum van 236 platen.

De benodigde lengte die er nodig is om het gemiddeld aantal platen te kunnen bufferen wordt als volgt berekend. De gemiddelde hoeveelheid platen in de periode augustus → september keer de gemiddelde plaatlengte tijdens deze periode die door de BHX bewerkt wordt. Dit is de totale afstand die er nodig is maar de buffer zal uit meerdere lagen bestaan. De beschikbare ruimte voor de buffer bedraagt 11,7 meter. Hierdoor zou de ideale buffer bestaan uit ongeveer 15 lagen. Dit houdt geen rekening met het feit dat de platen nooit perfect tegen elkaar liggen. Maar de robot zal stilstaan tijdens het proces waardoor in deze tijd tussentijdse sorteerroutines uitgevoerd worden.

Tabel 2: Data plaatlengte BHX

Lengte platen BHX	
Gemiddelde	1593,47
Mediaan	1600,00
Modus	1800,00
Standaarddeviatie	454,24
Bereik	2616,00
Minimum	388,00
Maximum	3004,00
Aantal	4352,00

Tabel 3: Productiegegevens September

	aantal platen BHX	aantal platen BMG	Niet bewerkt
1/09/2016	266	9	121
2/09/2016	17	15	53
5/09/2016	94	1	181
6/09/2016	121	2	98
7/09/2016	70	6	26
8/09/2016	64	5	28
9/09/2016	184	13	43
12/09/2016	7	1	55
13/09/2016	196	3	117
14/09/2016	214	5	93
15/09/2016	126	33	64
16/09/2016	93	4	49
19/09/2016	61	6	41
20/09/2016	104	0	89
21/09/2016	143	3	104
22/09/2016	229	0	69
23/09/2016	130	1	92
26/09/2016	14	2	71
27/09/2016	37	10	75
28/09/2016	106	1	51
29/09/2016	236	1	51
30/09/2016	39	9	615
<b>Totaal September</b>	<b>2551</b>	<b>130</b>	<b>2186</b>
<b>Procentueel</b>	<b>52,4%</b>	<b>2,7%</b>	<b>44,9%</b>
<b>Gemiddelde</b>	<b>116</b>	<b>6</b>	<b>99</b>
<b>spreiding</b>	<b>75,3</b>	<b>7,2</b>	<b>117,8</b>

Verder is ook de cyclustijd van de kantenverlijmer een belangrijk gegeven. Deze bepaalt of de BHX de platen die uit de kantenverlijmer komen kan bijhouden. De volgende gegevens zijn de belangrijkste parameters:

- Tussen manueel invoeren tot het moment dat de robot de eerste plaat neerlegt 6 minuten en 11 seconden
- Tussen manueel invoeren tot het moment dat de robot de laatste plaat (7<sup>e</sup> plaat) neerlegt 7 minuten en 9 seconden
- Tussen afleggen van 2 topbladen 11 seconde

Door te totale tijd te delen door het aantal bemenen we dat de gemiddelde bewerkingstijd ongeveer 1 minuut bedraagt. De tussentijdse buffer die de kantenverlijmer en de BHX verbindt moet dus minimaal 7 plaatsen hebben.

Deze liggen in de trend van de berekende cyclustijden uit de database.



## 2.2 Besluit

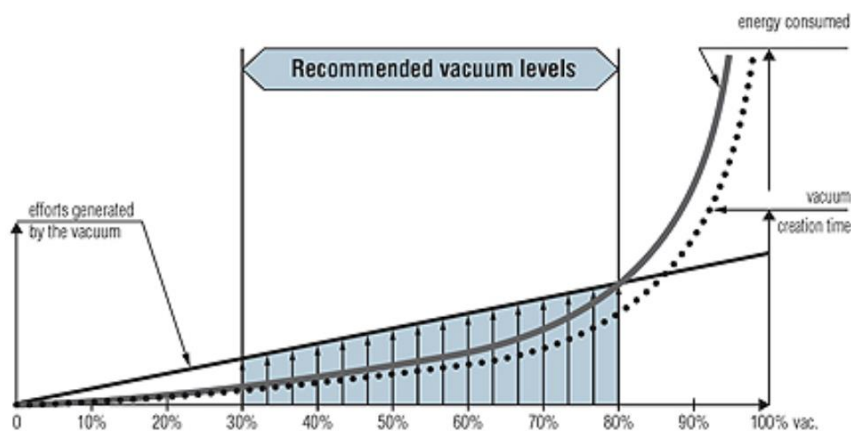
Volgend uit deze data-analyse is er gemiddeld genomen 180 meter rek nodig. Indien er rekening gehouden wordt met de beschikbare ruimte (lengte) zou deze rek 15.3 lagen hoog zijn. Dit is zonder rekening te houden dat de platen in werkelijkheid niet volledig tegen elkaar kunnen liggen. Aangezien de robot niet continu belast wordt is deze ook in staat om tussentijdse sorteerroutines uit te voeren. Deze kunnen wel pas gebeuren wanneer de eerste plaat volgens de ideale montagecyclus aanwezig is in de buffer.

Omwille van de verschillende plaat groottes veranderd de cyclustijd van de kantenverlijmer. Deze verandering wordt opgevangen door een tussentijdse buffer en de rollenbanen. Op aanraden van Homag zou deze buffer tussen de 10 en de 20 plaatsen moeten hebben. Omwille van het feit dat sommige werkstukken grote uitsparingen hebben of aan beiden kanten bewerkt worden. Hierdoor kan de BHX continu blijven werken zonder dat deze last heeft van variatie in cyclustijd.

## 3 Literatuurstudie

### 3.1 vacuümtechnologieën

Vacuümtechnieken zijn vooral bekend vanuit de voedings- en verpakkingsindustrie. Tegenwoordig wordt deze techniek ook regelmatig gebruikt binnen industriële toepassingen. Daar waarbij de gewone grijptechniek geen passend antwoord biedt. Bij vacuümtechnieken wordt er binnen een bepaalde ruimte de gasdruk verlaagd, onder de atmosferische druk. Dit steunt op het principe van Bernoulli (Venturi), waarbij de gasdruk daalt wanneer deze door een vernauwing gestuurd wordt. Om dit te bereiken werden er verschillende vacuümpompen ontwikkeld, ieder met hun voor- en nadelen en werkingsgebieden. Er bestaat namelijk geen enkele pomp die doorheen het gehele vacuümgebied werkt, dit gebied, zie Figuur 4, varieert tussen atmosferisch vacuüm (0 %,  $10^5$  Pa ) en ultrahog vacuüm (100 %,  $10^{-5}$  Pa).



Figuur 4: Vacuüm gebieden [1]

#### 3.1.1 Type vacuümgeneratoren

Het werkingsprincipe van een vacuümpomp is vergelijkbaar met de werking van een compressor waarbij de toepassing niet aan de perszijde maar aan de aanzuigzijde wordt geplaatst. Voor het produceren van vacuüm kan men net zoals bij compressoren gebruik maken van zowel zuigerpompen, centrifugaalpompen, turbines, enz. Vacuümpompen worden hoofdzakelijk gebruikt in toepassingen waarbij grote aanzuigdebieten nodig zijn [2, p. 9].

Het opwekken van vacuüm dient altijd te gebeuren door gebruik te maken van bovenstaande technieken. Een alternatieve economisch manier is het gebruik maken van vacuümgeneratoren die gebruik maken van het venturi principe. Omdat het vacuüm gedurende korte periodes beschikbaar moet zijn is het gebruik van deze vacuümgeneratoren voordeliger. Bovendien is het aansturen hiervan zeer flexibel en snel. Enkele voordelen van vacuümgeneratoren:

- Hoge bereik met een relatief lage volumestroom
- Compact
- Onderhouds- en slijtagevrij
- Snelle vacuüm generatie

Er bestaan verschillende vacuüm generatoren naargelang de sturing en aansluitmogelijkheden valt er te kiezen uit:

- De standaard ejector

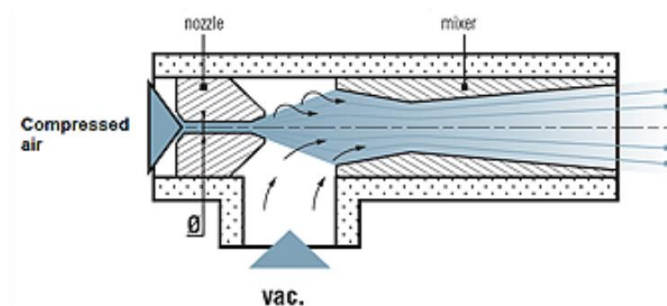
Dit type ejector is robuust en wordt meestal in de stuurkast of rechtstreeks op de machine gemonteerd. Ze zijn uitvoerbaar voor zowel grote als kleine aanzuigdebieten (maximaal 200 l/min). De sturing van deze ejectoren gebeurt zowel pneumatisch of elektro pneumatisch gebeuren



Figuur 5: Standaardvacuümgenerator Festo [2]

- 'inline'-ejectors

Deze vacuümgeneratoren zijn voorzien van een of meerdere 'kamers'. In Figuur 6, is een eentraps vacuümejector weergegeven hierbij wordt aan de vacuümaansluiting een onderdruk opgewerkt doordat de perslucht van links naar rechts stroomt. Een ejector met meervoudige kamers heeft een hogere zuigsnelheid in het lagere vacuüm bereik met dezelfde hoeveelheid perslucht. Het type ejector is afhankelijk van de applicatie hierbij varieert de nominale doorlaat. De montage kan rechtstreeks in de leiding gebeuren en vergt weinig plaats.



Figuur 6: Eentraps ejector venturi principe [1]

### 3.1.2 Zuignappen

Vacuüm zuignappen zijn verkrijgbaar in verschillende afmetingen, vormen en materialen. Deze component vormt de verbinding tussen het werkstuk en het vacuümsysteem en moet aan verschillende voorwaarden voldoen. De keuze van zuignap is enorm belangrijk om de veiligheid van het systeem te garanderen. De meest voorkomende zuignappen kunnen opgesplitst worden in twee groepen namelijk:

- Vlakke zuignappen

Deze zuignappen zijn geschikt voor de handeling van werkstukken met een vlakke of licht gebogen oppervlakte. De vorm heeft als voordeel dat het werkstukken in korte tijden kan grijpen. Deze zuignappen kunnen opgesplitst worden in ronde en ovale zuignappen. Hierbij worden ronde zuignappen voornamelijk gebruikt voor gelaagde objecten en ovale zuignappen voor langwerpige werkstukken [3].

- Balg zuignappen

Deze zuignappen worden gebruikt voor werkstukken waarbij de hoogte van de werkstukken varieert, voor het handelen van objecten met onregelmatige oppervlakken. De toepassingsgebieden van ovale en ronde zuignappen zijn dezelfde als deze bij vlakke zuignappen.

#### **Alternatieve oplossing**

Een nieuwe trend is het gebruik maken van een modulair “Vacuüm area gripper system”, dit systeem bevat alle componenten (ejector, vacuümgenerator en meettoestellen) in één module. De lengte van deze componenten is flexibel aanpasbaar voor iedere applicatie, alleen de hoogte kan negatief zijn in combinatie met een buizenrek. Dit type van grijpsysteem is geschikt voor het handelen van houten platen. Omwille van het gering gewicht is dit type gripper ook geschikt voor robottoepassingen.



Figuur 7: Schmalz SBX vlak grijpersysteem [4]

### 3.1.3 Selecteren van vacuümcomponenten

Voor ieder systeem zijn er enkele parameters die belangrijk zijn namelijk de benodigde onderdruk, aanzuigdebiet en het verbruik. Zowel de onderdruk als het aanzuigdebiet is afhankelijk van het ejectortype en de voedingsdruk. Hierbij dient het verbruik zo laag mogelijk te blijven om zo het energieverbruik te minimaliseren.

Een van de eisen van het ontwerp is dat iedere zuignap individueel aanstuurbaar is. Wanneer dit zou gebeuren met standaard ejectoren zou de kostprijs onnodig oplopen. Tevens zou de montage van deze ejectoren de afmetingen van de grijper (kokers) verhogen wat niet de bedoeling is. Daarom werd er gekozen voor inline ejectoren van Piab, type PiSTAMP. Deze kleine lichtgewicht gedecentraliseerde vacuüm ejectoren zijn ook voorzien van een afblaas functie.



Figuur 8: Vacuüm ejector PiSTAMP Piab [5]

Binnen Robberechts worden voornamelijk ronde zuignappen gebruikt. Omdat deze robuuster zijn en aan de zijkant geen rechthoekig vlak (ovale hebben dit) hebben. Hierdoor kan de werking in alle tijden gegarandeerd onafhankelijk van de oriëntatie. Omwille van de hoogte verschillen en de onderlinge uitlijning tussen de zuignappen werd er gekozen voor ronde balgzuignappen type SAB van Schmalz. Deze zuignappen kunnen zowel horizontaal als verticaal een grote zuigkracht ontwikkelen (wegens de grote frictie-eigenschappen).



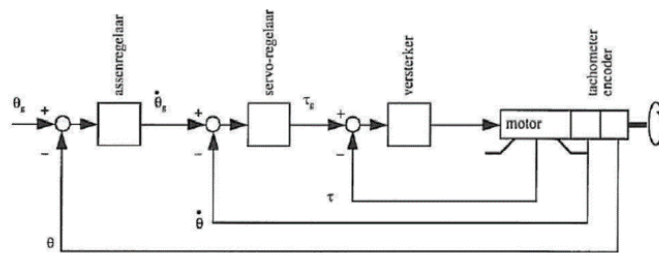
Figuur 9: Zuignappen type SAB Schmalz [3]

### 3.2 Aandrijving geleiding grijper

Het aandrijven van de geleiding dient nauwkeurig te gebeuren. Om deze nauwkeurigheid te realiseren wordt er gebruik gemaakt van een servomotor met een reductiekast. Deze motoren worden gekarakteriseerd door de volgende eigenschappen:

- Klein rotortraagheidsmoment → snelle responsie
- Hoog koppel (in combinatie met reductor)
- Lineaire koppel-toerental karakteristiek
- Gesloten kring (zie Figuur 10)

Omwille van de bovenstaande voordelen en een compacte constructie wordt er voor de aandrijving van de grijper gekozen voor een synchrone motor met permanente magneten (PMSM). Deze zijn gelijkaardig met borstelloze dc motoren (BLDC). De PMSM is geschikt voor toepassingen met een klein tot middelmatig vermogen. Geschikt voor de sturing van de geleiding. De statorwikkelingen worden gevoed door een puls breedte modulatie (PBM) van het 180°-type zoals bij het besturen van een asynchrone motor [5, p. 22.46].



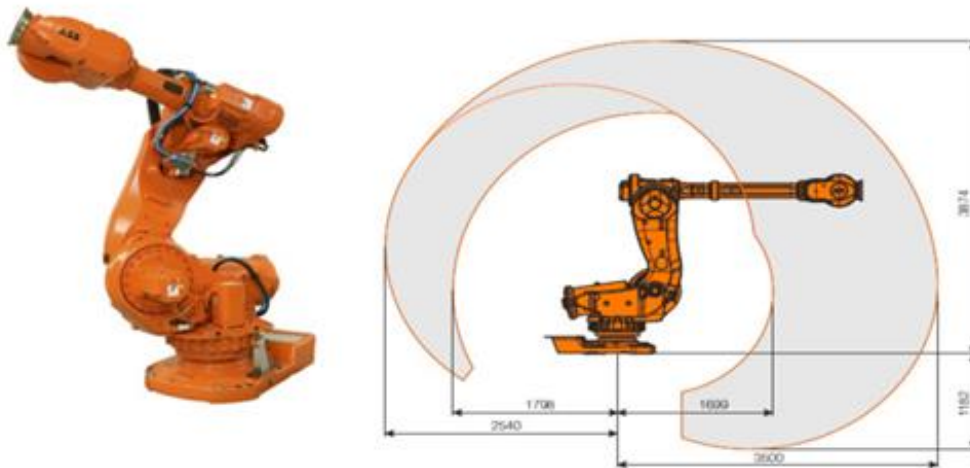
Figuur 10: Gesloten regelkring [6]

### 3.3 Robots en hun periferie

#### 3.3.1 Industriële robots

Industriële robots zijn in de hedendaagse industrie niet meer weg te denken. Ze worden gebruikt om een grote verscheidenheid aan taken uit te voeren. Deze robots worden meestal toegepast waar dat het werk saai, eentonig of gevaarlijk is. Daarnaast biedt een robot ook vele andere voordelen. Zoals het continu werken met dezelfde nauwkeurigheid wat resulteert in een betere procesbeheersing.

Er zijn verschillende types en merken van robots, maar de meest gebruikte is een 6-assige robot zoals weergegeven in onderstaande figuur:



Figuur 11: Werkgebied robot ABB IRB 7600-150/3.5 [7]

De belangrijkste parameters bij het kiezen van een robot is het werkbereik en het maximale hefvermogen dat de robot heeft binnen zijn werkgebied. Dit is de zogenaamde *payload* en *reach* dat ieder type robot karakteriseert. Daarnaast zijn er ook nog andere parameters zoals de maximale snelheid, herhaalbaarheid en de kostprijs van robot die mee de keuze bepalen.

#### 3.3.2 Robotslide

Om het werkbereik van de robot uit te breiden, kan er gebruik gemaakt worden van een *robot slide* of robottrack. Dit wordt veelal toegepast om bijvoorbeeld verschillende machines die een bepaalde afstand uit elkaar staan toch met één enkele robot te kunnen laden en lossen.



Figuur 12: Track motion IRBT7004 [7]

## 3.4 Veiligheid

### 3.4.1 Safe move

Robots zijn tegenwoordig niet meer weg te denken in de hedendaagse industrie. Om ervoor te zorgen dat ze efficiënt zijn moeten ze zeer snel bewegen. Hierdoor vormen ze een groot gevaar voor andere werknemers. Dit kan men oplossen door veiligheidshelmen of veiligheidskooien, welke veel plaats innemen en ervoor zorgen dat mens en robot moeilijk samen kunnen werken.

Naast het verzekeren van de veiligheid, zorgt het systeem ervoor dat mens en robot nauw kunnen samenwerken. Zo zullen er in de robotcel veiligheidssensoren aangebracht moeten worden om de verschillende operatoren te kunnen detecteren. Stel dat nu een operator in de gevarenzone van de robot komt, zal deze gedetecteerd worden en gaat safe move de snelheid van de robot bewaken en verminderen of zelfs tot stilstand brengen. Naast de snelheid van de robot is het ook mogelijk om de positie van de tool te bewaken zodanig dat het mogelijk is om de robot toch in een bepaalde zone te laten werken weg van de operator. Zodra de persoon terug uit de gevarenzone verdwenen is, werkt de robot terug op normale snelheid of kan hij zijn gewone werkroutine opnieuw uitvoeren. Het toepassen van deze veiligheidsoplossing zorgt voor minder stilstand van de robot en een hogere productiviteit [7].

Safe move is ook geïntegreerd in de offline programmeer tool robot studio. Hierin kunnen men gemakkelijk de verschillende veiligheidszones in programmeren en weergeven.

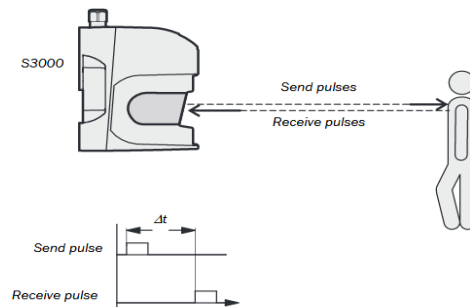
Voordelen van Safe Move:

- Zorgt voor een flexibelere en economischere robotoplossing.
- Ontworpen om mens en uitrusting volledig te beschermen.
- Besparing van bedrijfsruimte
- Maakt interactie tussen robot en operator mogelijk



### 3.4.2 2D sensoren

Naast de traditionele lichtschermen bestaan er ook 2D- sensoren welke gebruikt kunnen worden om het safe move systeem van ABB te realiseren. Deze optische sensoren scannen hun omgeving in 2 dimensies af door gebruik te maken van infrarood laserstralen. De zender zendt een kleine puls van licht uit en op dat moment wordt een tijds klok gestart. Wanneer vervolgens het licht een object bereikt, zal het gereflecteerd worden en terug door de sensor worden ontvangen. Door nu de tijd tussen het zenden en ontvangen te meten kan de sensor de afstand berekenen tussen het object (bijvoorbeeld een persoon) en de sensor. In onderstaande afbeelding wordt dit principe weergegeven:

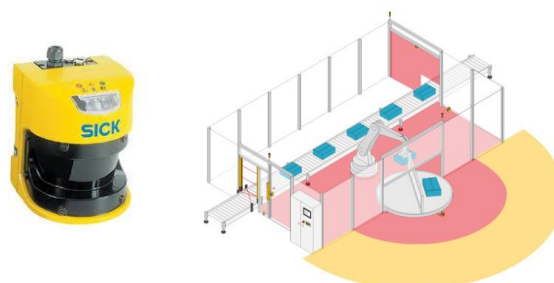


Figuur 13: Principetekening 2D-sensor [9]

Om nu een volledige 2 dimensionale ruimte af te kunnen scannen moeten de lichtgolven in verschillende richtingen uitgestuurd worden. Vandaar dat deze sensoren ook nog voorzien zijn van een spiegel die met een constante snelheid roteert zodanig dat de lichtstralen over een draaicirkel zijn verdeeld. Hierdoor is het mogelijk scanhoeken te verkrijgen tot 270°.

Een groot voordeel van deze sensoren is dat er verschillende scan-gebieden geconfigureerd kunnen worden. Zo kunnen er gevarenczones en waarschuwingszones in verschillende vormen ( circulair, rechthoekig ) geprogrammeerd worden. Wanneer een persoon of object zich dan in die gevarenczone bevindt, zal er een noodstopsignaal gegeven worden waardoor de hele productiecel wordt stilgelegd.

Ook kunnen er in de sensor verschillende waarschuwingszones gedefinieerd worden. Wanneer hier dan een object of persoon gedetecteerd wordt, zal de productiecel niet tot een noodstop gedwongen worden maar dan zal de snelheid en de beweging van de robot bewaakt worden. Dit is het grote verschil met andere beveiligingsystemen zoals schakelmatten, lichtschermen,... waar dat men geen waarschuwingszones heeft [8].



Figuur 14: S3000 2D-sensor met zonebewaking [8]

### 3.4.3 Veiligheidsafstand volgens norm EN ISO 13855

Beveiligingssystemen zoals veiligheidsmatten, lichtschermen,... hebben als doel om objecten of personen te detecteren wanneer zij in de gevarezone terecht komen. Wanneer een persoon of object gedetecteerd wordt dan zullen de veiligheidssystemen een signaal geven en wordt de machine tot stilstand gebracht. Uiteraard heeft iedere machine een bepaalde tijd nodig om tot stilstand te komen. Vandaar dat het dus logisch is dat er een zogenaamde veiligheidsafstand aangehouden moet worden.

Deze veiligheidsafstand is afhankelijk van volgende factoren:

#### De Toenaderingssnelheid of inloopsnelheid:

- Dit is de snelheid waarmee personen of lichaamsdelen van personen de gevarezone betreden
- Deze toenaderingssnelheid wordt volgens de norm 2 m/s genomen bij het ingrijpen waar dat de afstand tot de gevarezone kleiner is dan 0.5m en 1.6 m/s bij het inlopen waar de afstand tot de gevarezone groter is dan 0.5 m

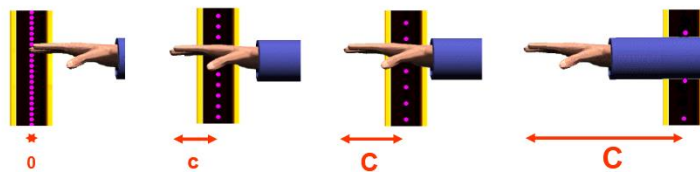
#### De stoptijd:

Dit is de tijd die verstrijkt tussen het detecteren van een persoon of object in de gevarezone tot dat de machine tot stilstand komt en is afhankelijk van de volgende factoren:

- reactietijd van het besturing en beveiligingssysteem
- massa traagheid
- aandrijfkracht ( pneumatisch, elektrisch, hydraulisch, lineaire of rotatie bewegingen )
- mogelijkheid tot remmen

#### Het oplossend vermogen

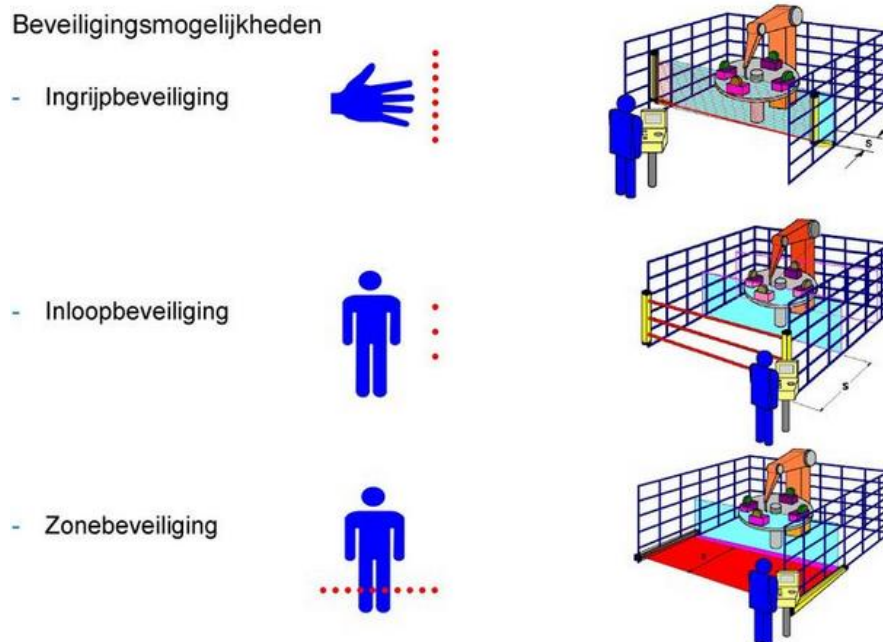
Het oplossend vermogen van een beveiligingssysteem geeft aan met welke zekerheid een object van een bepaalde grootte gedetecteerd wordt. Afhankelijk van het vermogen moet er een bepaald extra afstand in acht genomen worden. Hoe groter het vermogen hoe kleiner de extra veiligheidsafstand. Volgende figuur illustreert dit.



Figuur 15: Oplossend vermogen [9]

## De opstelling

Er zijn verschillende manieren of mogelijkheden om machines en robotcellen te beveiligen. Afhankelijk van het gevaar en de daarmee verbonden risico's worden andere eisen gesteld aan de opstelling van het veiligheidssysteem. Zo worden er 3 verschillende beveiligingsmogelijkheden onderscheiden. Deze staan hieronder geïllustreerd [9]:



Figuur 16: Soorten beveiligingsmogelijkheden [9]

Voor iedere beveiligingsmogelijkheid is er een formule gedefinieerd om de veiligheidsafstand te bepalen. De algemene formule is de volgende:

$$S = K * T + C \quad (1)$$

Hierin is:

- S: De berekende veiligheidsafstand in mm
- K: de toenaderingsnelheid in mm/s
- T: de stoptijd van de machine in seconden
- C: de toeslag in mm (afhankelijk van het oplossend vermogen van het beveiligingssysteem)

Deze formule geeft slechts een indicatie over de veiligheidsafstand. Daarnaast dient men ook te zorgen dat de positionering van de veiligheidssystemen juist gebeurt rekening houdend met de voor afgemaakte risicoanalyse.

### 3.4.4 Veiligheidscomponenten

Om personen en of objecten te beschermen tegen mogelijke gevaren worden regelmatig hekwerken of afschermkappen gebruikt. Het grote nadeel van deze manier van beveiligen is dat deze vaak in de weg staan om bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden uit te voeren. Echter zijn de installatiekosten van deze beveiligingen hoog en bovendien maken ze de machine minder snel toegankelijk. Een oplossing die deze nadelen niet kent zijn bijvoorbeeld lichtschermen en veiligheidsmatten.

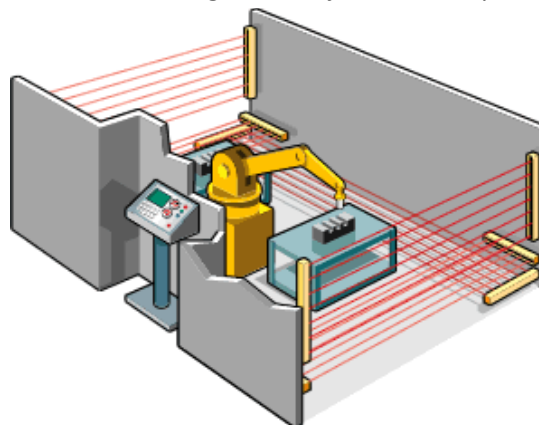
#### **Lichtschermen of lichtgordijnen**

Een lichtschermb beveiliging bestaat meestal uit twee verticaal geplaatste profielen waarvan een deel de zender is en het andere deel de ontvanger. Deze zender en ontvanger worden op een bepaalde afstand tegenover elkaar geplaatst. De zender bestaat uit diodes die continu infrarood licht uitzenden. Ook de ontvanger bestaat uit diodes die het infrarood licht ontvangen. Indien één of meerdere stralen plots onderbroken worden doordat een persoon er door beweegt, treedt het noodstopcircuit in werking en zal de machine afgeschakeld worden.

Om toch gecontroleerd objecten door het lichtschermb door te voeren kunnen er functies toegepast worden zoals bijvoorbeeld *muting*. Hierbij wordt het veiligheidssysteem tijdelijk onderbroken zodanig dat de producten doorgevoerd kunnen worden zonder dat de machine een noodstop maakt.

Hierbij wordt er gebruik gemaakt van mutingsensoren ( naderingsschakelaar, ultrasoon sensoren, tasters, ... ) die het materiaal moeten detecteren. Zeer belangrijk bij muting is dat het veiligheidssysteem niet gemanipuleerd kan worden en dat personen eveneens beschermd blijven.

Naast de voordelen van lichtschermb, zijn er toch ook enkele nadelen. Ieder lichtschermb heeft namelijk een bepaalde afschakeltijd vooraleer een signaal gegeven wordt naar het besturingssysteem. Hierdoor moet men een bepaalde extra veiligheidsafstand in calculeren bij het opstellen van een lichtschermb. Nog een groot nadeel van een lichtschermb is dat deze beveiliging maar 2 toestanden kent, namelijk de normale werking enerzijds en anderzijds de noodtoestand. Bovendien kan er ook niet gedetecteerd worden of er een persoon zich al in de gevarenszone zit. Vandaar dat deze lichtschermb ook minder geschikt zijn om toe te passen met ABB safe move.



Figuur 17: Lichtschermbeveiliging

## Veiligheidsmatten of schakelmatten

Schakelmatten worden gebruikt voor het detecteren van personen of objecten die contact maken met de mat. De detectie gebeurt door lintschakelaars, die zich in de mat bevinden. Deze lintschakelaars zijn in feite twee elektrisch geleidende metalen strippen die ten opzichte van elkaar geïsoleerd zijn. Wanneer er een persoon of object zich op de mat bevindt, zullen de 2 geleiders op elkaar gedrukt worden en zal de detectiestroom die hier door stroomt onderbroken worden waardoor de machine in noodtoestand wordt gebracht.

### **Voordelen van een schakelmat zijn:**

- relatief goedkoop
- lage installatiekosten
- eenvoudige constructie
- meerdere schakelzones mogelijk

### **nadelen van een schakelmat zijn:**

- detectiemogelijkheden zijn beperkt

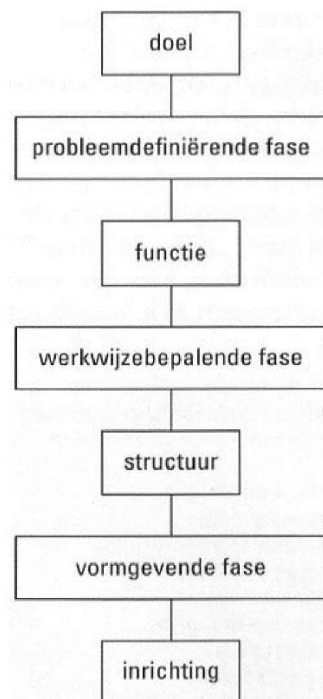


**Figuur 18: Veiligheidsmat**

## 4 Morfologisch overzicht

Bij het ontwerpen van een cel zijn er heel wat aspecten waar de ontwerper rekening mee moet houden. Er zal dus het nodige opzoekwerk moeten gebeuren. Dit hoofdstuk bespreekt de methodiek toegepast op het ontwerp van een cel die de handeling van bureaubladen automatiseert. Deze worden vervolgens in een sorteerbuffer afgestapeld, waarna de platen op de gewenste volgorde afgestapeld worden op palletten. Omdat dit een complex probleem is wordt het opgesplitst in kleinere deelproblemen. Hierdoor blijft ieder deelprobleem steeds te kaderen, waardoor het in een verder stadium mogelijk blijft om een doordachte verantwoorde beslissing te nemen die rekening houdt met alle deelaspecten zodat essentiële zaken niet over het hoofd gezien worden.

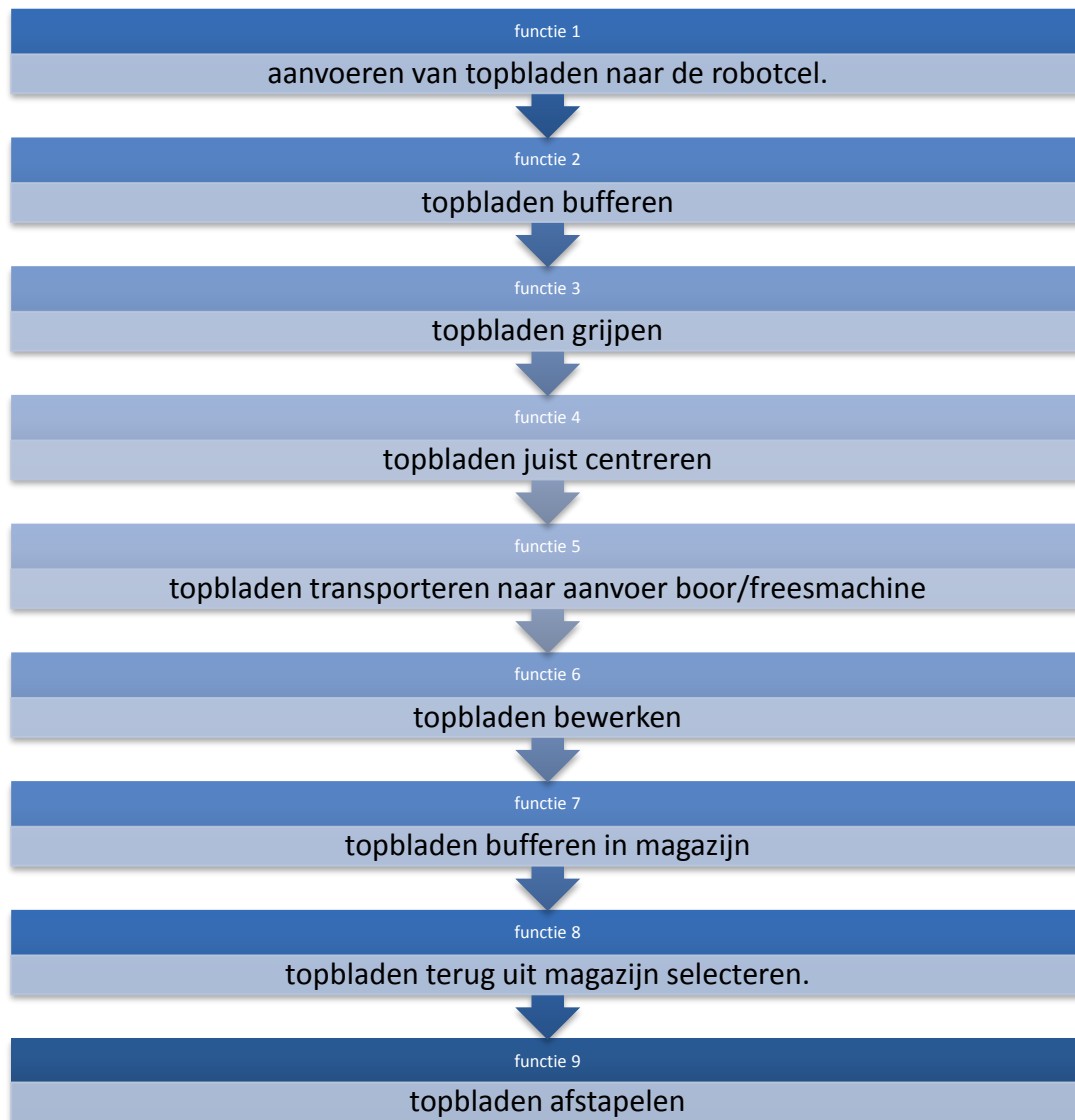
Van ieder deelprobleem werden mogelijke oplossingen voorgesteld. Deze zijn vervolgens samengevoegd in een tabel, een morfologisch overzicht. Uit deze tabel werden nadien concepten geselecteerd. Dit waren in totaal 9 concepten. Aan de hand van een weegtabel werden de verschillende concepten tegen elkaar uitgezet. Hierbij kreeg iedere oplossing een weegfactor variërend tussen 1 en 5.



Figuur 19: Een methodisch ontwerpproces [10]

## 4.1 Functieblokschema

Het ontwerpproces is een keten bestaande uit verschillende activiteiten. Deze vertrekt vanuit een behoefte, functie en structuur die leidt tot een uiteindelijk ontwerp. Dit ontwerp kan pas volledig gerealiseerd worden wanneer alle deelfuncties van de cel duidelijk gedefinieerd zijn. Figuur 20 beschrijft de relatie tussen iedere deelfunctie binnen de cel. Dit overzicht heeft als doel om het inzicht in het proces te verbeteren.




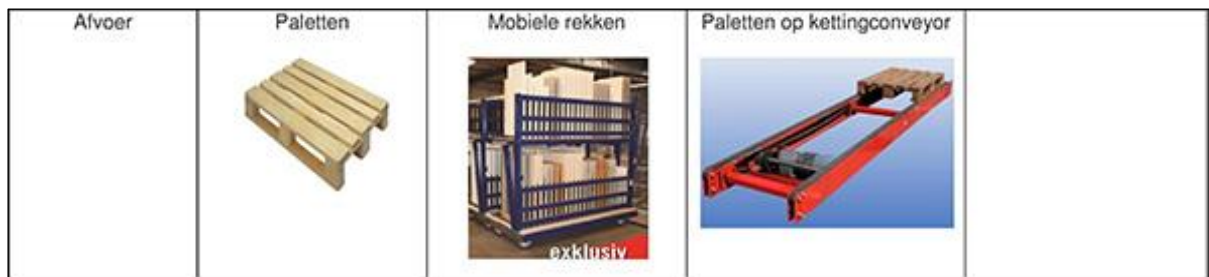
**Figuur 20: Functieblokschema**

Aan de hand van Figuur 20 wordt het morfologisch overzicht opgesteld. Dit overzicht beschrijft voor iedere deelfunctie één of meerdere oplossingen. Deze oplossingen kwamen tijdens een brainstorm sessie tot stand. Hierna werden voor iedere deelfunctie mogelijke oplossingen voorgesteld. Deze worden samengevoegd in het morfologisch overzicht, Figuur 21.

Morfologisch overzicht				
Funcies	Werkwijzen			
Manueel beladen	Manueel met heftoestel 	Robotoplossing: 		
Aantallen:	Aantallen per materiaalsoort	Aantallen per dag		
Type werkstukken	Met BHX bewerkingen	Met en zonder BHX bewerkingen		
Groote werkstukken	Max. afmetingen kantenverlijmer	Max. afmetingen BHX		
Aanvoeren topbladen naar robotcel.	Door paletten: 	Doormiddel van aangedreven rollenbanen / transportband :  	Door paletten op conveyor : 	Transportband met manuele invoer: 
bufferen	Vertikale buffer 	Bufferen in egel 	Buffertoren 	Bufferen door robot BHX 
Productherkenning	Barcodelezer op robot 	Barcodelezer met vaste opstelling 		



Topbladen centreren	door een visie systeem 	Voorrichttafel 	Centreertafel ( gavitair ) 	
Sorteren	Direct op transportmedium	Tussentijdse buffer		
Tussentijdse buffer	Op paletten 	Buizenrek 		
Werkstuk tijdens sorteren Als in verticaal vlak	In verticaal vlak 	In horizontaal vlak 	Combinatie van korte/lange kant onder	
Verwerking	Vaste robot: 	Robot op slide: 	Robot + kraan 	
Topbladen grijpen (Maximale gewicht plaat: 60 kg)	Vacuüm ( centrale / decentrale vacuümpomp 	Grijper 	Vork 	Beide/toolchange
Hekwerk toegang	Poort 	Lichtscherm 	Conveyor met lichtscherm 	Zone controle ( safety eye ) 



Figuur 21: Morfologisch overzicht

## 4.2 Concepten

Vanuit het morfologisch overzicht worden de concepten opgesteld. Dit gebeurt door voor iedere deelfunctie een mogelijke oplossing te kiezen uit het overzicht. Vanzelfsprekend is het ook dat wanneer er gebruik gemaakt wordt van een bepaalde oplossing andere oplossingen voor deelfuncties niet meer toepasbaar zijn. Uit dit morfologisch overzicht volgden negen concepten. Deze worden hieronder besproken.

Het eerste concept weergegeven in Tabel 4 geeft de maximale functionaliteit weer. Er wordt er gebruik gemaakt van combinatie van robot en kraan systeem met een buizenrek. Deze combinatie heeft enkele voordelen, de automatisering is namelijk maximaal en het systeem is flexibel met een lage cyclustijd. Doordat de belading van de BHX en het sorteren gescheiden zijn van elkaar. Hierdoor kan er gebruik gemaakt worden van een kleinere buffer. Tevens is er een manuele invoer voorzien zodat de bladen kleiner dan 500x400 mm ook bewerkt kunnen worden. Het afvoeren gebeurt met behulp van een palletten in combinatie met een ketting conveyor. Het afvoeren van palletten met een ketting conveyor dient meestal te gebeuren d.m.v. een heftruck. Het nadeel van de automatisering is de enorme meerkost ten gevolge van een robot en kraan combinatie en de ketting conveyor . Tevens is een ketting conveyor niet zo eenvoudig op te ruimen als een palletten oplossing.

**Tabel 4: Concept 1 maximale functionaliteit buizenrek**

manueel beladen	manueel met hefstoel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat. soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het tweede concept weergegeven in Tabel 5 geeft de maximale functionaliteit weer. In tegenstelling tot concept 1 wordt hier gebruik gemaakt van palletten voor de tussentijdse buffer. Deze keuze heeft enkele nadelen, zoals het risico dat de bladen verschuiven tijdens het grijpen, een beperktere sortermogelijkheid en een grotere cyclustijd dan concept 1. Het voordeel van dit concept is dat er gebruik gemaakt wordt van één vacuüm gripper die relatief eenvoudig te ontwerpen is. Deze moet namelijk niet tussen de buizenrek om de platen te grijpen maar werkt voornamelijk in het vlak (cf. ontwerp gripper kantenverlijmer). Verder is de kostprijs ook lager omdat een afstapelpositie van palletten goedkoop is en mogelijk verplaatsbaar. Het gebruik van een robot op slide kan de kostprijs drukken (t.o.v. een apart kraansysteem), dit hangt af van het type robot.

**Tabel 5: Concept 2 maximale functionaliteit palletten**

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	gripper	vork	vacuüm+gripper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het derde concept weergegeven in Tabel 6 is een concept waarbij het afstapelen gebeurt op een mobiele rek (karretjes). Hierdoor zijn vrij grote aantallen verwerkbaar maar is de autonomie in mindere mate aanwezig. Omdat de mobiele rekken verwisseld moeten worden. Het manipuleren van de platen gebeurt op twee verschillende manieren (vacuüm +gripper om platen in rek te plaatsen waardoor er twee grippers gebruikt worden. Hierdoor dient er een gereedschapswissel te gebeuren wat een negatieve invloed heeft op de cyclustijden. Ook zou de manier van afstapelen minder ergonomisch zijn voor de montage-afdeling (grote platen uit de rek halen kan voor problemen zorgen). Het gebruik van een gereedschapswisselaar zorgt eveneens voor een belangrijke meerkost. Deze verhoogde kost heeft weinig meerwaarde (t.g.v. montage problemen).

Tabel 6: Concept 3 directe afstapeling op mobiele rekken

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het vierde concept weergegeven in Tabel 4 is een verdere uitwerking van het vorige concept. Deze grijper kan zonder gereedschapswissels alle handelingen uitvoeren. Deze heeft verrijdbare armen, dit om te vermijden dat de reeds afgestapelde platen geraakt worden bij het afleggen. Hierdoor dient er geen gereedschapswissel te gebeuren waardoor de cyclustijd verbeterd wordt. De bladen worden na het verwerken afgestapeld in een buizenrek. Indien de robot geen opdracht uitvoert zal deze een sorteerroutine uitvoeren en de bladen afstapelen in de juiste volgorde op de voorziene palletten. Dit ontwerp heeft als nadeel de hoge kostprijs ten gevolge van de robot op slide, buizenrek en de combinatie grijper.

Tabel 7: Concept 4 de combi-grijper

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het vijfde concept weergegeven in Tabel 8. Dit concept houdt in tegenstelling tot bovenstaande concepten rekening met de verschillende materiaalsoorten. Hierdoor zal de dimensionering van de buffer en de latere sorteerroutines verschillen. De autonomie is in mindere mate aanwezig doordat de mobiele rekken regelmatig verplaatst moeten worden. Door het gebruik van de mobiele rekken dient het wegleggen van de platen op twee verschillende manieren te gebeuren. Hierdoor dient er een gereedschapswissel te gebeuren wat een negatieve invloed heeft op de cyclustijden, maar omdat de aantallen kleiner zijn heeft dit een kleinere impact. Ook zou de manier van afstapelen minder ergonomisch zijn voor de montage-afdeling. Het gebruik van een gereedschapswissel zorgt voor een meerkost.

Tabel 8: Concept 5 vaste robot met kleinere product aantallen

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het zesde concept weergegeven in Tabel 9 geeft de minimale configuratie weer. Bij deze configuratie is de koppeling tussen de kantenverlijmer en de BHX voorrichttafel weggefallen. Hierbij gebeurt het aanvoeren van de bladen door middel van palletten. Dit heeft een negatieve invloed op de autonomie omdat er zowel palletten manueel moeten aangevoerd worden en rekken manueel afgevoerd worden. Ook dienen extra handelingen te gebeuren omdat de palletten verplaatst dienen te worden tussen de afstapelposities bij de kantenverlijmer naar de nieuwe cel. Door het gebruik van de mobiele rekken dienen de platen op twee verschillende manieren gestapeld te worden. Hierdoor dient er een gereedschapswissel te gebeuren wat een negatieve invloed heeft op de cyclustijden, maar omdat de aantallen kleiner zijn heeft dit een kleinere impact. Verder zou de manier van afstapelen minder ergonomisch zijn voor de montage-afdeling. Het gebruik van een gereedschapswissel zorgt voor een meerkost. Het enige voordeel van dit concept is dat het de goedkoopste configuratie is.

Tabel 9: Concept 6 minimale configuratie

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het zevende concept weergegeven in Tabel 10 geeft een configuratie met uitgebreide afstapelposities voor zowel tussentijdse afstapelning als afvoer. Net zoals concept 2 heeft dit enkele nadelen, zoals het risico dat de bladen verschuiven tijdens het grijpen, een beperkte sorteermogelijkheid en een grotere cyclustijd dan concept 1. Het voordeel van dit systeem is dat er gewerkt kan worden met één vacuüm grijper die relatief eenvoudig te ontwerpen is. Deze moet namelijk niet tussen de buizenrek om de platen te grijpen maar werkt voornamelijk in het vlak. Verder is de kostprijs ook lager omdat een afstapelposities van palletten goedkoop is en eventueel verplaatsbaar. Het grote voordeel is dat dit ontwerp een grote autonomie heeft ten gevolge de vele afstapelposities. Maar het uitvoeren van de sorteerroutine vergt meer handelingen van de robot. Omdat er geen 2 verschillende zones (tussenbuffer en afstapelning) zijn zullen de bladen pas gesorteerd worden nadat de palletten van de aanvoer leeggemaakt zijn als aflegzone.

Tabel 10: Concept 7 robot op slide met palletten reeks afstapeling

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

Het achtste concept weergegeven in Tabel 11, is een verbetering van concept 7. Hierbij is de tussentijdse buffer vervangen door een buizenrek. Dit zorgt ervoor dat een snelle uitgebreide sorteeroutine mogelijk is. Deze combinatie zorgt voor een grijper zonder gereedschapswissel. Dit zorgt voor een snellere cyclustijd. Omdat er afgevoerd kan worden op verschillende palletten is dit ontwerp zeer autonoom. Enkel het afvoeren van de gesorteerde palletten dient te gebeuren door een operator. Het enige nadeel is dat door de grote bezetting van de cel de manuele handeling van palletten iets moeilijker is dan bij voorgaande ontwerpen.

Tabel 11: Concept 8 robot slide met buizenrek +palletten

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		



Het negende en laatste concept weergegeven in onderstaande tabel, is een uitbreiding van concept 8. Hierbij wordt de tussentijdse buffer aan beiden kanten voorzien van een buizenrek. Dit zorgt voor een snellere cyclustijd. Omdat er afgevoerd kan worden op verschillende palletten is dit ontwerp zeer autonoom. Enkel het afvoeren van de gesorteerde palletten dient te gebeuren door een operator. De autonomie wordt gehypothekeerd doordat er slechts 1 afstapelposities beschikbaar is. Een ander voordeel is een grote hoeveelheid afstapelposities. Maar deze hoeveelheid is te uitgebreid.

Tabel 12: Concept 9 dubbele uitvoering van de buizenrek

manueel beladen	manueel met heftoestel	robot oplossing			
Aantallen	aantal per materiaalsoort	aantal per dag	combi van meerdere mat.soorten		
Type werkstukken	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
Grootte werkstukken	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
Aanvoer	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
Buffer	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Productherkenning	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Centeren/positioneren	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
sorteren	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
tussentijdse buffer	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Werkstuk tijdens sorteren	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Als in vertikaal vlak	lange kant onder	korte kant onder	combinatie van beide		
Verwerking	robot	robot op slide	robot + kraan		
Gripper	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentral)	grijper	vork	vacuüm+grijper/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Hekwerk/toegang	poort	lichtscherm	conveyor met lichtscherm	zonecontrole ( safety eye )	
Afvoer	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		

### 4.3 Evalueren concepten

Een volgende stap tijdens het ontwerpproces is het maken selecteren van een juiste oplossing aan de hand van het morfologisch overzicht. Hieruit dient er een verantwoorde keuze gemaakt te worden. Deze wordt in detail uitgewerkt, aan de hand van weegfactoren (voorkeuren), zie Tabel 13, werd voor ieder ontwerp een score toegekend. Op basis van deze score, cyclustijd, optimalisatie vervolgproces (montage), doorlooptijd, budget, Autonomie in samenspraak met de directie 2 concepten weerhouden. Namelijk concept 2 en 4, naderhand is er uit praktische overwegingen gekozen om concept 4 uit te werken. Omwille van het feit dat de hoogte van de FXC modules een negatieve invloed heeft op de hoeveelheid afstapelposities in de buffer (doordat de buizen horizontaal verder uit elkaar liggen).

Tabel 13: Weegfactoren

<b>manueel beladen</b>	manueel met hefstoel	robot oplossing			
waarde:	3	5			
<b>Aantallen</b>	aantal per materiaalsoort	aantal per dag			
waarde:	3	5			
<b>Type werkstukken</b>	met BHX bewerkingen	met én zonder BHX bewerkingen			
waarde:	3	5			
<b>Grootte werkstukken</b>	max afmetingen kantenlijmer	max afmetingen BHX			
waarde:	3	5			
<b>Aanvoer</b>	palletten	palletten op kettingconveyor	gekoppeld via transportband	transportband met manuele invoer	
waarde:	1	2	4	5	
<b>Buffer</b>	Vertikale buffer	egel	robot van BHX		
Waarde:	5	1	3		
<b>Productherkenning</b>	barcodelezer vast opgesteld	barcodelezer op robot			
Waarde:	3	2			
<b>Centeren/positioneren</b>	Voorrichttafel	Centreertafel ( gravitair )	Visie-systeem		
Waarde:	5	3	1		
<b>sorteren</b>	direct op transportmedium	tussentijdse buffer			
Waarde:	2	4			
<b>tussentijdse buffer</b>	op palletten	buizenrek	dubbel buizenrek		
Waarde:	2	4	5		
<b>Werkstuk tijdens sorteren</b>	in vertikaal vlak	in horizontaal vlak			
Waarde:	3	5			
<b>Verwerking</b>	robot	robot op slide	robot + kraan		
Waarde:	2	4	5		
<b>Gripper</b>	vacuüm (zuignappen/FXC/centrale vs decentrale pomp)	grijper	vork	beide/toolchange	combi-vork + cups + servomotor
Waarde:	3	1	2	2	5
<b>Afvoer</b>	palletten	rekken	palletten met kettingconveyor		
Waarde:	4	1	3		

Voor bepaalde afwegingen zijn de verschillen tussen mogelijke deelfuncties tegen elkaar uitgezet dit zijn de belangrijkste verschillen:

Tabel 14: Onderlinge vergelijkingen oplossingen deelfuncties

Pro	Contra
<b>automatisch beladen vs. manueel</b>	
besparing arbeidskrachten verhoogde autonomie	duurdere oplossing
<b>palletten vs. tussentijdse buffer</b>	
goedkoper gemakkelijker aanpasbaar neemt minder plaats in	sorteren moeilijk bij verschillende klanten positionering van palletten moet juist zijn driften van platen tijdens sorteren
<b>Verwerken robot op slide t.o.v. robot + kraan</b>	
goedkoper makkelijker aan te sturen compact	lange slide nodig beperkt in lengte → moeilijkere uitbreiding
<b>afstapelen op palletten met ketting conveyor t.o.v. afstapelen op palletten</b>	
betere autonomie veiliger palletten zijn eenvoudiger te lokaliseren door robot	veel duurder heftruck nodig voor afvoer

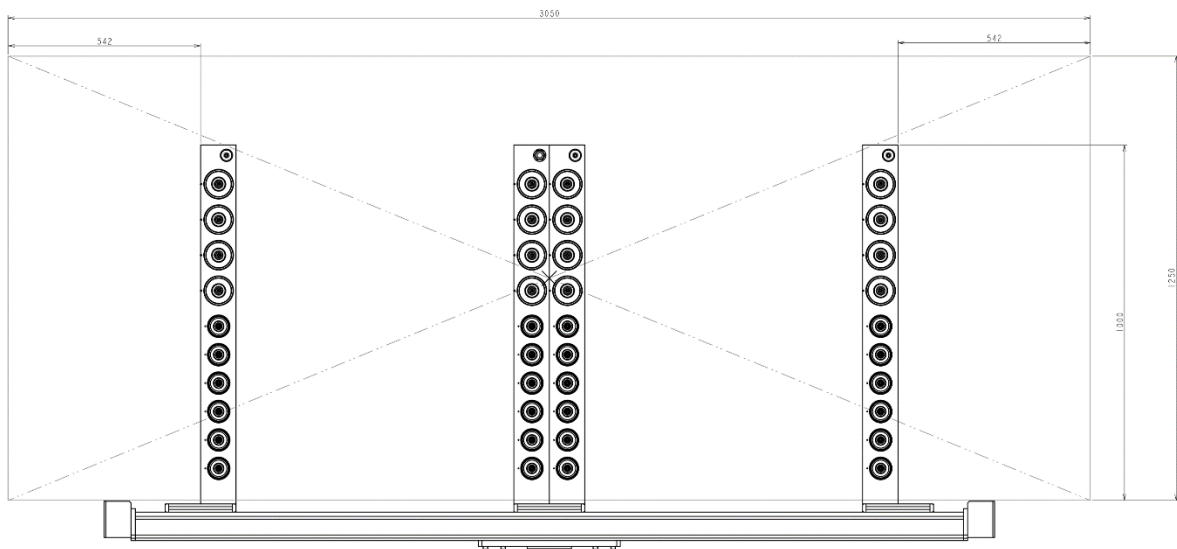


## 5 Mechanisch ontwerp

### 5.1 Ontwerp grijper

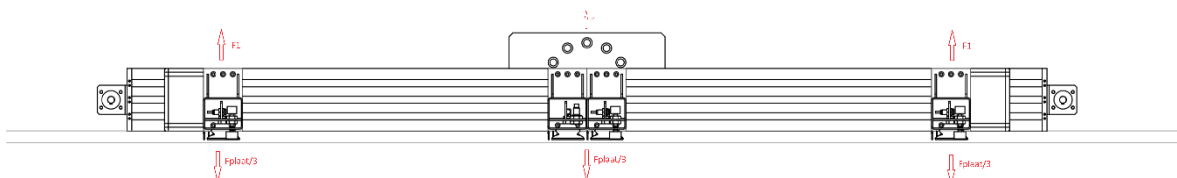
De dimensionering van de grijper gebeurt op de grootste platen. Deze zijn 3050 x 1250 x 30 mm en hebben een massadichtheid van +/- 650 kg/m<sup>3</sup>. Hiermee wordt de maximale massa berekend:

$$\begin{aligned} m_{\text{plaat}} &= l \cdot b \cdot h \cdot \rho & (2) \\ &= 3,050 \cdot 1,250 \cdot 0,03 \cdot 650 \\ &= 74,35 \text{ kg} \end{aligned}$$



Figuur 22: Onderaanzicht Grijper

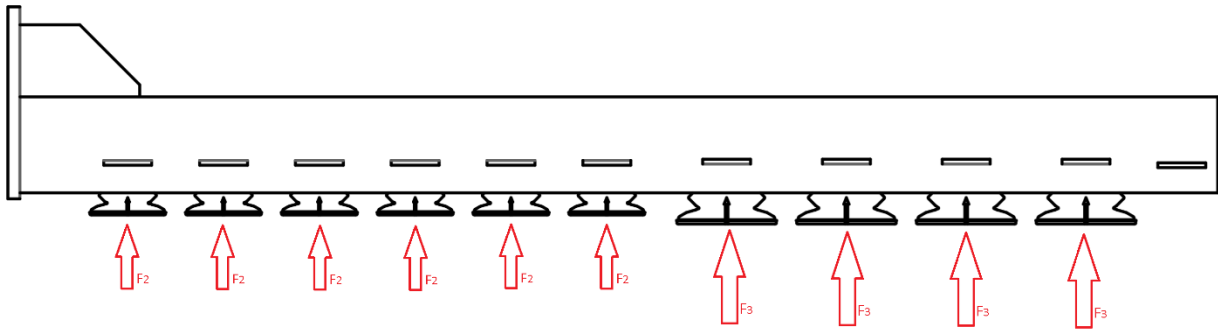
Vervolgens wordt de kracht van de plaat verdeeld over de 3 armen, weergegeven in Figuur 23. Hierdoor ontstaat er een extra veiligheidsfactor. Doordat er in de praktijk 4 armen aanwezig zijn is dit systeem 'overgedimensioneerd'. Hierdoor kan de zuigkracht gegarandeerd blijven wanneer er platen zijn met uitsparingen, kamers etc. Omdat er mogelijk lokaal "valse lucht" aangezogen wordt. Dit zou leiden tot een verlies in zuigkracht waardoor de plaat kan lossen. Dit moet ten alle tijden vermeden worden.



Figuur 23: Vooraanzicht grijper

Omdat er een grote variatie zit in de grootte van de bladen en de bladen groter zijn dan de armen van de grijper (steken over) werd er beslist om te werken met verschillende zuignapdiameters. Hierdoor is de grijper in staat om een grotere verscheidenheid aan platen te manipuleren. Dit werd gerealiseerd door gebruik te maken van kleine zuignappen vooraan en grote zuignappen aan de uiteindes.

Bij de berekeningen werden de overeenkomstige krachten vereenvoudigd, zodat iedere kleine/ grote zuignap equivalente kracht levert, weergegeven op Figuur 24.



Figuur 24: Zijaanzicht arm

Als zuignap werd er gekozen voor balg-zuignappen. Deze worden voornamelijk gebruikt om de hoogteverschillen van de werkstukken t.o.v. de stand van de robot te compenseren. Verder werd er gekozen voor ronde zuignappen i.p.v. ovale zuignappen. Dit omdat deze robuuster zijn en omdat er een continue werking gegarandeerd wordt in tegenstelling tot ovale zuignappen.

Om de krachten uit te rekenen worden de evenwichtsvergelijkingen in een vlak toegepast:

$$\begin{cases} \sum F_x = m \cdot a_x \\ \sum F_y = m \cdot a_y \\ \sum M_i = I_g \cdot \alpha + m \cdot a_y \cdot \bar{x} + m \cdot a_x \cdot \bar{y} \end{cases} \quad (3)$$

Het aantal kleine en grote zuignappen en de afstanden kwam iteratief tot stand. De lengte van de arm dient overigens zo kort mogelijk te zijn i.v.m. afstapelen op palletten en omdat de massa van de arm een zéér belangrijke rol speelt binnen het ontwerp. Uiteindelijk werd er besloten om gebruik te maken van 6 kleinere zuignappen met een diameter van 60 mm en 4 grotere zuignappen met een diameter van 80 mm. Hierdoor werd ook de tussenliggende afstand bepaald namelijk 80 mm voor de kleinere zuignappen en 100 mm voor de grotere zuignappen. Invullen van deze waarden in de evenwichtsvergelijking geeft:

$$\begin{cases} F_x = 0 \\ 6 \cdot F_2 + 4 \cdot F_3 - \frac{m_{plaat}}{3} \cdot g = \frac{m_{plaat}}{3} \cdot a_y \\ F_2 \cdot \sum_{n=1}^6 (0,093 + (n-1) \cdot 0,08) + F_3 \cdot \sum_{n=7}^{10} (0,093 + 0,1 \cdot (n-6) + (6-1) \cdot 0,08) - \frac{m_{plaat}}{3} \cdot g \cdot 0,625 = 0,625 \cdot \frac{m_{plaat}}{3} \cdot a_y \end{cases}$$

Waarbij :

- F2 de kracht per kleine zuignap diameter 60 mm
- F3 de kracht per grote zuignap diameter 80 mm

Het oplossen van dit stelsel geeft de volgende oplossingen: F2 = 15,6 N, F3= 117,2 N en de lengte tot het laatste aanhechtingsvlak is 890 mm.

In

Tabel 15 staan de technische specificaties van de gebruikte zuignappen. De kleine zuignappen worden uitgerust met de SAB60 en de grote worden uitgerust met de SAB 80. Deze kunnen de benodigde krachten ruimschoots leveren.

**Tabel 15: Technische specificaties SAB suction Cups**

	Suction force (N)	Lateral force (N)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Rec.int.hose diam (mm)	Suction rate (m <sup>3</sup> /h)	Suction rate (l/min)
SAB 60 NBR-60	82	82	28,8	6	0,5	8,33
SAB 80 NBR-60	135	145	67,6	6	1	16,67

### 5.1.1 Doorbuiging van de Arm

De berekening van de doorbuiging en de bijbehorende spanningen zijn de belangrijkste berekeningen binnen het grijperontwerp. Deze zijn zowel analytisch als met een FEM analyse gecontroleerd. Het is belangrijk om te weten hoe ver de arm doorbuigt en of de spanning onder de toegelaten spanning blijft. Deze doorbuiging bepaalt vervolgens de verticale tussenafstand van de buizen in de buffer. Hierbij wordt verder nog een veiligheidsmarge opgeteld zodat de grijper minimaal kan bewegen tussen de verschillende afstapelposities.

De doorbuiging werd berekend aan de hand van een singulariteitfunctie. Deze functies worden gebruikt voor het beschrijven van de plaats van puntbelasting of buigmomenten die op een balk of een as werken [7].

De arm wordt geconstrueerd uit AL 6060 T6. Dit is een aluminium-magnesium-silicium legering, omwille van de legeringselementen is dit materiaal in leveringstoestand goed te verspanen. Verder heeft het materiaal een uitstekende weerstand tegen corrosie en een goede lasbaarheid.

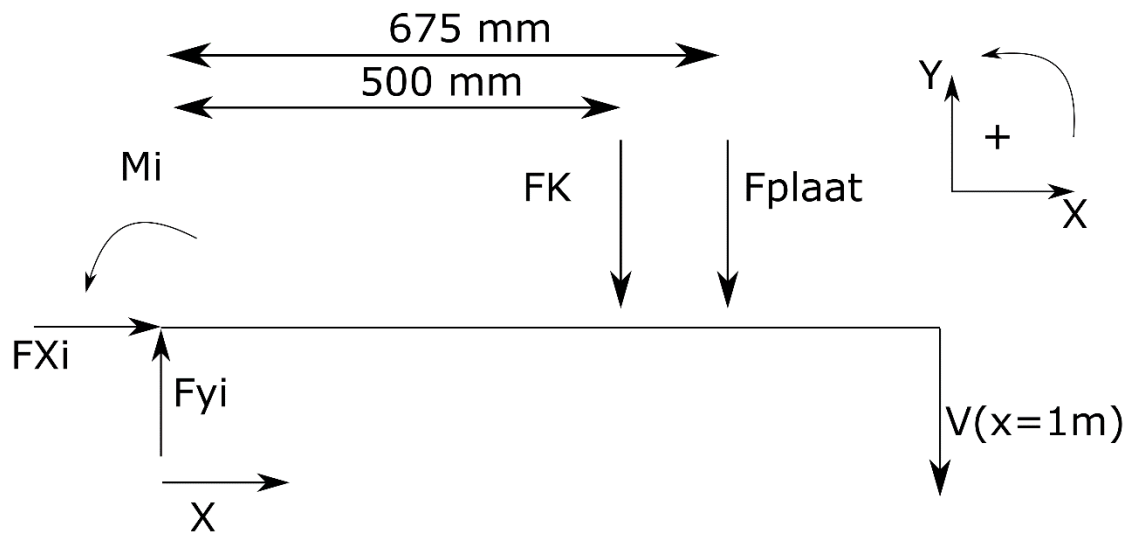
#### Mechanical properties

Young's modulus	ⓘ	69,5	-	73	GPa
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	204	-	226	MPa
Tensile strength	ⓘ	233	-	257	MPa
Elongation	ⓘ	11,1	-	12,9	% strain
Compressive strength	ⓘ	* 204	-	226	MPa
Flexural modulus	ⓘ	* 69,5	-	73	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	ⓘ	204	-	226	MPa
Shear modulus	ⓘ	25	-	27	GPa
Bulk modulus	ⓘ	65	-	71	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	0,325	-	0,335	

**Figuur 25: Mechanische eigenschappen AL 6060 T6**

### Analytische berekening arm

Om een duidelijk beeld te krijgen van de optredende krachten wordt er gebruikt gemaakt van een vrijlichaamsschema (VLS). De krachten waarmee rekening gehouden wordt is het eigengewicht van de arm en de kracht ten gevolge van de plaat. Deze zijn weergegeven in onderstaande tekening.



Figuur 26: VLS arm

Binnen de sterkteleer wordt er meestal uitgegaan van een statische toestand. Toegepast op de evenwichtsvergelijkingen binnen een vlak geeft dit de volgende vergelijkingen:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_z = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Opstellen van de vergelijkingen a.d.h.v. Figuur 26:

$$\begin{cases} F_{xi} = 0 \\ F_{yi} = F_k + F_{plaat} \\ Mi = F_k \cdot 0,5 + F_{plaat} \cdot 0,675 \end{cases}$$

Gebruik maken van de formules voor doorbuiging bij balken en assen:

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = M(x) \quad (5)$$

$$M = -Mi \cdot (x - 0)^0 + F_{ri} \cdot (x - 0)^1 - F_k \cdot (x - 0,5)^1 - F_{plaat} \cdot (x - 0,65)^1$$

Beide leden gelijkstellen:

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = -M_i \cdot \langle x - 0 \rangle^0 + F_{yi} \cdot \langle x - 0 \rangle^1 - F_k \cdot \langle x - 0,5 \rangle^1 - F_{plaat} \cdot \langle x - 0,65 \rangle^1$$

integreren van beiden leden:

$$E \cdot I \int \frac{d^2 v}{dx^2} \cdot dx = -M_i \int \langle x - 0 \rangle^0 \cdot dx + F_{yi} \int \langle x - 0 \rangle^1 \cdot dx - F_k \int \langle x - 0,5 \rangle^1 \cdot dx - F_{plaat} \int \langle x - 0,65 \rangle^1 \cdot dx$$

Hieruit volgt:

$$E \cdot I \cdot \frac{dv}{dx} = -M_i \cdot \langle x - 0 \rangle^1 + \frac{F_{yi}}{2} \cdot \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{F_k}{2} \cdot \langle x - 0,5 \rangle^2 - \frac{F_{plaat}}{2} \cdot \langle x - 0,675 \rangle^2 + C_1$$

Integreren van beide leden:

$$E \cdot I \int \frac{dv}{dx} \cdot dx = -M_i \int \langle x - 0 \rangle^1 \cdot dx + \frac{F_{yi}}{2} \int \langle x - 0 \rangle^2 \cdot dx - \frac{F_k}{2} \int \langle x - 0,5 \rangle^2 \cdot dx - \frac{F_{plaat}}{2} \int \langle x - 0,675 \rangle^2 \cdot dx + \int C_1 \cdot dx$$

Hieruit volgt:

$$E \cdot I \cdot v = -\frac{M_i}{2} \cdot \langle x - 0 \rangle^2 + \frac{F_{yi}}{6} \cdot \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{F_k}{6} \cdot \langle x - 0,5 \rangle^3 - \frac{F_{plaat}}{6} \cdot \langle x - 0,675 \rangle^3 + C_1 \cdot x + C_2$$

Bepalen van de integratie constante 's d.m.v. invullen randvoorwaardes:

**1<sup>e</sup> randvoorwaarde, de hoek die de elastische lijn maakt aan de inklemming is gelijk aan nul:**

$$\left. \frac{dv}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (6)$$

**2<sup>e</sup> randvoorwaarde, de doorbuiging van de elastische lijn is aan de inklemming gelijk aan nul:**

$$v|_{x=0} = 0 \quad (7)$$

Bestaansvoorwaarden discontinuïteitsfuncties:

$$\langle x - a \rangle^n = \begin{cases} 0 & \forall x < a \\ (x - a)^n & \forall x \geq a \end{cases} \quad (8)$$

$$n \geq 0$$

Dit toepassen geeft:

$$E \cdot I \cdot 0 = -M_i \cdot (x - 0)^1 + \frac{F_{yi}}{2} \cdot (x - 0)^2 + C_1 \Big|_{x=0}$$

Hieruit volgt  $\rightarrow C_1=0$

$$E \cdot I \cdot 0 = -\frac{M_i}{2} \cdot (x - 0)^2 + \frac{F_{yi}}{6} \cdot (x - 0)^3 + C_2 \Big|_{x=0}$$

Hieruit volgt  $\rightarrow C_2=0$



Dit invullen in de doorbuiging van de elastische lijn geeft:

$$v = \frac{1}{69,5 \cdot 10^9 \cdot 1,913 \cdot 10^{-6}} \cdot \left( -\frac{416,96}{2} \cdot (1-0)^2 + \frac{637,07}{6} \cdot (1-0)^3 - \frac{74,768}{6} \cdot (1-0,5)^3 - \frac{637}{6} \cdot (1-0,675)^3 \right) \cdot 10^3$$

De doorbuiging van de arm op het uiteinde bedraagt - **0,80 mm**.<sup>3</sup>

### **Controle op toegelaten spanning**

Een andere berekening die er moet gebeuren is een controle op de optredende belasting. De arm wordt blootgesteld aan een buigbelasting. Deze belasting is het maximaal ter hoogte van de inklemming, aan de hand van onderstaande formule:

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot y}{I} \quad (9)$$

De afstand y is de afstand t.o.v. de buitenste lijn. Aangezien er gebruik gemaakt wordt van een koker 100 x 80 mm, is deze afstand 40 mm.

$$= \frac{416,96 \cdot 10^3 \cdot 40}{1,913 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_b = 8,77 \frac{N}{mm^2}$$

$$\bar{\sigma}_t = 0,7 \cdot c \cdot \bar{\sigma}_{vl}$$

Hierbij is c een factor die afhangt van de het belastingsgeval. De arm wordt blootgesteld aan wisselende belastingen → c=1/3

$$\bar{\sigma}_t = 0,7 \cdot \frac{1}{3} \cdot 204$$

$$\bar{\sigma}_t = 47,6 \frac{N}{mm^2}$$

De spanning ten gevolge van het buigmoment is kleiner dan de toegelaten spanning. Waardoor de arm vervaardigd kan worden uit het voorgeschreven materiaal, AL 6060 T6.

---

<sup>3</sup> Het min teken wijst dat de doorbuiging naar beneden ligt ten gevolge van de tekenconventie.

## FEM Analyse arm

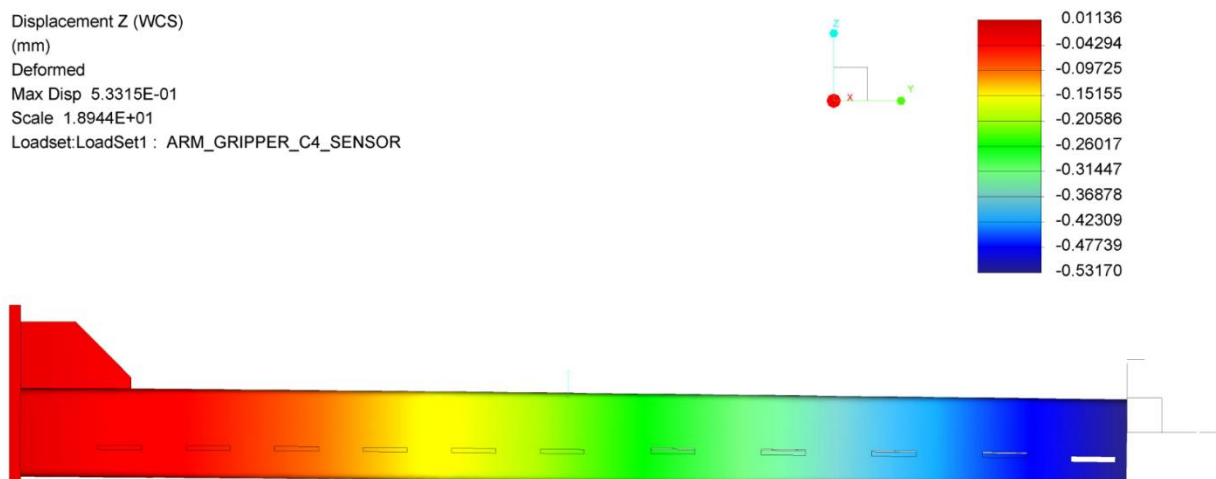
Om de analytische berekeningen op de doorbuiging te controleren en een beeld te krijgen van het spanningsverloop binnen de arm werd er een FEM analyse toegepast. Deze berekeningen werden uitgevoerd met Creo Simulate.

Bij deze analyse zal het volledig model meenemen zonder vereenvoudigingen, zoals bij de analytische berekening. Zo kan er rekening gehouden worden met het aanhechtingsvlak van de zuignappen. Om zo een realistischer beeld te krijgen van het spanningsverloop Deze berekening gebeurde met de meest kritische belasting, hierbij levert iedere kleine zuignap 82 N en iedere grote zuignap 135 N.

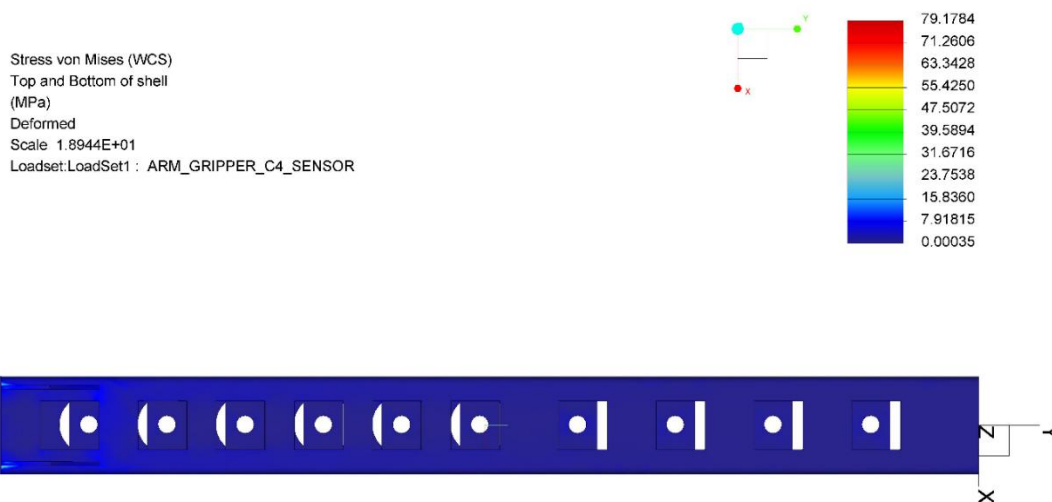
Verder werd er ook rekening gehouden dat door de aangebrachte boringen (t.g.v. verschillende zuignap diameter) het oppervlakte traagheidsmoment niet constant is, maar verandert in de lengte richting van de koker.

Allereerst werd de doorbuiging geanalyseerd van de arm op Figuur 27. Hierbij valt te bemerken dat de maximale doorbuiging zich bevindt op het uiteinde, wat vanzelfsprekend is.

De doorbuiging bedraagt maximaal 0.53 mm. Deze doorbuiging is relatief klein en valt te verwaarlozen te in vergelijking met de doorbuiging ten gevolge de robot zelf. Hierbij valt er ook op te merken dat de doorbuiging kleiner is dan de analytische berekening dit heeft te maken met het feit dat hier de veranderlijke doorsnede meegenomen wordt.



Figuur 27: Doorbuiging arm wanddikte 4 mm



**Figuur 28: Spanningsverloop arm wanddikte 4mm**

Figuur 28 stelt het spanningsverloop doorheen de arm voor. De grootste spanningen treden hier op aan de inklemming, omdat hier het moment ten gevolge van de buigbelasting maximaal is. De spanning aan de inklemming benadert de analytisch berekende spanning. Verder valt er ook te bemerken dat er spanningspieken aanwezig zijn tot  $80 \text{ N/mm}^2$ .

Omdat er in het model geen afrondingen aanwezig zijn staan enkele componenten loodrecht op elkaar. Deze overgang vormt een lijn contact, dit maakt dat de oppervlakte gelijk is aan 0 (van het contact). Hierdoor loopt de spanning er enorm op wat een foute benadering is. In werkelijkheid is deze overgang voorzien van een lasnaad. Hierdoor kan de spanning wegvloeien en zal deze nooit zulke waardes bereiken.

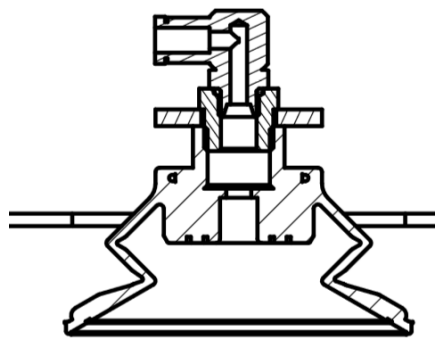
## 5.1.2 Dimensionering vacuüm

Het dimensioneren van een vacuümsysteem gebeurt in verschillende stappen. Ten eerste dienen de krachten berekend te worden. Vervolgens kan aan de hand van deze krachten en de technische specificaties, omgevingsomstandigheden etc. de juiste zuignap gekozen worden. Hierna wordt de juiste montagemanier van de zuignappen bepaald. Daarnaast dient de juiste slang gekozen te worden in functie van het benodigde debiet. Wanneer voorgaande eigenschappen bepaald zijn kan afhankelijk van de grootte van het vacuüm en de debieten een juiste vacuümgenerator gekozen worden. Verder dient er een keuze gemaakt te worden voor de ventielen zodat het vacuüm op het juiste moment naar de verbruiker gestuurd wordt. Als allerlaatste worden de sensoren gekozen. Deze zijn belangrijk om te weten of het vacuüm wel diep genoeg is zodat het systeem veilig kan werken.



Figuur 29: Werkwijze dimensionering vacuüm

Tabel 15 werden de zuignappen geselecteerd. Deze werden later controleert of ze de benodigde krachten konden leveren, dit bleek het geval. De volgende stap in de werkwijze is het juist monteren van de zuignappen. Deze worden gemonteerd zoals weergegeven in Figuur 30. Deze worden doormiddel van een schroefverbinding geklemd, met reductie in schroefdraad grootte. Zodat hierop vervolgens een haakse koppeling gemonteerd wordt die voorzien is van een push-in koppeling. Hierop kan later eenvoudig een slang op worden aangesloten.



Figuur 30: Montage Zuignappen

Vervolgens dient de juiste slang gekozen te worden, volgens de fabrikant, zie

Tabel 15, een slang met buitendiameter 6 mm geschikt voor dit type zuignap. We kiezen dus ook voor de “VSL 6-4 PE” deze heeft een kleine buigradius in vergelijking met andere leidingen wat zorgt voor een eenvoudigere montage binnen de arm.

De vacuümgeneratie kan op verschillende manieren geschieden. De verschillende methodes worden uitgelegd in de literatuurstudie, zie pg 24. Binnen het ontwerp waarbij er verschillende platen gemanipuleerd worden is niet iedere zuignap noodzakelijk bekrachtigd. Om deze energiekost te reduceren werd er gekozen voor een individuele vacuüm generatie. Deze heeft in tegenstelling tot andere manieren dat wanneer er valse lucht gezogen wordt het vacuüm de andere zuignappen niet beïnvloed worden. Verder is dit ook goedkoper om te vervangen bij defecten. Deze zijn ook voorzien van een afblaas functie. Dit is om te zorgen dat de platen niet blijven 'kleven' aan de zuignap wanneer deze afgestapeld worden. Tabel geeft weer dat het debiet dat de vacuümejector ruim voldoet voor beide zuignappen.

Om deze vacuümejectoren aan te sturen wordt er gebruik gemaakt van een ventieleiland. Dit zou initieel op de grijper geplaatst worden, maar is verplaatst naar arm 3 op de robot, om het maximale gewicht van de grijper te reduceren. Dit heeft enkele consequenties, de 'evacuatie-tijd' is trager en een lichtelijk verhoogde energiekost. Deze is niet kritisch in het systeem en zorgt niet direct voor grote problemen. Enkel zouden er problemen optreden wanneer bij een defect aan de slang deze volledig opnieuw getrokken moet worden. Dit is nadelig t.o.v. montage rechtstreeks op de grijper. Een ander nadeel van montage van het ventieleiland op arm 3 van de robot is dat er een groot aantal slangen van de robot naar de grijper geleid moeten worden. Dit is lastiger dan één dikkere slang.

Tabel 16: Eigenschappen vacuümejector

Verbruik	0,64	0,68	40,51
5 bar voedingsdruk			
Vacuüm level	flow (Nl/s )	flow(l/s)	flow( l/min )
0	0,62	0,65	39,24
-10	0,56	0,66	39,33
-20	0,48	0,63	37,85
-30	0,38	0,57	34,17
-40	0,26	0,45	27,19
-50	0,14	0,29	17,49
<b>-60</b>	<b>0,06</b>	<b>0,16</b>	<b>9,31</b>
-70	0,02	0,07	4,09
-80	0,004	g	1,20

De keuze van het ventieleiland gebeurde in samenspraak met Festo. Omdat het ventieleiland gemonteerd wordt op de robot is er gekozen voor een solide, stijve basisplaat. De aansturing van iedere vacuümejectoren dient individueel te gebeuren. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van een 3/2 normaal gesloten ventiel voorzien van een 6 mm push-in koppeling. Doordat het debiet dat nodig is te analyseren, Tabel 16, werd er gekozen voor een "VTUG-10". Hierbij staat de 10 voor de breedte van het ventiel, zie Figuur 31. Deze kunnen ook de nodige debieten leveren tussen de 130 en de 330 l/min, ruimschoots voldoende voor het voeden van de vacuüm ejectoren.

## Valve terminals VTUG with multi-pin plug and fieldbus connection




FESTO

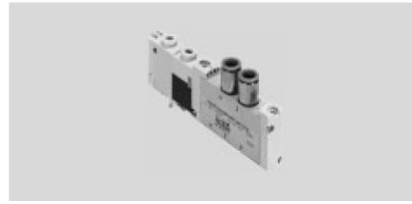
Technical data – Semi in-line valves M5/M7

### Function

2x 3/2C, 2x 3/2U, 2x 3/2H  
5/2-way, single solenoid  
5/2-way, double solenoid  
5/3C, 5/3U, 5/3E

Circuit symbol → Page 13

	Valve size 10 mm
	Flow rate 130 ... 330 l/min
	Voltage 24 V DC



Figuur 31:VTUG ventiel 10

Ten slotte is het belangrijk om te meten of het vacuüm op de desbetreffende ejector wel bereikt wordt. Dit geeft een snelle indicatie wanneer er fouten optreden. Deze parameters kunnen opgenomen in het robotprogramma om de veiligheid te garanderen. Deze vacuümmeting gebeurt direct op de daartoe voorziene aansluiting op de vacuüm ejector. Dit gebeurt door een vacuüm type SPTE omdat deze voorzien is van:

- 0-10 V signaal (De afstand is redelijk klein → kleine verwaarloosbare spanningsval over kabel)
- -1 .. 0 bar bereik (De meting werkt enkel in het vacuümgebied dit geeft een nauwkeurige resolutie)
- Insteekhuls van 6 mm voor de koppeling met de vacuümejector



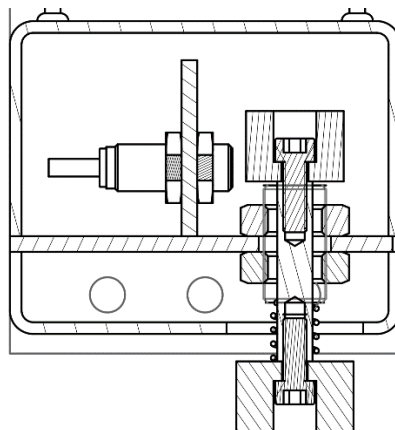
Figuur 32: SPTE Sensor Festo

### 5.1.3 Sensoren

De grijper wordt voorzien van een ultrasone afstandsmeting om de stapelhoogte te meten. Indien een operator de cel binnenkomt, maakt de robot een 'searchrun'. Hierbij worden de hoogtes van de afstapelposities gemeten. Deze meting zorgt ervoor dat eventuele kwaadwillige manipulaties van bladen geen collisions veroorzaken. Tijdens deze searchrun beweegt de robot met de grijper over de stapels op ongeveer 100 mm boven de maximale stapelhoogte van 1250 mm.

Wanneer de robot vervolgens de eerste plaat aflegt op elke stapel dan wordt er rekening gehouden met de gemeten stapelhoogtes van de searchrun. Doordat er geen detectie kan gebeuren op het afstapelen moet dit gebeuren met een veiligheidsmarge. De grijper zal de plaat vervolgens lossen op de desbetreffende stapel. Doordat de vele balgzuignappen lichtjes meegeven wordt de plaat veilig afgestapeld, zonder dat deze zal driften. Naderhand kan de ultrasoon sensor een nieuwe meting uitvoeren, dit omdat iedere plaat een tolerantie heeft. Wanneer deze meting zou gebeuren bestaat de kans dat de toleranties groter worden dan de veiligheidsmarge waardoor er alsnog collisions optreden.

Verder capteert een andere sensor of de plaat aan de robot hangt, zie Figuur 33. Dit controlemechanisme zorgt ervoor samen met de vacuümmetingen (redundant) of de plaat al dan niet aan de grijper hangt. Dit is belangrijk gegeven betreft de veiligheid.



Figuur 33: Contact sensor in arm

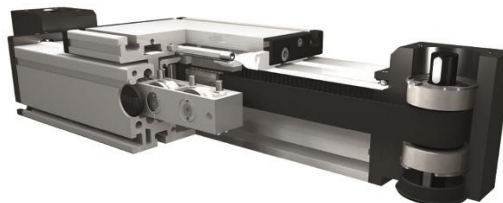
## 5.1.4 Geleiding

De buitenste twee armen van gripper worden herpositioneerbaar opgesteld. Hierdoor kan de gripper zich veranderen van buitenafmetingen waardoor deze andere bladen kan grijpen. Om deze beweging te realiseren wordt er gebruik gemaakt van een geleiding. Hiervoor werd er contact opgenomen met Vansichen. Deze firma is gespecialiseerd in lineaire aandrijftechniek. Om de juiste geleiding te selecteren moet deze voldoen aan enkele voorwaarden:

- Nauwkeurigheid +/- 1mm
- Licht stoffige omgeving
- Zo dicht mogelijke nadering bij de vaste arm
- Veelvuldig omstelbaar
- Totaal gewicht <sup>4</sup>< 50 kg

### Klassieke

Aan de hand van de belasting kon het resulterende moment berekend worden dat inwerkt op de geleiding in combinatie met bovenstaande eisen werd een BHR type DLVZ160 geselecteerd. Deze aluminium module is stijf genoeg. Hierdoor kan deze ook dienen als draagframe. De aandrijving van het positoneer systeem gebeurt doormiddel van een tandriem. Deze wordt aangedreven voor een servo motor waardoor de sledes synchroon naar elkaar toe bewegen. Dit systeem is ook voorzien van een dubbele looprollen geleiding om zo de nauwkeurigheid van +/- 1 mm te garanderen. De positionersystemen kunnen tot op het middelste vaste slede gereden worden.



**Figuur 34: DLVZ160**

Het grootste nadeel van deze module is het gewicht, dit bedraagt al 55 kg voor de geleiding alleen. Hierdoor wordt het vooropgestelde gewicht overgeschreven. Hierdoor zijn we noodzakelijk om over te schakelen van de ABB IRB 6700 reeks naar de ABB IRB 7600 reeks. Dit resulteert in een enorme meerkost.

---

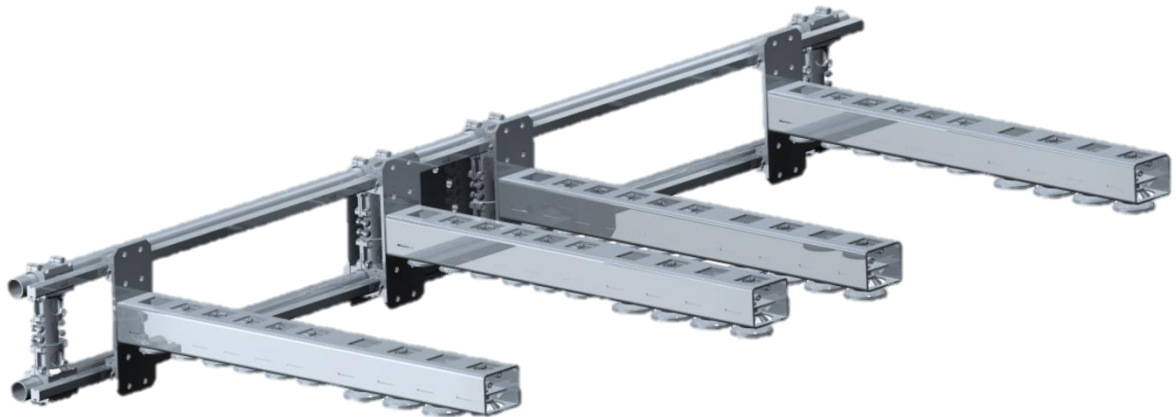
<sup>4</sup> Niet haalbaar wegens te hoge totaalgewicht van de gripper.



## Lightweight concept

De klassieke geleiding schiet dus te kort op het toegelaten gewicht. Door gebruik te maken van nieuwe materialen en productietechnieken zoals het 3D printen. Kan het gewicht van de grijper gereduceerd worden.

De twee lightweight concepten bestaan uit kokers en 3D geprinte structuren. Deze zijn weergegeven op Figuur 35 en Figuur 36. Het grote voordeel van deze structuren is dat de ontwerper zijn creativiteit kan gebruiken, iedere structuur kan gemaakt worden door de opkomst van additieve manufacturing. Hierdoor kan op specifieke plekken extra materiaal voorzien worden en op andere plekken materiaal weggelaten. Waardoor de massa nog te reduceren is zodat het totaal gewicht mogelijk onder de maximaal toegelaten belasting van de ABB IRB 6700 -150/3.20 valt. Deze reductie in gewicht mag niet ten koste gaan van de stijfheid. De grootste gewichtscompensatie kan gebeuren in de geleiding. Het gewicht van de geleiding beslaat ongeveer  $1/3^e$  van het totale gewicht.



Figuur 35: Lightweight concept 1



Figuur 36: Lightweight concept 2

### 5.1.5 Aandrijving

De aandrijving van de Bahr module gebeurt d.m.v. een servomotor. Deze aandrijvingen worden gekenmerkt door hun hoge dynamiek en grote positionauwkeurigheid. Omdat het dimensioneren van karakteristieken van de Bahr module, de snelheden waarmee de “carriage” verplaatst en het benodigde koppel werd de correcte motor (Figuur 37),reductor en de bijbehorende drive geselecteerd.



**Figuur 37: Siemens 1FK70**

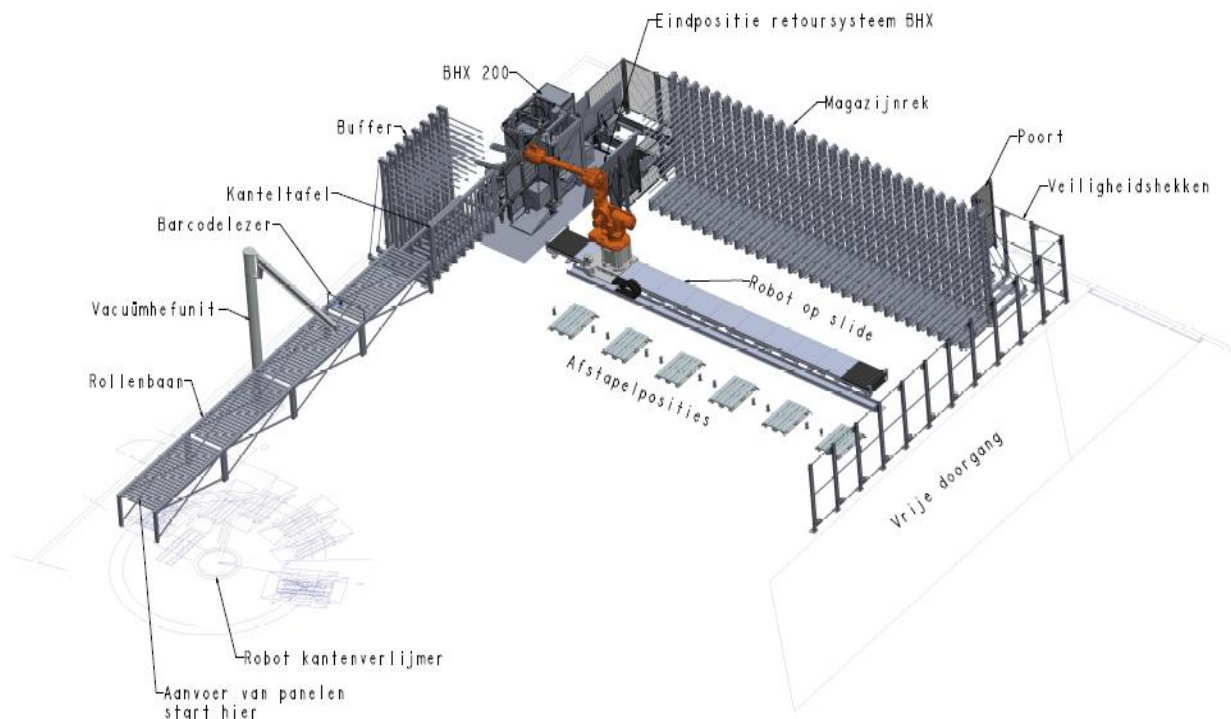
Als type motor werd een siemens “1FK70225AK711LH3” gekozen. Met bijbehorende drive een SINAMICS S110 CU305 PN met Profibus aansluiting zodat er een snelle data uitwisseling kan gebeuren.

## 5.2 Ontwerp lay-out

### 5.2.1 Inleiding

In de volgende paragraaf wordt het ontwerp en de werking van de robotcel toegelicht. De lay-out is ontworpen op basis van het resultaat van het morfologisch overzicht. Echter zijn er gaandeweg enkele wijzigingen aangebracht om het concept nog te verbeteren.

Bij het ontwerpen van de lay-out is er gebruik gemaakt van een grondplan van de fabriek. Vanaf hieruit zijn de verschillende componenten die nodig zijn voor de werking van de cel ingetekend. Het uiteindelijke resultaat is in onderstaande afbeelding terug te vinden:



Figuur 38: Lay-out robotcel

### 5.2.2 Werking

Zoals reeds besproken in de onderzoeksopzet, worden de panelen vooraleer ze doorstromen naar de cel eerst verzaagd uit grote panelen. Eens de panelen verzaagd zijn krijgen ze een barcode opgeleefd en worden ze doorgestuurd naar de kantenverlijmer. Deze verlijmt de zijdes van het paneel en eens ze klaar zijn stapelt de robot deze af op paletten ofwel op de rollenbaan die naar de BHX loopt( zie links onderaan ).

De rollenbanen dienen om de panelen te transporteren naar de kanteltafel. Ze bestaan uit 4 compartimenten die elk afzonderlijk aangestuurd kunnen worden. Dit dient zodanig ontworpen te worden om zo meer buffercapaciteit te kunnen realiseren. Daarnaast is één van de 4 compartimenten van de rollenbaan voorzien van een barcodelezer die de barcode inleest vooraleer deze door de robot gemanipuleerd wordt.

De barcode bevat namelijk de eigenschappen van het paneel zoals de lengte en de breedte van het paneel alsook het BHX-programma dat doorlopen moet worden. Door deze barcode van tevoren in te scannen kan zo de optimale positie van de grijper ten opzichte van de plaat bepaald worden.

Overigens bevindt zich ter hoogte van het tweede compartiment ook een vacuümhefunit om panelen met grotere afmetingen handmatig in te voeren in de robotcel. Echter zal het volledige detail ontwerp van de rollenbanen door de firma Unata gebeuren.

Wanneer vervolgens het paneel aankomt op de kantelafel zal het hierop gecentreerd worden. Dit centreren is noodzakelijk om het paneel op de juiste manier te kunnen grijpen met de robot. Indien nodig kan de robot de panelen bufferen in de bufferrek door deze horizontaal van de kantelafel op te nemen en af te leggen op één van de zes schappen. Als daarentegen het paneel niet moet worden gebufferd zal de kantelafel het paneel kantelen en verticaal invoeren in de BHX. Ook hier zal het volledige detail ontwerp van de kantelafel door een externe firma gebeuren. In deze thesis is enkel het concept uitgewerkt.

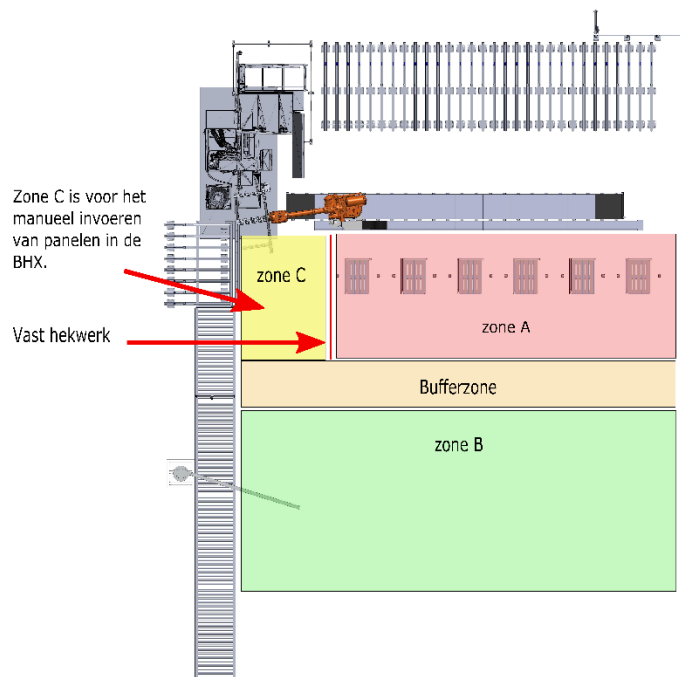
Nadat het paneel de kantelafel is gepasseerd komt het in de BHX boor-freesmachine terecht. De BHX grijpt het paneel aan de onderzijde vast doormiddel van twee klemmen en schuift het op die manier verticaal in de machine waarna het bewerkt wordt. Als dan het paneel bewerkt is zal het via het retoursysteem terug gevoerd worden naar de voorzijde van de machine met de bewerkte zijde tegen de leuning van het station aan. (zie Figuur 38 : eindpositie retoursysteem BHX)

Daarna neemt de robot het paneel op en verplaatst het naar de magazijnrek om het hier te bufferen. De robot die we hier gebruiken is van het merk ABB type IRB 7600-150. Deze robot heeft een payload van 150 kg wat minimaal nodig is om het gewicht van de grijper en het grootste paneel te kunnen dragen. Bovendien heeft deze robot een werkbereik van 3.5m wat net voldoende is om de panelen zowel in de onderste als de bovenste legger van de magazijnrek te kunnen plaatsen. Daarnaast wordt er in de robotcel eveneens gebruik gemaakt van een slide Deze is nodig om de robot te kunnen verplaatsen over de volledige rekafstand.

Als laatste stap dienen de panelen door de robot afgestapeld te worden op één van de zes palletposities. Om er voor te zorgen dat de palletten binnen een bepaalde tolerantie op de juiste plaats staan zijn er I-profielen ontworpen die verankerd worden in de vloer. Vlak naast de I-profielen staan voetjes gemonteerd met daarin sensoren om te controleren of er reeds panelen aanwezig zijn op de pallet of niet. Ook is in ieder I- profiel een hoek uitgehaald zodanig dat er met een sensor gecontroleerd kan worden of er een pallet aanwezig is. Indien er geen aanwezig is, mag er natuurlijk niet afgestapeld worden op die positie.

### 5.2.3 Betroffen veiligheidsvoorzieningen

Ook zijn er bij het ontwerp van de cel enkele veiligheidsvoorzieningen genomen. Zo zijn er veiligheidshekken geplaatst naast de vrije doorgang die dient om personen en heftrucks toegang te verlenen tot de buitenzijde van de fabriek. Om toch aan de achterzijde van de BHX te kunnen is er een poort geplaatst waardoor onderhoudspersoneel indien nodig aan de achterzijde van de machine werkzaamheden kan uitvoeren. Daarnaast wil de firma Robberechts om de volledige cel te beveiligen werken met het veiligheidssysteem safe move van ABB ( zie literatuurstudie ). Hierbij dient de cel ingedeeld te worden in bepaalde zones die doormiddel van 2D sensoren gescand worden. In de volgende figuur is deze indeling terug te vinden.



FIGUUR 39: INDELING VAN LAY-OUT IN ZONES

Zoals in bovenstaande figuur te zien is wordt de robotcel ingedeeld in vier zones namelijk A,B,C en de bufferzone. Hieronder zijn de verschillende zones uitgelegd:

- Zone A: is de zone waar dat de robot de panelen aflegt die vervolgens dan door een werknemer met behulp van een transpallet of heftruck afgevoerd worden. Indien een werknemer zich in deze zone bevindt, mag de robot geen panelen afleggen en zeker niet bewegen in deze zone. De robot mag echter wel, indien hij zich in de buurt van de bufferrek bevindt de aankomende panelen van de kantenverlijmer bufferen.
- Zone B: is de vrije zone, hier kunnen de operatoren vrij in rond bewegen. Dit is ook de zone waar dat de operator andere panelen op de rollenbaan kan invoeren met behulp van de Vacuümhefunit. Als een werknemer zich in deze zone bevindt, mag de robot in zijn gehele werkgebied vrij bewegen tegen maximale snelheid.

- Zone C: is de zone die door de operator gebruikt wordt om de kleine panelen ( die niet door de robot gemanipuleerd kunnen worden ) te kunnen invoeren in de BHX. Wanneer een werknemer zich in deze zone bevindt, mag de robot enkel de panelen van de magazijnrek afstapelen naar de verschillende palletposities.
- De bufferzone: is de zone die de overgang vormt tussen de vrije zone B en de zones A en C. Wanneer een werknemer zich in deze bufferzone bevindt, mag de robot slechts tegen een gereduceerde snelheid werken. Als dan de werknemer van de bufferzone overgaat naar de zones A of C, Dan wordt de robot in noodstop gebracht indien de werknemer en de robot zich in dezelfde zone bevinden.

#### 5.2.4 Besluit

In deze thesis is een eerste ontwerp gedaan om de cel te beveiligen. Maar om de veiligheid van de werknemers te verzekeren dient dit toch nog verder uitgewerkt te worden. Zo zullen er nog risicoanalyse uitgevoerd moeten worden om al de mogelijke gevaren in kaart te brengen. Eveneens zullen de grootte van de zones als ook de posities van de verschillende sensoren volgens gestandaardiseerd normen vastgelegd moeten worden.

## 5.3 Rek

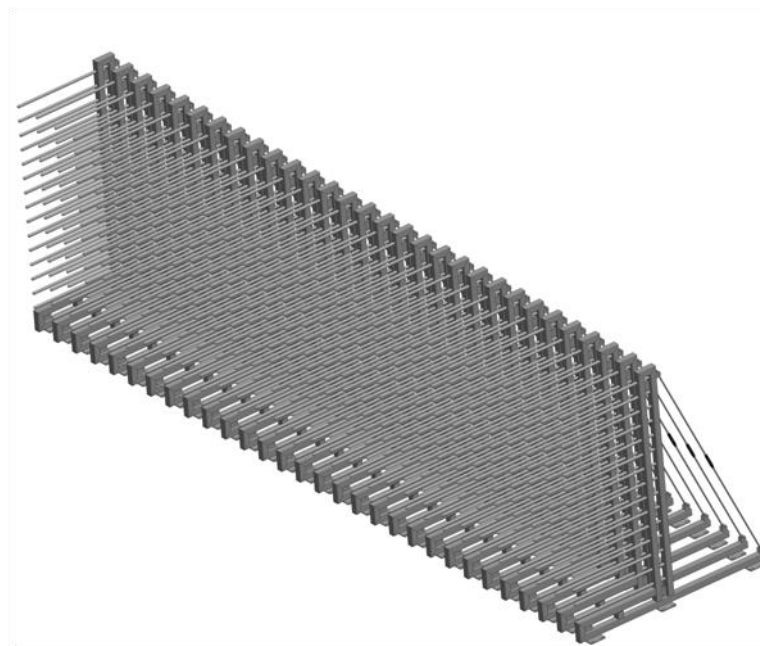
### 5.3.1 Inleiding

Om de panelen te kunnen bufferen na de kantenverlijmer en terug op te slaan na dat deze bewerkt zijn door de boor- en freesmachine, is het noodzakelijk dat er zowel een buffer als een magazijnrek ontworpen wordt. In volgende paragrafen worden beide toegelicht.

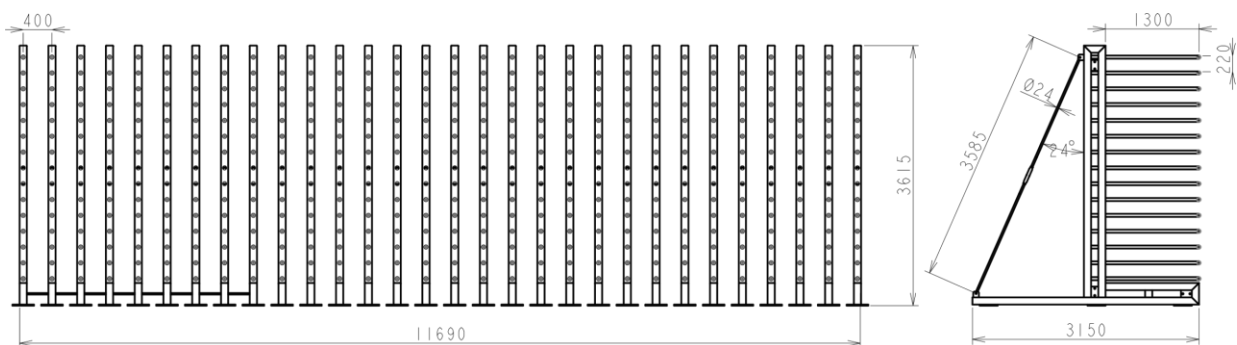
### 5.3.2 Ontwerp magazijnrek

Zoals in de onderzoeksopzet al vermeld staat, worden de panelen verzaagd volgens een ideaal nesting principe. Hierdoor zullen de panelen nadat ze verzaagd zijn in een willekeurige volgorde doorstromen naar de boor- en freesmachine. Maar voor de montageafdeling is het veel efficiënter werken als de panelen afgestapeld worden in de juiste montagevolgorde. Om dit mogelijk te maken is het noodzakelijk dat de robot de bewerkte panelen eerst kan bufferen in een magazijnrek om ze nadien op palletten af te stapelen.

In onderstaande afbeelding wordt het ontwerp van de magazijnrek weergegeven:



Figuur 40: Magazijnrek in perspectief

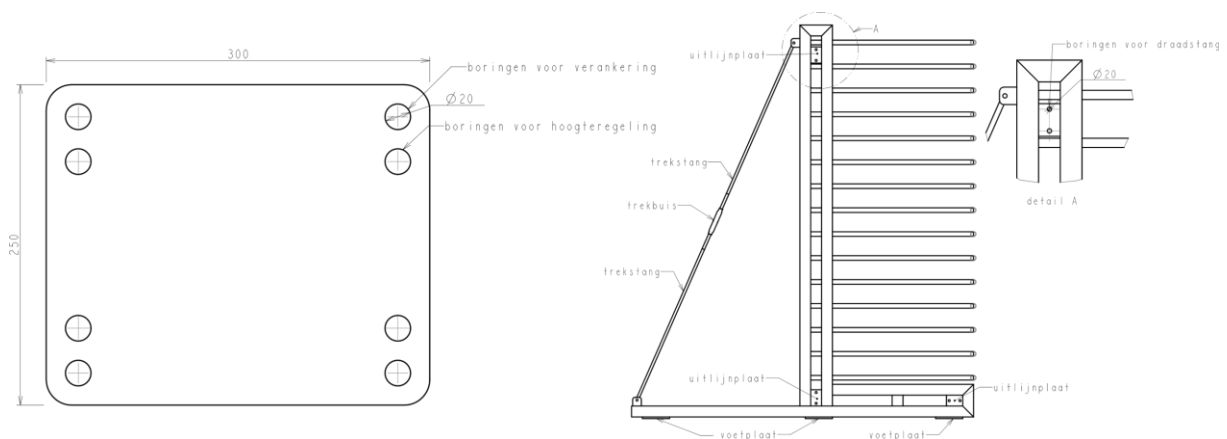


Figuur 41: Magazijnrek vooraanzicht+ zijaanzicht

### 5.3.3 Montage

Zoals in Figuur 41 op te merken is bestaat de rek uit allemaal afzonderlijke armen die doormiddel van voetplaten op de grond verankerd worden. De voetplaat bestaat uit 8 boringen waarvan er 4 zijn om de rek te verankeren in de beton. De binnenste 4 boringen zijn voorzien om de rek in hoogte te kunnen regelen. Ter hoogte van deze boringen worden er moeren opgelast waardoor men de voetplaat met stelbouten t.o.v. de vloer kan regelen. Om nu de verschillende armen in de zijdelingse richting uit te kunnen lijnen is de rek voorzien van drie uitlijnplaten per arm, zie Figuur 42. Hierdoor worden draadstangen geplaatst met aan beide zijde van de uitlijnplaat een moer. Op die manier kan iedere arm afzonderlijk uitgelijnd worden. Eenmaal de armen juist staan, kunnen ze verankerd worden in de beton.

Als laatste is er aan de arm een trekstang aangebracht. Deze dient in hoofdzaak om de doorbuiging van de rek tegen te gaan. Door middel van de trekstang kunnen de 2 trekstangen naar elkaar toe worden getrokken om zo de buizen ten opzichte van elkaar uit te lijnen.



Figuur 42: Voetplaat en arm

### 5.3.4 Oplegbuizen

Zoals op Figuur 42 waar te nemen is, bestaat iedere arm uit een aantal buizen. Op deze buizen worden de verschillende panelen nadat ze bewerkt zijn gestockeerd. Echter om beschadiging van de panelen tegen te gaan worden de buizen voorzien van een kunststof beschermhoes. Daarnaast zullen de buizen uitgerust worden met bolvormige insteekdoppen zodanig dat de voorkant van de buis afgewerkt is.



Figuur 43: Insteekdop



### 5.3.5 Berekeningen magazijnrek

Omdat de robot deze magazijnrek gaat laden en lossen is het belangrijk dat de constructie zo stijf mogelijk blijft. Om een goede werking te garanderen mag de totale doorbuiging slechts 5 mm zijn. De robot heeft namelijk maar een geringe speling boven en onder om de panelen in de rek te plaatsen. Ter controle wordt hieronder de doorbuiging van de rek bepaald.

#### Analytische berekening doorbuiging rek

Om de doorbuiging van de rek te berekenen, wordt eerst de doorbuiging van de buis berekend om deze dan te combineren met de doorbuiging van het frame. Deze berekening wordt gedaan voor het geval dat de panelen met de grootste afmetingen op de buizen draagt. Er wordt echter geen rekening gehouden met de kracht die de robot mogelijk zou uitoefenen bij het neerleggen van de panelen in de rek. De robot zou namelijk in ideale omstandigheden niet mogen drukken op de rek.

Als eerste worden enkele eigenschappen van de buis zelf berekend:

#### Oppervlakte:

$$A = \frac{\pi * d1^2}{4} - \frac{\pi * d2^2}{4} = \frac{\pi * (42.4^2 - 36.0^2)}{4} = 394.1 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Volume:

$$V = A * l = 394.1 * 1250 = 492625 \text{ mm}^3 \quad (11)$$

#### Massa:

$$m = \rho * V = 7850 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 492625 * 10^{-9} [\text{m}^3] = 3.87 \text{ kg} \quad (12)$$

#### Oppervlakte traagheidsmoment:

$$I = \frac{\pi * (d1^4 - d2^4)}{64} = \frac{\pi * (42.4^4 - 36^4)}{64} = 76200 \text{ mm}^4 \quad (13)$$

Tabel 17: Eigenschappen buis

Massa buis: m	3.87 (kg)	
Buitendiameter buis: d1	42.4 (mm)	0.0424 (m)
Binnendiameter buis: d2	36.0 (mm)	0.0360 (m)
Lengte buis tot inklemming: l	1250 (mm)	1.250 (m)
Oppervlakte buis: A	394.1 (mm <sup>2</sup> )	3.941 * 10 <sup>-6</sup> (m <sup>2</sup> )
Volume buis: V	492625 (mm <sup>3</sup> )	492625 * 10 <sup>-9</sup> (m <sup>3</sup> )
Oppervlakte traagheidsmoment: I	76200(mm <sup>4</sup> )	7,61996 * 10 <sup>-8</sup> (m <sup>4</sup> )

Tabel 18: Eigenschappen paneel

Massa (kg)	74
Gewicht (N)	725.94
Lengte (mm)	3050
Breedte (mm)	1250
Dikte (mm)	30
Massadichtheid (kg/m <sup>3</sup> )	650

Nu de eigenschappen van de buis en het paneel gekend zijn, kan de doorbuiging van de buis berekend worden. Dit wordt gedaan met behulp van discontinuïteitfuncties. Zoals hierboven alreeds is aangegeven wordt er verondersteld dat het grootste en dus ook het zwaarste paneel op de buis draagt. Maar omdat de tussenafstand tussen de draagarmen 400 mm bedraagt wil dit zeggen dat het paneel met lengte 3050 mm ondersteund wordt door 8 armen. De kracht van het paneel wordt dus gelijkmatig verdeeld over deze 8 buizen. Echter wordt in onderstaande berekening het gewicht van het paneel als puntlast beschouwd. In werkelijkheid is dit een normaal verdeelde belasting. Hierdoor zal het berekend resultaat van de doorbuiging groter zijn als in werkelijkheid.

$$F/buis = \frac{\text{Gewicht paneel}}{8} = \frac{725.94}{8} = 90.7425N \quad (14)$$

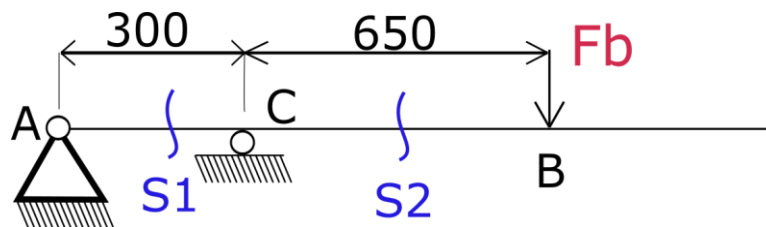
Het eigen gewicht van de buis bedraagt:

$$Fg = 3.87 * 10 = 38.70N$$

$$Fb = 38.70 + 90.74 = 129.44 N$$

Ook het eigen gewicht van de buis wordt om de berekening te vereenvoudigen samengelegd in het punt B. in werkelijkheid staat deze iets verschoven naar links van het punt B.

Vervolgens wordt er een vrijlichaamsschema opgesteld van de ingeklemde buis. Echter in Figuur 41 is te zien dat de buis doorheen de koker loopt. En omdat de buis in de koker wordt vast gelast kan dit gezien worden als een scharnier oplegging in combinatie met een roloplegging.



Figuur 44 VLS buis

$$FB = 129.44$$

Evenwichtsvergelijking:

$$\sum F_y = 0 \quad (15)$$

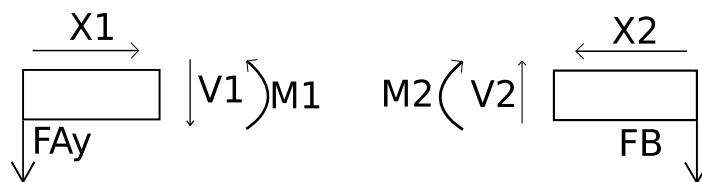
$$F_{Ay} + F_{Cy} - F_B = 0 \Rightarrow F_B = F_{Ay} + F_{Cy}$$

$$\sum M_A = 0 \quad (16)$$

$$F_{Cy} * 0.300 - F_B * 0.950 = 0 \Rightarrow F_{Cy} = 409.89 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = -280.45 \text{ N}$$

Vervolgens worden de buigmomentenvergelijkingen bepaald aan de hand van snede S1 en snede S2, zie bovenstaande Figuur 44.



Figuur 45: Snedenkrachten buis

$$\Rightarrow M_1 = -F_{Ay} * X_1 = 280.45 * x_1$$

$$\Rightarrow M_2 = -F_{By} * X_2 = -129.44 * x_2$$

Uit de formules van sterkteleer geldt het volgende:

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = M(x) \quad (17)$$

**Voor snede 1:**

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = -F_{Ay} * x_1$$

$$E \cdot I \cdot \frac{dv}{dx} = \frac{-F_{Ay}}{2} * x_1^2 + C_1$$

$$E \cdot I \cdot v = \frac{-F_{Ay}}{6} * x_1^3 + C_1 * x_1 + C_2$$

**Voor snede 2:**

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = -F_B * x_2$$

$$E \cdot I \cdot \frac{dv}{dx} = \frac{-F_B}{2} * x_2^2 + C_3$$

$$E \cdot I \cdot v = \frac{-F_B}{6} * x_2^3 + C_3 * x_2 + C_4$$

### Bepalen van de randvoorwaarden:

1. Voor  $X_1 = 0$   $\rightarrow V_1 = 0$
2. Voor  $X_1 = 300$   $\rightarrow V_1 = 0$
3. in  $X_1 = 300$  en  $X_2 = 650$   $\rightarrow \frac{d^2 v_1}{dx_1^2} = -\frac{d^2 v_2}{dx_2^2}$
4. Voor  $X_2 = 650$   $\rightarrow V_2 = 0$

### Randvoorwaarden toepassen:

$$E \cdot I \cdot 0 = \frac{-FAy}{6} * 0^3 + C_1 * 0 + C_2 \Rightarrow C_2 = 0$$

$$E \cdot I \cdot 0 = \frac{280.45}{6} * 0.300^3 + C_1 * 0.300 + 0 \Rightarrow C_1 = -4.21$$

$$\frac{280.45}{2} * 0.300^2 + C_1 = \frac{-129.44}{2} * 0.650^2 + C_3 \Rightarrow C_3 = 35.76$$

$$E \cdot I \cdot 0 = \frac{-129.44}{6} * 0.650^3 + C_3 * 0.650 + C_4 \Rightarrow C_4 = -17.31$$

Vervolgens zijn de constanten bepaald en kan de doorbuiging en de hoek in het punt b van de buis bepaald worden door in vergelijking 1 en vergelijking 2  $x = 0$  in te vullen:

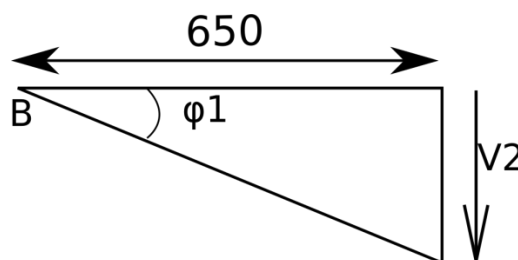
$$210 * 10^9 \cdot 7,62 * 10^{-8} \cdot v = \frac{-129.44}{6} * (0)^3 + 35.76 * (0) - 17.31$$

$$\Rightarrow v_1 = 0.00108 \text{ mm} = 1.08 \text{ mm}$$

$$210 * 10^9 \cdot 7,62 * 10^{-8} \cdot \vartheta = \frac{-129.44}{2} * (0)^3 + 35.76$$

$$\Rightarrow \varphi_1 = 22.35 * 10^{-4} \text{ rad}$$

De hoek  $\varphi_1$  en de doorbuiging  $v_1$  is de hoek en de verplaatsing die de buis maakt in het punt B. Echter willen we de doorbuiging op het uiteinde van de buis kennen, dit wordt als volgt gedaan:



Figuur 46: Doorbuiging  $v_2$

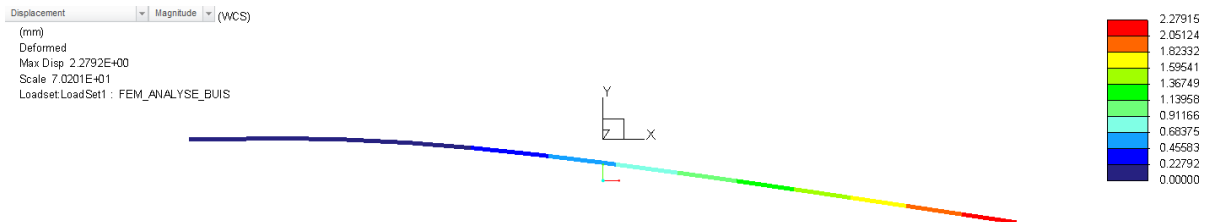
$$v_2 = \tan(22.35 * 10^{-4} \text{ rad}) * 650 = 1.45 \text{ mm}$$

Beide doorbuiging opgeteld geeft:

$$v_{tot} = v_1 + v_2 = 2.53 \text{ mm}$$

## Doorbuiging rek FEM

De analytische berekening geeft dus een resultaat van 2.53 mm doorbuiging. Ter controle doen we deze berekening ook met behulp van het eindig elementen pakket in Creo. Hierbij worden de vereenvoudigen die bij de analytische berekening gemaakt zijn weggelaten. Dit wordt weergegeven in onderstaande figuur:



Figuur 47: Resultaten Creo

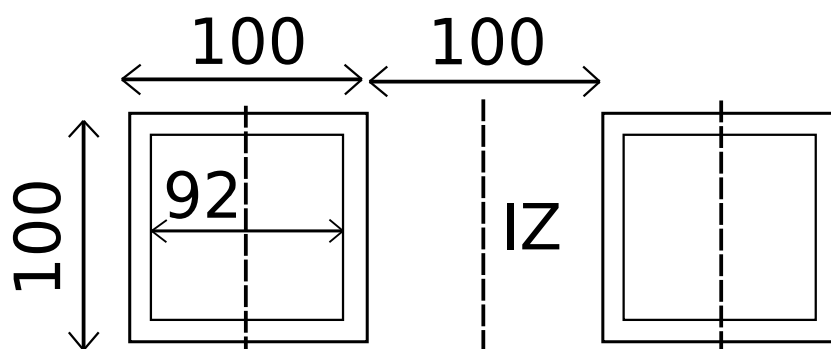
Creo geeft een maximale doorbuiging van 2.28 mm. Dit resultaat wijkt iets af van het resultaat bekomen met de analytische berekening. De oorzaak ligt hier dat bij de berekening in Creo de belasting van het paneel als gelijkmatig verdeelde belasting wordt aangebracht, terwijl dit bij de analytische berekening als puntlast wordt aangebracht.

Echter is dit is enkel het resultaat van de doorbuiging van de buis. Natuurlijk zal ook het Frame doorbuigen. De berekening daarvan is hieronder terug te vinden.

### Berekening doorbuiging frame:

Eerst wordt een berekening gedaan voor een rek zonder trekstang en daarna voor een rek met trekstang.

Voor de berekening van de doorbuiging van het frame beschouwen we de 2 rechtopstaande kokers als 1 kolom.



Figuur 48: Kolom sectie

Tabel 19: Eigenschappen één koker

Breedte (mm)	100
Wanddikte (mm)	4
Oppervlakte: (mm <sup>2</sup> )	1520
Oppervlaktetraagheidsmoment (mm <sup>4</sup> )	232 * 10 <sup>4</sup>

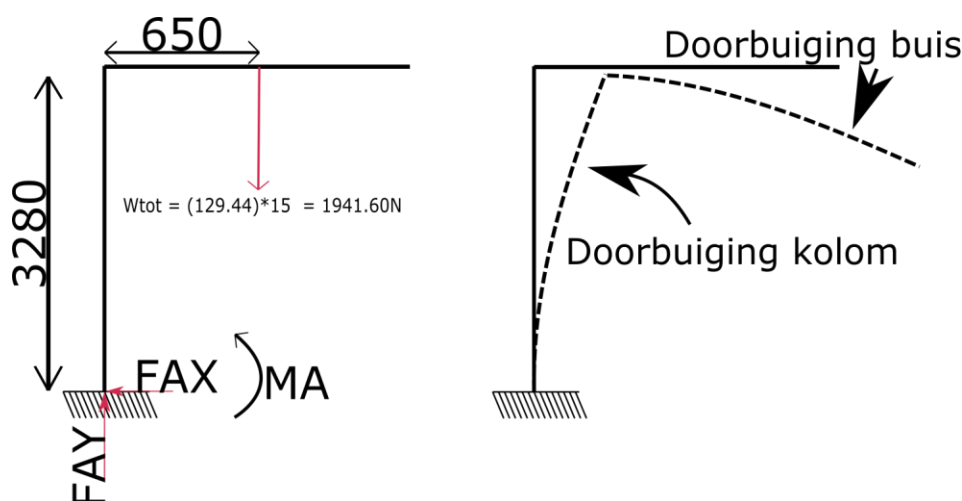
Vervolgens wordt het totale traagheidsmoment van de kolom berekend met behulp van de stelling van Steiner:

$$I_z = I_z + d^2 * A \quad (18)$$

$$I_z = 2 * (232 * 10^4 + 100^2 * 1520) = 35040000 \text{ mm}^4 = 3.5 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Daarna kan de doorbuiging van het frame berekend worden. Hierbij wordt er verondersteld dat alle krachten en gewichten van de buizen bovenaan liggen. Door dit te doen zal het berekende resultaat een overschatting zijn van het werkelijk resultaat.

Hierbij wordt het volgende vrijlichaamsschema gebruikt:



Figuur 49: VLS kolom

Evenwichtsvergelijking:

$$\sum MA = 0 \quad (19)$$

$$MA - W_{tot} * 0.650 = 0$$

$$\Rightarrow MA = 1941.60 * 0.650 = 1241.89 \text{ Nm}$$

De rechtopstaande kolom welke langs onder ingeklemd is, E moet dit moment opvangen. De doorbuiging van de kolom kan dan als volgt bepaald worden:

$$\varphi_1 = \frac{MA * L}{2 * E * I} = \frac{1241.89 * 3.280}{2 * 200 * 10^9 * 3.5 * 10^{-5}} = 2.91 * 10^{-4} \text{ rad} = (16.67 * 10^{-3})^\circ \quad (20)$$

$$v_3 = 2.91 * 10^{-4} * 1.300 = 0.000378 \text{ m} = 0.378 \text{ mm}$$

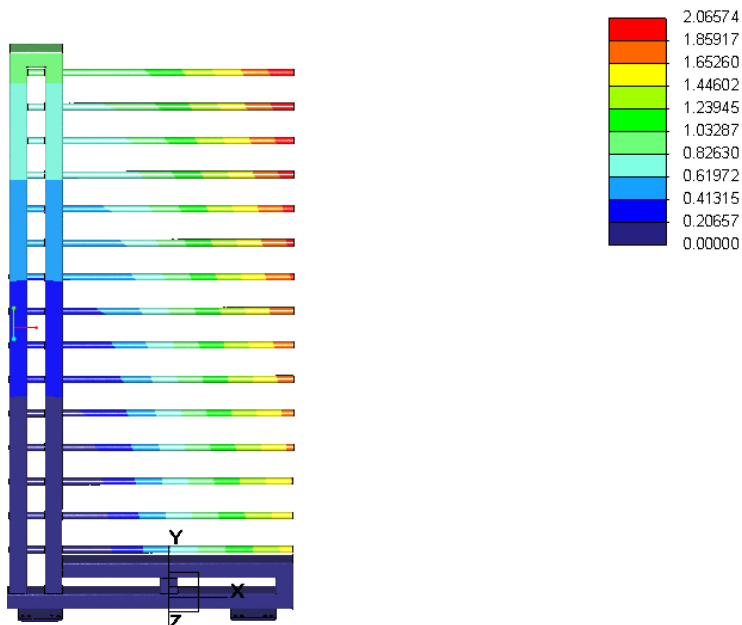
Vervolgens wordt de totale doorbuiging:

$$v_{tot} = v_2 + v_3 = 0.378 \text{ mm} + 2.53 \text{ mm} = 2.908 \text{ mm} \quad (21)$$

### 5.3.6 Besluit

De doorbuiging van de constructie bedraagt slechts 0.378 mm. Deze is dus zeer klein. Hierdoor zal de totale doorbuiging van de constructie en de buis quasi gelijk zijn aan de doorbuiging van de buis. De totale doorbuiging bedraagt bijna 3 mm wat binnen de toelaatbare buiging is die vooraf werd opgesteld.

Als laatste wordt er nog een controle berekening gedaan op de doorbuiging van rek met behulp van Creo:



Figuur 50: Doorbuiging rek

Het resultaat van de doorbuiging in Creo bedraagt 2 mm. Dit resultaat is kleiner dan het analytisch berekend resultaat.

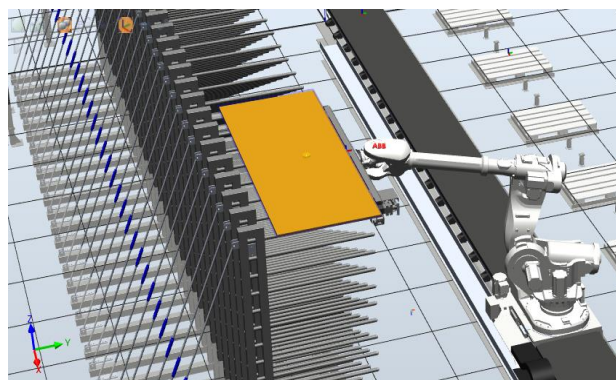
## 6 Implementatie in Robotstudio

### 6.1 Bereikstudie

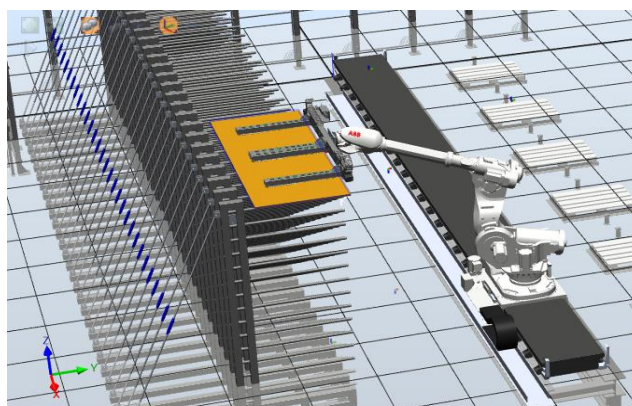
Om na te gaan of de robot geschikt is voor deze lay-out wordt er een bereikstudie uitgevoerd, in het programma ABB robotstudio. Hierin wordt er gecontroleerd of de posities van de verschillende onderdelen zoals de magazijnrek, bufferrek, BHX en de afstapelplaatsen bereikbaar zijn voor de robot. Dit is een iteratief proces waarbij de lay-out voortdurend aangepast wordt in functie van het bereik van de robot.

Uit deze studie blijkt dat de robot doormiddel van een robotvoet verhoogd dient te worden om zo efficiënter gebruikt te maken van zijn bereik. De laagste positie die de robot moet bereiken is ter hoogte van de palletten en omdat het bereik van de robot zich voor een groot deel onder de voet van de robot bevindt, hierdoor kan de robot 680 mm ten opzichte van de slide worden verhoogd. Daarnaast blijkt ook uit deze studie dat de magazijnrek uit maximaal 15 schappen mag bestaan wanneer de panelen steeds afgelegd worden met de grijper langs de boven zijde ( zie Figuur 52) Echter zou er een extra schap aan zowel de magazijnrek als de bufferek kunnen toegevoegd worden wanneer de bovenste panelen met de grijper langs de onderzijde worden afgelegd ( zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

Als laatste zijn er met behulp van dit programma enkele banen gesimuleerd om de werking van de cel en enkele beweeg routines te verduidelijken. Verder zijn de meest courante banen gesimuleerd op botsingen zoals het opnemen van de panelen uit de BHX, de kanteltafel alsook het inleggen van de panelen in de rek.



Figuur 51:Grijper langs onderzijde paneel



Figuur 52:Grijper langs bovenzijde paneel





## 7 Besluit

Op basis van een morfologisch overzicht werd voor ieder deelprobleem een oplossing gezocht, hierbij werd er rekening gehouden met de kostprijs, functionaliteit en de doorlooptijd. Hierdoor werd er gekozen voor een dynamische grijper met verrijdbare armen die een grote variatie aan panelen kan verwerken.

Eveneens werd uit dit overzicht een volledige lay-out ontworpen bestaande uit rollenbanen, kanteltafel en buffer. Deze laatste heeft een dubbele functie namelijk: het opvangen van cyclustijd variatie van de kantenverlijmer en het sorteren op montagevolgorde vereenvoudigen. Het *handelen* van de panelen gebeurt met een ABB IRB 7600/3.5 gemonteerd op een *slide* IRBT 7004. Aan de hand van Robotstudio werd het ontwerp van de cel en grijper verfijnd. Zodat er alle posities botsingsvrij bereikbaar zijn.

Op het gebied van veiligheid zijn er nog verbeteringen mogelijk zoals het uitvoeren van een risicoanalyse en het exact definiëren van de zones (rekening houdend met de normen). Verder is het uitwerken van de lichtgewicht grijper nog een mogelijkheid tot verbetering. Deze gewichtsbesparing kan resulteren in een lichtere, goedkopere uitvoering van de robot.



## Literatuurlijst

- [1] „Coval,” z.d.. [Online]. Available: <https://www.coval-inc.com/vacuum-technology/vacuum-handling-guide/vacuum-applications-and-measurements/>. [Geopend 8 April 2017].
- [2] Festo, „Dossier vacuüm,” FESTO, Brussel, z.d..
- [3] „Schmalz,” Schmalz, z.d.. [Online]. Available: <http://www.schmalz.nl/producten/vacuemcomponenten/vacuem-zuignappen.html>. [Geopend 20 Oktober 2016].
- [4] Schmalz, „Schmalz,” z.d.. [Online]. Available: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/vacuum-area-gripping-system-sbx-c>. [Geopend 20 Oktober 2016].
- [5] J. Pollefliet, Elektronische vermogencontrole 2. elektronische motorcontrole, Blankenberge: Academia press, 2011.
- [6] E. Demeester en J. Baeten, „Industriële robots: Kinematica, besturing, constructie,” Diepenbeek, 2015.
- [7] ABB, „Safemove2,” ABB, Västerås, Zweden , 2016.
- [8] Sick Ag, „Industrial safety systems S3000,” Sick, Duitsland, 2016.
- [9] Sick, „Machineveiligheidsafstanden,” Sick B.V., Bilthoven, z.d..
- [10] S. F.J., Methodisch ontwerp volgens H.H. van den Kroonenberg, Oldenzaal: Noordhoff, 2004.
- [11] R. C. Hibbeler, Sterkteleer, Amsterdam: Pearson, 2012.
- [12] PIAB, „Piab,” Augustus 2014. [Online]. Available: <https://www.piab.com/Products/vacuum-pumps/decentralized-vacuum-ejectors/piinlineplus/#overview>.



# Bijlagen

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**Ontwerp van een robotcel voor het beladen van een boor-freesmachine met sorteerfunctie**

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

Jaar: **2017**

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

**Clijsters, Jef**

**Stakenborg, Wouter Theo**

Datum: **6/06/2017**