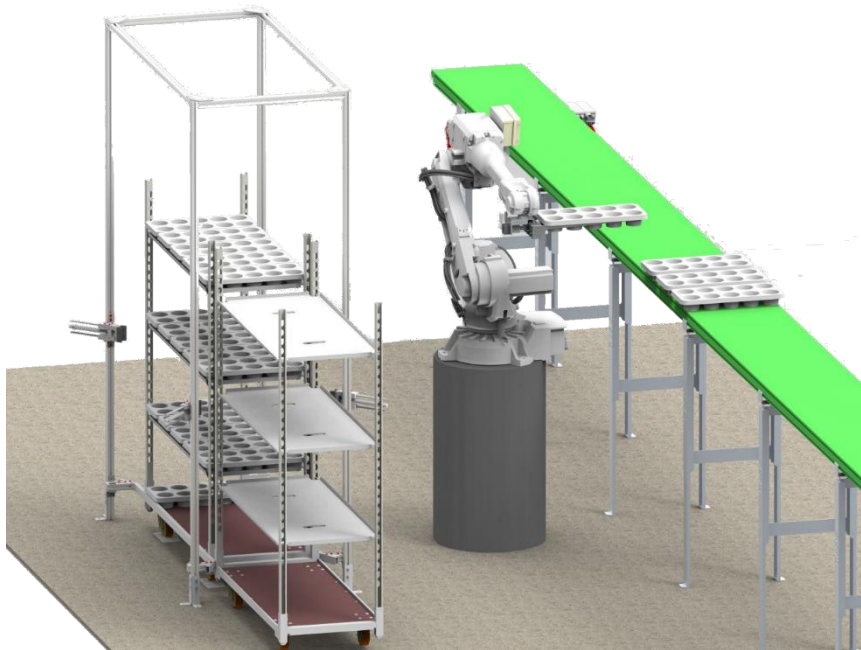


Legen en vullen van Deense karren

Automatiseren van het leeg en vul proces van Deense karren.

Door : R. den Drijver, 15046575



Type document : Bachelorscriptie

Opleiding: Mechatronica
Faculteit: Technology, Innovation and society

T.a.v. Bedrijfsbegeleider: Dhr. C. Groen
Stagecoördinator: Dhr. T.J. Koreneef
Eerste stagebegeleider: Dhr. G.M. Tuk
Tweede stagebegeleider: Mevr. A. Le Mair

31 mei 2019

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerverslag 'Legen en vullen van Deense karren'. Het onderzoek is uitgevoerd bij WPS B.V. gevestigd in de Lier. Dit afstudeerverslag is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Mechatronica aan de Haagsche Hogeschool Delft en in opdracht van stagebedrijf WPS. Vanaf 4 februari 2019 tot en met 31 mei 2019 ben ik bezig geweest met het onderzoeken, ontwerpen, realiseren en documenteren van de scriptie en de op te leveren test opstelling.

De onderzoeksvraag is vanuit mijn stagebegeleider Corné Groen, hoofd R&D bij WPS en Rob Goedegebuur, operationeel manager bij WPS, aan mij voorgelegd. Deze onderzoeksvraag is in twee stukken verdeeld waarvan ik een stuk vervul, en Simon van Eeden het andere stuk. Aan de hand van de test opstelling heb ik de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden.

Tijdens dit onderzoek stonden mijn stagebegeleider, Corné Groen, en mijn medestudent Simon van Eeden altijd voor mij klaar. Zij hebben steeds mijn vragen beantwoord waardoor ik verder kon met mijn onderzoek. Bij deze wil ik graag mijn Corné en Simon bedanken voor de fijne begeleiding en hun ondersteuning tijdens dit traject. Ook wil ik alle respondenten bedanken die mee hebben gewerkt aan dit onderzoek. Zonder hun medewerking had ik dit onderzoek nooit kunnen voltooien.

Tevens wil ik mijn collega's bij WPS bedanken voor de fijne samenwerking. Ik heb vaak met hen op effectieve wijze kunnen sparren over mijn onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Roy den Drijver

De Lier, 31 mei 2019

Samenvatting

Is het mogelijk om op een kosten efficiënte manier een vul- en leeg mechanisme te realiseren voor Deense karren zonder de planten hierbij meer dan gebruikelijk te beschadigen op basis van geleverde coördinaten? In dit verslag wordt het antwoord op deze vraag gegeven door middel van onderzoek en een proef opstelling. Deze zijn aan de hand van methodisch ontwerpen van [1] voldaan en verantwoord. Het vooronderzoek bestaat uit het interviewen van verschillende mensen waaronder Corné Groen en Martin van Tol (Bijlage IV en Bijlage V) waaruit de eisen van de twee stakeholders voort vloeien. Deze twee stakeholders zijn WPS en de klanten van WPS die eventueel geïnteresseerd zijn in het aanschaffen van een machine die het legen en vullen van Deense karren automatiseert. Ook wordt er onderzoek gedaan naar de bestaande oplossingen voor het legen en vullen van Deense karren. Hieruit is gebleken dat er op dit moment geen machines zijn die Deense karren zowel kunnen vullen, met trays en/of potten, als legen. Deze machines maken het alleen mogelijk om Deense karren te vullen met trays door deze op de laag te duwen. Aan de hand van de eisen en de afgenomen interviews wordt een functie analyse gedaan waar de gewenste functionaliteiten van de machine aan het licht komen.

Om deze functies te kunnen testen is de juiste proef opstelling nodig. Volgens methodisch ontwerpen dienen na het vooronderzoek een aantal fases doorlopen te worden. Deze fases zijn met name de probleem definiërende fase, de werkwijzebepalende fase, de vormgevende fase en de realisatiefase. Nadat deze fases doorlopen zijn is op een structurele manier een concept gekozen en gerealiseerd. Het gekozen concept bestaat uit een gearticuleerde robot manipulator, de IRB 2600-20/1.65 van ABB samen met een oppak- en plaatsingsmechanisme die speciaal ontworpen is voor het verwerken van fusten (trays en potten) gebaseerd op het "Rack & Pinion" principe (tandwiel en tandheugel). Dit oppak- en plaatsingsmechanisme wordt aangestuurd door een AS1020-0120 stappenmotor van Beckhoff die wordt aangedreven door een EL7041 stappenmotor driver van Beckhoff. Al deze onderdelen worden aangestuurd door een Beckhoff PLC, geprogrammeerd in TwinCAT 3, in combinatie met een RAPID programma binnen RobotStudio (van ABB) die gebruikt wordt om de gearticuleerde robot aan te sturen. Voor de proefopstelling hoeft de machine alleen te laten zien hoe deze één representatieve tray van een Deense kar af kan pakken en vervolgens deze ook te vullen. Om de proef opstelling aan te kunnen sturen is een human machine interface (HMI) ontwikkeld (binnen TwinCAT 3 van Beckhoff) waar de gebruiker de proef opstelling handmatig kan besturen.

Het samengevatte antwoord op de hoofdvraag is, dat het op dit moment niet mogelijk is om de vraag volledig te beantwoorden. Wel zijn er verschillende testen gedaan om te bepalen of het haalbaar is. Hieruit blijkt dat het zeker haalbaar is, om de vraag volledig te beantwoorden zijn meer testen nodig. Zoals testen met verschillende plantsoorten, en geleverde coördinaten via een secundair systeem.

De reden dat op dit moment de IRB 2600-20/1.65 gekozen is, is voornamelijk doordat deze aanwezig is en voldoet aan de eisen en functionaliteiten die gesteld zijn. Het is echter aan te raden om een R-1000iA/80F met meerdere oppak- en plaatsingsmechanisme die tegelijkertijd kunnen bewegen te realiseren zodat een laag van een Deense kar in één beweging leeg te halen is doordat de oppak- en plaatsingsmechanismen zichzelf onderling verplaatsen naar de juiste locatie en hier het fust oppakken, zoals Visser dit met het transplanteren van planten doet door de Pic-o-Mat GR-2700 [2]. Verder is het aan te raden om een aantal eindstandmelders toe te voegen aan het oppak- en plaatsingsmechanisme om extra zekerheid te kunnen krijgen over de stand van het mechanisme. Wanneer de proef opstelling uitgewerkt wordt als een prototype en uiteindelijk een volledig werkend product, dient er volgens NEN-EN-ISO 13849-1 een fysieke noodstop op de machine te zitten. Verder is het voor gebruiksgemak beter om een HMI scherm aan te schaffen zodat gebruikers zonder op een computer in te loggen de machine in kunnen stellen en wanneer nodig bedienen.

Verklarende woordenlijst

In dit hoofdstuk worden termen die niet als algemeen bekend bestempeld kunnen worden uitgelegd en termen die juist heel breed geïnterpreteerd kunnen worden, worden hier beter gedefinieerd.

“Proof of concept” - een “Proof of concept” is een samenstelling van mechanismes dat een bewijs levert dat een concept werkt. Het is nog niet uitgewerkt tot het punt dat het klaar is voor productie en er worden dan ook vaak op meerdere vlakken verbeteringen toegepast.

ADS - ADS staat voor Automation Device Specification en is een protocol dat gebruikt wordt als transportlaag binnen het TwinCAT systeem van Beckhoff. Hierdoor is het mogelijk om lokaal informatie door te sturen en te verkrijgen van allerlei verschillende modules.

Beckhoff - Beckhoff is een bedrijf dat producten ontwikkeld voor het automatiseren van processen in de industriële sector. Zij ontwikkelen bijvoorbeeld PLC's, industriële PC's, controle panelen, motoren en toebehoren.

BTR - een BTR is een model transport band die sterk gerelateerd is aan conventionele transportbanden. Deze transportbanden hebben net als conventionele transportbanden een rubberband als medium waar fust op geplaatst kan worden.

C# - C# is een programmeer taal dat gebruikt wordt om .NET applicaties te realiseren.

Deense kar - een Deense kar is een kleinere vorm veilingkar die veel wordt gebruikt voor het transporteren van vooral potplanten. Deze is ter plekke op te bouwen door een bodem en vier pilaren die in de bodem gestoken kunnen worden. In deze pilaren zitten sparringen zodat er extra platen ingehaakt kunnen worden die ervoor zorgen dat er een extra laag ontstaat waardoor er meer planten op één kar kunnen worden geplaatst. Als dit nog niet genoeg is, kunnen de palen ook opgehoogd worden door middel van opzetstukken waardoor er extra lagen toegevoegd kunnen worden. Met al deze opties moet rekening worden gehouden tijdens het ontwerpen van het systeem. Het is echter niet de bedoeling dat de kar wordt aangepast aangezien dit standaard karren zijn die over heel de wereld worden gebruikt en een tuinder niet zijn eigen Deense karren behoud.

Dexterous workspace - het werkgebied waar een gearticuleerde robot manipulator een object vanaf meerdere oriëntaties kan oppakken.

EtherCAT - EtherCAT is een veldbus systeem gebaseerd op Ethernet en is ontwikkeld door Beckhoff. EtherCAT wordt veel gebruikt in PLC's van Beckhoff om communicatie tussen de verschillende modules te realiseren.

Flexibel - als een mechanisme of machine flexibel is houdt dit in dat deze met minimale aanpassingen een iets ander product kan verwerken. Denk hierbij aan het verwerken van verschillende fustmaten, fusttype, met hoes zonder hoes, andere materiaaleigenschappen et cetera.

Fust - fust is over het algemeen een term die wordt gebruikt als benaming voor potten, trays en emmers die gebruikt worden om planten en bloemen te vervoeren. In dit document wordt het gebruikt om zowel potten als trays aan te duiden.

GTR - een GTR is een model transportband dat, in tegenstelling tot conventionele transportbanden, een gordel als medium heeft waar fust op geplaatst kan worden.

Klanten - de klanten van WPS bestaan uit twee categorieën; kwekers en onderzoekers. Kwekers hebben een grote kas, draaien een bepaald volume en eisen vooral betrouwbaarheid en capaciteit. Onderzoekers hebben meer verscheidenheid in planten en zijn vooral geïnteresseerd in hightech onderdelen en betrouwbaarheid. De doelgroep voor dit project is voornamelijk de kwekers.

Vullen - het verplaatsen van fust van een transportband naar een Deense kar.

Legen - het verplaatsen van fust van een Deense kar naar een transportband.

PCSDK – PCSDK (PC Software Development Kit) wordt gebruikt om aangepaste applicaties te realiseren voor communicatie met RobotStudio van ABB.

PPP - een PPP robot is een robot waarbij de eerste drie gewrichten prismatisch zijn, waardoor drie translaterende bewegingen mogelijk worden gemaakt.

Prototype - een prototype is een goed uitgewerkt “Proof of concept”. Het is klaar om in de uiteindelijke omgeving getest te worden en wacht meestal slecht kleine aanpassingen.

RAPID – RAPID wordt gebruikt om te programmeren binnen RobotStudio van ABB. Hiermee is het mogelijk om de robot automatisch te laten werken zonder handmatige besturing.

Reachable workspace – in tegenstelling tot dexterous workspace is de reachable workspace het gebied waar de gearticuleerde robot manipulator wel bij kan, maar niet vanaf meer dan twee verschillende oriëntaties. De reachable workspace is dan ook over het algemeen groter dan de dexterous workspace.

Recept – Met een recept wordt het type, de lengte, de breedte, de hoogte en de oriëntatie van fust bedoeld zoals deze op de Deense kar moeten komen te staan.

RobotStudio – RobotStudio is een programma ontwikkeld door ABB en maakt het mogelijk om, zonder een fysieke robot, een robot te programmeren, besturen en testen.

RPP - een RPP robot is een robot waarbij het eerste gewricht een roterende werking heeft wat een roterende beweging mogelijk maakt. De twee gewrichten die hierop aansluiten zijn prismatisch waardoor twee translaterende bewegingen mogelijk worden gemaakt.

RRP - een RRP robot is een robot waarbij de eerste twee gewrichten een roterende werking hebben wat twee roterende bewegingen mogelijk maakt. Het gewricht dat hierop aansluit is prismatisch waardoor een translaterende beweging mogelijk wordt gemaakt.

RRR - een RRP robot is een robot waarbij de eerste drie gewrichten een roterende werking hebben wat drie roterende bewegingen mogelijk maakt.

TwinCAT 3 – TwinCAT 3 is een software omgeving ontwikkeld door Beckhoff voor het programmeren van Beckhoff PLC's.

Inhoudsopgave

1. INLEIDING	8
2. METHODOLOGIE	9
3. VOORONDERZOEK.....	9
3.1. ACHTERGROND	9
3.2. HUIDIGE AAN- EN AFLEVERSYSTEMEN.....	10
3.3. DOELSTELLING	10
4. PROBLEEM DEFINIËRENDE FASE.....	11
4.1. PROBLEEMOMSCHRIJVING	11
4.2. PROGRAMMA VAN EISEN	11
4.3. FUNCTIE ANALYSE	12
5. WERKWIJZEBEPALENDE FASE.....	13
5.1. MORFOLOGISCH OVERZICHT	13
5.2. WERKWIJZE OMSCHRIJVING	13
5.3. CONCEPT OMSCHRIJVING	17
5.4. WEEGFACTOREN.....	18
5.5. SCORETABEL	18
5.6. KESSELRING METHODE	19
6. VORMGEVENDE FASE	20
6.1. CONCEPT UITWERKING	20
6.1.1. CONCEPT 1.....	20
6.1.2. CONCEPT 2.....	21
6.1.3. CONCEPT 5.....	22
6.1.4. CONCEPT 6.....	23
6.2. CONCEPTVERGELIJKING	24
6.3. CONCEPTKEUZE	24
6.3.1. BEWEGINGSMECHANISME.....	25
6.3.2. OPPAK- EN PLAATSING MECHANISME.....	26
6.4. GRM KEUZE.....	27
6.4.1. KEUZEPARAMETERS	27
6.4.2. KEUZE VERANTWOORDING	29
6.5. OPM KEUZE.....	30
6.5.1. DIMENSIES	30
6.5.2. MASSA	31
6.5.3. AANDRIJVING.....	31
6.5.4. MOTORSELECTIE.....	32
6.6. SAMENHANG	36
6.6.1. AANSTURING	36
6.6.2. INFORMATIE ACQUISITIE	37
7. REALISATIEFASE	38
7.1.1. GRM	38
7.1.2. OPM	38

7.1.3. SAMENHANG	39
7.1.4. TESTEN	41
8. CONCLUSIE.....	42
9. AANBEVELINGEN.....	43
10. LITERATUURLIJST.....	44
BIJLAGE I : GOEDGEKEURDE OPDRACHT.....	45
BIJLAGE II : ACCEPTATIE TEST	47
BIJLAGE III : WERKTEKENINGEN	49
BIJLAGE IV : INTERVIEW CORNÉ GROEN	57
BIJLAGE V : INTERVIEW MARTIN VAN TOL.....	59
BIJLAGE VI : MORFOLOGISCH OVERZICHT	60
BIJLAGE VII : MORFOLOGISCH OVERZICHT INGEVULD.....	61
BIJLAGE VIII : VOOR- EN NADELEN CONCEPT ONTWERPEN	62
BIJLAGE IX : COMMUNICATIE PROTOCOLLEN	63
BIJLAGE X : BEREKENINGEN IN EXCEL.....	65
BIJLAGE XI : PROGRAMMA WORKFLOW	66
BIJLAGE XI : PROGRAMMA VAN EISEN	67
BIJLAGE XII : KOSTEN.....	68
BIJLAGE XIII : RAPID PROGRAMMA MODULE1	69
BIJLAGE XIV : OPM GEWICHT METING	71

1. Inleiding

Is het mogelijk om op een kosten efficiënte manier een vul- en leeg mechanisme te realiseren voor Deense karren zonder de planten hierbij meer dan gebruikelijk te beschadigen op basis van geleverde coördinaten? Dit is een vraag die voornamelijk WPS maar ook kwekers zich af vragen om het eerste en laatste gedeelte van het teeltproces te automatiseren. Het grootste gedeelte van het teelt proces is namelijk al geautomatiseerd door WPS waardoor een kweker nauwelijks meer in kassen hoeft te komen om planten te sorteren, controleren of andere handelingen te verrichten. Dit wordt gedaan doordat WPS een systeem heeft ontwikkeld dat ervoor zorgt dat de planten naar de kweker toe komen door middel van een transportbanden systeem. Dit transportbanden systeem kan uitgebreid worden met andere deelsystemen voor bijvoorbeeld kwaliteit controle of sorteringen. De missende schakel in deze keten is op dit moment het aan- en afleveren van gevulde of gelegee Deense karren. Hiervoor moeten de Deense karren automatisch gevuld en gelegee kunnen worden. Dit is de voornaamste reden dat de hoofdvraag ontstaan is. Om antwoord te geven op deze vraag en om kwekers aan te tonen dat de machine betrouwbaar en economisch efficiënt is, is het van belang dat er een demonstratie gehouden kan worden. Verder is het belangrijk dat het een flexibel systeem is om het mogelijk te maken de trays en potten, die per plant anders kunnen zijn, op te kunnen pakken. Als demonstratie wordt op zijn minst een “Proof of concept” voor het oppakken en plaatsen van op zijn minst één soort tray gerealiseerd. Deze opdracht is goedgekeurd door Theo Koreneef van de Haagse Hogeschool (Bijlage I).

Zoals in de vorige alinea omschreven, omvat de doelstelling het automatiseren van het legen en vullen van Deense karren met potplanten. Deze potplanten kunnen los of in trays worden aangeleverd bij de vul- en leeg machine waarna de machine deze van de band of van de Deense kar af moet kunnen pakken en deze op de kar of transportband kan zetten. Het is de bedoeling dat er een oplossing wordt bedacht die met minimale aanpassing voor meerdere klanten, trays en potten beschikbaar zijn, het systeem moet dus modulair zijn. In eerste instantie wordt een “Proof of concept” voor het oppakken en plaatsen van minstens één soort tray gerealiseerd. Hierbij wordt rekening gehouden met de modulariteit die nodig is om met diezelfde machine ook losse potten op te kunnen pakken.

Dit rapport is bedoeld om WPS en de Haagse Hogeschool op de hoogte te brengen van de gemaakte keuzes tijdens de afstudeerperiode van 4 februari 2019 tot en met 31 mei 2019. In dit verslag wordt de lezer in hoofdstuk 2 *Methodologie* geïnformeerd over de aanpak van de opdracht. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 *Vooronderzoek* de achtergrond van de opdracht, de huidige status van aan- en afleversystemen en de doelstelling verduidelijkt en doorgesproken. Hierna worden de eisen en functies waaraan de machine moet voldoen vastgesteld aan de hand van een aantal interviews met verschillende stakeholders in hoofdstuk 4. Hier wordt ook een korte omschrijving van het probleem gegeven. In hoofdstuk 5 worden de verschillende werkwijzen aangegeven die de in hoofdstuk 4 gedefinieerde functies mogelijk kunnen vervullen. Deze worden door middel van een morfologisch overzicht weergegeven waarna op basis van haalbaarheid, nauwkeurigheid, kosten, robuustheid, snelheid en duurzaamheid zes verschillende concepten worden omschreven. Deze concepten worden door middel van weegfactoren en een scoretabel afgewogen tegen de variabele eisen uit hoofdstuk 4 en duidelijker weergegeven in een Kesselring diagram. In de vormgevende fase, hoofdstuk 6, worden de resultaten van de Kesselring diagram besproken en verder uitgewerkt, waarna een concept keuze gemaakt wordt. Voor dit gekozen concept wordt in hoofdstuk 7. *Realisatiefase* een ontwerp gemaakt en worden de behaalde resultaten besproken. In hoofdstuk 8 wordt een antwoord gegeven op de gestelde hoofdvraag waarna in hoofdstuk 9. *Aanbevelingen* een aantal aanbevelingen worden gedaan om problemen, die niet tijdens de opdracht opgelost zijn, alsnog op te kunnen lossen. Vervolgens wordt de gebruikte literatuur weergegeven in de literatuurlijst van hoofdstuk 10 en de minder relevante stukken in de bijlage bijgesloten.

2. Methodologie

In dit hoofdstuk wordt de methodologie die gebruikt is om concepten te bedenken doorlopen. De concepten zijn tot stand gekomen door het toepassen van methodisch ontwerpen, zoals in het boek Methodisch ontwerpen van [1] wordt behandeld. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende fases die doorlopen worden tijdens het ontwerpproces zoals in Figuur 5.1 van dit boek te zien is. Deze fases zijn met name:

- **Vooronderzoek** - aan de hand van een behoefte wordt onderzoek gedaan naar de technische, economische en sociale aspecten en wordt de behoefte geanalyseerd. Aan de hand van deze analyse en aspecten wordt een doelstelling samengesteld.
- **Probleem definiërende fase** - onder deze fase valt het opstellen van een programma van eisen en het bepalen van de functies de machine moet gaan vervullen aan de hand van een functie analyse en de doelstelling.
- **Werkwijzebepalende fase** - in deze fase worden mogelijke werkwijzen en structuren onderzocht en vastgesteld voor het realiseren van de in de probleem definiërende fase opgestelde eisen en gedefinieerde functies.
- **Vormgevende fase** - nadat werkwijzen zijn bedacht om de functies te vervullen wordt in deze fase de werkwijzen gecombineerd tot verschillende concepten en wordt een definitief ontwerp gekozen.
- **Realisatie fase** - in deze fase wordt het definitief ontwerp uitgewerkt, gerealiseerd en getest.

Wanneer deze fases doorlopen zijn is het mogelijk om de deelvraag te beantwoorden en voldoet het “Proof of concept” aan de gestelde eisen terwijl deze de gewenste functionaliteiten kan vervullen.

3. Vooronderzoek

Aan de hand van een behoefte wordt onderzoek gedaan naar de technische, economische en sociale aspecten en wordt de behoefte geanalyseerd. Aan de hand van deze analyse en aspecten wordt een doelstelling samengesteld.

3.1. Achtergrond

WPS is een afkorting voor we prove solutions en is een bedrijf dat gespecialiseerd is in het bieden van geautomatiseerde systemen op maat in en rondom de tuinbouw. Het meest bekende product van WPS is het walking plant system dat ervoor zorgt dat de planten in een kas door een infrastructuur aan lopende banden automatisch te bewegen zijn tussen verschillende sectoren. Het bedrijf is gevestigd in de Lier en telt ongeveer 50 medewerkers die negen verschillende disciplines toepassen van bedrijfskunde tot engineering.

Dat WPS totaaloplossingen levert wil zeggen dat zij gespecialiseerd is in het leveren van grote projecten van kweek tot het opleveren van de planten. Tussen het kweken en opleveren bevinden een groot scala aan verschillende producten die door WPS samengesteld en gecombineerd worden. Het is dan ook vanzelfsprekend dat WPS modulegericht bezig is zodat verschillende combinaties voor scherpe prijzen te realiseren zijn terwijl ze garant kunnen staan voor de best mogelijke werking van hun producten. De opdracht beschreven in dit document focust zich vooral op het legen- en vullen van planten op en van Deense karren.

Klanten van WPS beschikken over verschillende mate van automatisering binnen het bedrijf. Voor deze klanten zijn processen als; water geven, ophalen uit de kas, sorteren op kleur, sorteren op aantal bloemen en rijpheid bepalen mogelijk geautomatiseerd. Echter zijn er mogelijk nieuwe klanten die deze processen niet geautomatiseerd hebben. Omwille van de vooruitgang is het nodig dat steeds meer delen van de verwerking worden geautomatiseerd. Vooralsnog vallen bij veel kwekers de taken binnen het vullen en legen van Deense karren hier nog buiten. Voor deze taken is nu een vul- en leeg afdeling gemaakt bestaande uit een variërend aantal (actieve) vul- en leeg stations. Een vul- en leeg machine kan een extra toevoeging zijn voor kwekers waardoor minder manuren nodig zijn en eventueel in de avond of nacht Deense karren gevuld kunnen worden zodat deze vroeg in de ochtend geveild kunnen worden bij de bloemenveiling. Echter is, omdat elke kweker andere eisen, capaciteit en deeltaken heeft, een machine niet voor iedere kweker efficiënt. Naast dit feit heeft elke kweker keuze uit een groot assortiment aan fusten, waaronder volgens Royal Flora Holland [3] 121 type trays. Naast dit assortiment aan trays hebben relatief grote kwekers hun eigen assortiment aan trays, waardoor de machine modulair en flexibel moet zijn.

Doordat elke kweker andere planten in verschillende hoeveelheden kweekt en deze in verschillende fusten aan wil bieden is het belangrijk dat klanten een oplossing op maat kunnen krijgen. Dit betreft andere configuraties van bestaande systemen maar ook het bedenken van totaal nieuwe systemen of deelsystemen om nieuwe functies en eigenschappen toe te voegen of te onderscheiden.

3.2. Huidige aan- en afleversystemen

In de huidige aan- en afleversystemen worden planten al volautomatisch afgeleverd bij een werknemer door middel van een GTR of BTR zodat deze een Deense kar kan vullen of legen. Voor het vullen van Deense karren zijn twee machines van [4] en [5] gevonden die Deense karren met trays kunnen vullen. Verder is er ook gekeken naar vul- en leeg machines uit de brood- en deegwarenindustrie, echter zijn deze minder relevant doordat hier de lagen in karren geschoven kunnen worden en geen last hebben van een opstaande rand aan de zijkanten. De machines van Machinnova en Visser kunnen echter Deense karren nog niet automatisch legen, dit moet tot nu toe handmatig gedaan worden door werknemers. Ook bieden deze machines niet de mogelijkheid om met weinig tot geen aanpassingen Deense karren ook met losse potten te kunnen vullen of legen.

Verschillende kwekers hebben een groot gedeelte van hun teeltsysteem al geautomatiseerd. Het kan voor deze kwekers dan ook relevant zijn om het laatste gedeelte, het vullen en legen van Deense karren met fust, ook te automatiseren. Hierdoor is het mogelijk om verder te besparen op personeelskosten en is het mogelijk om de vul en leeg handeling, welke niet ergonomisch is, te vervangen wat theoretisch minder verzuim van personeel oplevert. Dit is niet alleen voor de bedrijven van economisch belang maar ook kan de levensverwachting van het personeel hierdoor omhoog gaan. De verbetering in omstandigheden voor de werknemers in combinatie met het economische belang maakt het voor kwekers met weinig automatiseren ook rendabel (Bijlage XII Kosten) om dit vul- en leeg proces te automatiseren.

3.3. Doelstelling

Het doel wordt vastgesteld in de vorm van een hoofdvraag, deze hoofdvraag luid:

- Is het mogelijk om op een kosten efficiënte manier een vul- en leeg mechanisme te realiseren voor Deense karren zonder de planten hierbij meer dan gebruikelijk te beschadigen op basis van geleverde coördinaten?

Het doel voor deze opdracht is het beantwoorden van de hierboven gedefinieerde vraag. Door antwoord te geven op de vraag wordt de deur open gezet voor mogelijk betaalbare

automatisering van het vullen en legen van Deense karren. Om kwekers aan te tonen dat de machine betrouwbaar en economisch efficiënt is, is het van belang dat er een demonstratie gehouden kan worden. Verder is het belangrijk dat het een flexibel systeem is om het mogelijk te maken het fust, dat per plant anders kan zijn, op te kunnen pakken. Als demonstratie wordt op zijn minst een "Proof of concept" voor het oppakken en plaatsen van één soort tray gerealiseerd.

4. Probleem definiërende fase

Onder probleem definiërende fase valt het opstellen van een programma van eisen en het bepalen van de functies die de machine moet gaan vervullen aan de hand van een functie analyse en de doelstelling.

4.1. Probleemomschrijving

Het probleem omvat het automatiseren van het vullen en legen van Deense karren met potplanten die worden aan- of afgevoerd door middel van een transportband. Deze potplanten kunnen los of in trays worden aangeleverd bij de vul- en leeg machine waarna de machine deze van de band of van de Deense kar op moet kunnen pakken en deze op de kar of transportband kan zetten. Anders dan gewoonlijk wordt deze opdracht niet specifiek voor een klant uitgewerkt. Het is de bedoeling dat er een oplossing wordt bedacht die met minimale aanpassing voor meerdere klanten en verschillende type fust beschikbaar is, het systeem moet dus modulair zijn. In eerste instantie wordt zoals in paragraaf 3.3 kort genoemd een "Proof of concept" voor het oppakken en plaatsen van minimaal één soort tray gerealiseerd. Hierbij wordt rekening gehouden met de modulariteit die nodig is om met diezelfde machine ook losse potten op te kunnen pakken.

4.2. Programma van eisen

Het eindproduct heeft te maken met een aantal eisen welke voornamelijk vanuit twee verschillende stakeholders komen. Deze twee stakeholders zijn; de opdrachtgever (WPS) en de klanten. Deze eisen zijn weergegeven in Bijlage XI en zijn onder te verdelen in twee hoofd types, namelijk:

- **Functionele eisen** - dit zijn eisen die betrekking hebben op de functionaliteit van de machine. Een voorbeeld hiervan is het kunnen verwerken van een gevulde tray of één plant van minimaal 15 kilogram.
- **Fabricage eisen** - dit zijn eisen die van toepassing zijn op processen die te maken hebben met het fabriceren van de machine. Hierbij wordt rekening gehouden met materialen, kosten, productiemogelijkheden en levensduur. Verder vallen eisen die betrekking hebben tot het gebruiken van bepaalde programma's en werkplaatsen ook onder fabricage eisen.

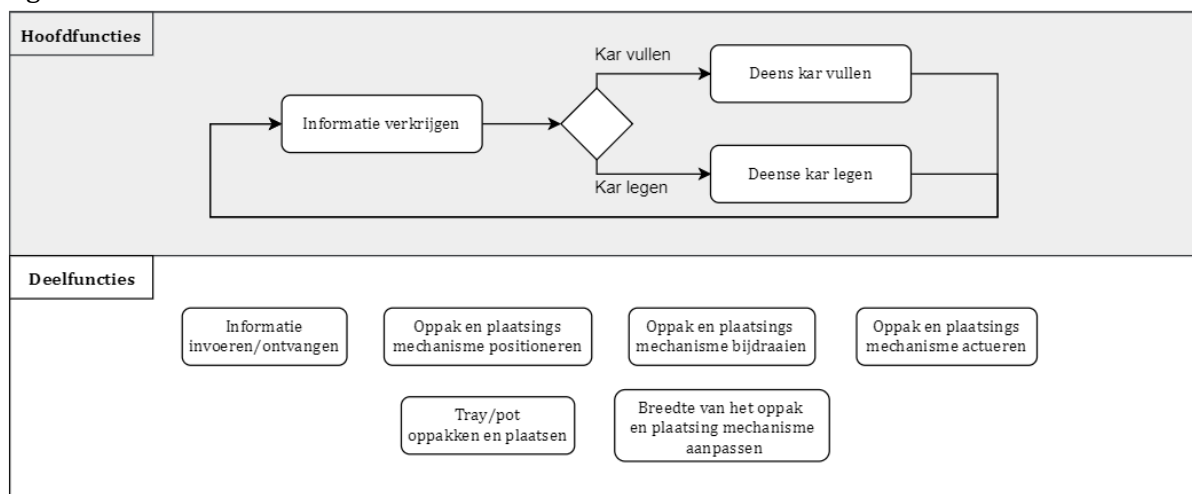
Deze twee hoofd types kunnen verder onderverdeeld worden in drie verschillende deel types, namelijk:

- **Vaste eisen**: - vaste eisen zijn eisen waar elk concept aan moet voldoen.
- **Variabele eisen** - variabele eisen zijn eisen waar het concept in meerdere of mindere mate aan moet voldoen, en zijn vaak opgesteld met een maximale of minimale grenswaarde.
- **Wensen** - wensen zijn extra eisen die de klant of opdrachtgever graag terug ziet in het uiteindelijke concept. Deze wensen worden alleen toegevoegd wanneer de tijd dit toelaat.

De eisen van de opdrachtgever worden afgeleid uit een gesprek met Corné Groen. In het verleden heeft Corné meerder klant specifieke opdrachten gemaakt. Hierdoor weet hij veel over de technische eisen die komen kijken bij een machine die ontworpen is voor de agrarische sector. De eisen van de klanten worden afgeleid uit een gesprek met Martin van Tol, internationaal accountmanager bij WPS, en wanneer nodig interviews met één of meerdere klanten. Martin van Tol heeft door zijn functie als internationaal accountmanager veel contact met klanten over de hele wereld waardoor hij een goed beeld heeft van de eisen van klanten voor een dergelijk systeem. De eisen zijn terug te vinden in bijlage XI.

4.3. Functie analyse

Aan de hand van de gesprekken met Corné en Martin en de eisen uit Bijlage XI is een functie analyse uitgevoerd. De functies die de machine moet kunnen vervullen om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden terwijl deze aan de gestelde eisen voldoet, zijn onderverdeeld in drie hoofdfuncties. Deze hoofdfuncties zijn te verdelen in één of meerdere deelfuncties. De hoofdfuncties en deelfuncties die van toepassing zijn voor deze machine zijn weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Functie analyse

5. Werkwijzebepalende fase

In de werkwijzebepalende fase worden mogelijke werkwijzen en structuren onderzocht en vastgesteld voor het realiseren van de in de probleem definiërende fase opgestelde eisen en gedefinieerde functies.

5.1. Morfologisch overzicht

Om de mogelijke werkwijzen die de verschillende deelfuncties kunnen vervullen weer te geven is een morfologisch overzicht opgesteld (Bijlage VI). In de eerste kolom zijn de deelfuncties weergegeven. De functievervullers voor elke deelfunctie zijn naast elkaar in de bijbehorende rij weergegeven. Dit overzicht wordt in de vormgevende fase gebruikt om een aantal concepten samen te stellen op basis van verschillende gewenste kenmerken.

5.2. Werkwijze omschrijving

De werkwijze die in meerdere of mindere mate de gewenste functies kunnen vervullen zijn hieronder per functie op een rijtje gezet en uitgewerkt.

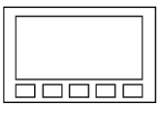
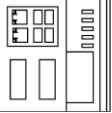
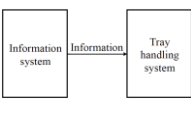
Informatie invoeren/ontvangen (Figuur 2)

Werkwijze 1: het handmatig invoeren van de gewenste informatie door middel van een HMI scherm waarin verschillende parameters aangepast kunnen worden.

Werkwijze 2: het handmatig invoeren van parameters in het PLC programma van de machine resulterend in de gewenste informatie die binnen het programma gebruikt kunnen worden.

Werkwijze 3: gewenste informatie automatisch ontvangen van een secundair systeem zoals bijvoorbeeld een waarnemingssysteem die door middel van computer vision de gewenste informatie genereert.

Werkwijze 4: de gewenste informatie statisch in het programma verwerken. In tegenstelling tot werkwijze 2 wordt hiervoor geen berekeningen binnen de PLC uitgevoerd om de gewenste informatie te verkrijgen.

Informatie invoeren/ontvangen				layerSpacing = 30 layerAmount = 5 trayLocations = [[x1,y1,z1], [x2,y2,z2],...,[xn,yn,zn]] trayType = type1
	Invoeren in een HMI	Invoeren via de PLC	Vanuit secundair systeem	Hardcoded
	Handmatig	Automatisch	Automatisch	Statisch

Figuur 2 Morfologisch overzicht - Informatie invoeren/ontvangen

Oppak- en plaatsing mechanisme positioneren (Figuur 3)

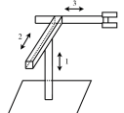
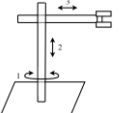
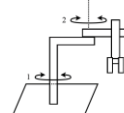
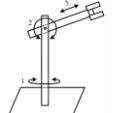
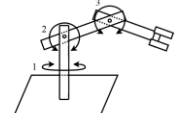
Werkwijze 1: deze werkwijze gebruikt een cartesische robot die door middel van drie prismatische gewrichten (PPP) een X, Y en Z beweging door het cartesiaans stelsel kan realiseren. Deze robots worden in de praktijk veel gebruikt voor nauwkeurige bewegingen en zijn gemakkelijk op en neer te schalen, waardoor deze robots groot of klein uitgevoerd kunnen worden afhankelijk van de toepassing. Zo worden deze robots gebruikt van portaalkranen in de scheepvaart industrie tot 3D printers en CNC frees machines.

Werkwijze 2: een cilindrische robot is een robot die als eerste gewricht een roterende beweging kan maken met daarop twee prismatische gewrichten die prismatisch kunnen bewegen (RPP). Deze robots worden in de praktijk weinig gebruikt doordat de roterende as niet stijf is, waardoor deze onnauwkeurigheden kan veroorzaken. Deze robot heeft een cilindrisch assenstelsel met een daarbij passend cilindrisch werkgebied.

Werkwijze 3: een SCARA robot is een robot waarvan de eerste twee gewrichten roterend zijn. Op deze twee gewrichten is een prismatisch gewricht gemonteerd die op en neer kan bewegen (RRP). Deze robots worden in de praktijk veel gebruikt voor “pick and place” toepassingen en hebben net als een cilindrische robot een cilindervormig werkgebied.

Werkwijze 4: een sferische robot heeft dezelfde samenstelling als een SCARA robot, alleen is een sferische robot anders geconfigureerd. Het grote verschil tussen deze twee robots is dat de SCARA robot een cilindrisch werkgebied, heeft en de sferische robot een werkgebied dat meer weg heeft van een sfeervorm. Naast dit verschil heeft een sferische robot de mogelijkheid om boven zijn eigen hoogte te reiken.

Werkwijze 5: een gearticuleerde robot lijkt erg veel op een sferische robot, echter zijn bij een gearticuleerde robot de eerste drie gewrichten roterend. Dit zorgt ervoor dat deze robot om obstakels heen kan bewegen. In de praktijk worden deze robots veel gebruikt op plekken waar complexere bewegingen nodig zijn, zoals bijvoorbeeld het nabootsen van verschillende menselijke handelingen. Deze robots hebben een bolvormig werkgebied, en een hoog werkgebied per vloeroppervlakte gebruik.

Oppak en plaatsings mechanisme positioneren					
	Cartesiaanse robot PPP joint	Cilindrische robot RPP joint	SCARA robot RRP joint	Sferische robot RRR joint	Gearticuleerde robot RRR joint

Figuur 3 Morfologisch overzicht - Oppak- en plaatsingsmechanisme positioneren

Oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien (Figuur 5) / Oppak- en plaatsing mechanisme actueren (Figuur 4)

Werkwijze 1: het oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien door middel van een Servomotor. Servomotoren worden veel gebruikt in situaties waar nauwkeurigheid en kracht beide benodigd zijn, en komen in de praktijk vaak voor in verwerking machines.

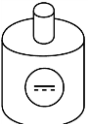
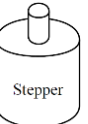
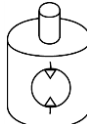
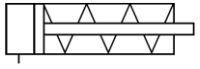
Werkwijze 2: het oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien door middel van een gelijkstroommotor, welke veel kracht kan leveren, maar op zichzelf geen feedback ontvangt, waardoor deze niet nauwkeurig is. Deze motoren zijn echter over het algemeen een stuk goedkoper dan de hierboven genoemde Servomotoren.

Werkwijze 3: het oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien door middel van een wisselstroommotor, welke praktisch dezelfde werking heeft als een gelijkstroommotor, en daarbij ook dezelfde voor- en nadelen. Het grootste verschil tussen deze motoren is dat de gelijkstroommotor wordt aangedreven door gelijkstroom, en de wisselstroommotor door wisselstroom.

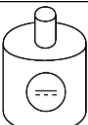
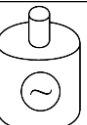
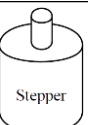
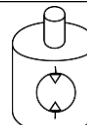
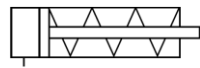
Werkwijze 4: het oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien door middel van een Stappenmotor die elektrisch of pneumatisch aangestuurd kan worden. Deze motoren kunnen nauwkeuriger zijn dan Servomotoren, maar missen vaak de kracht die deze kunnen leveren. Dit komt doordat de Stappenmotor zijn “stappen” kan overslaan als deze teveel kracht moet zetten, waardoor het systeem opnieuw geïnitieerd of opgestart moet worden.

Werkwijze 5: het oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien door middel van een luchtmotor. Deze luchtmotor wordt pneumatisch aangestuurd, en kan net als een gelijkstroom- en wisselstroommotor veel kracht leveren. Een luchtmotor levert wel in op nauwkeurigheid doordat het een tijdje kan duren voordat de luchtdruk in de kamers gelijk getrokken is.

Werkwijze 6: het oppak- en plaatsing mechanisme bijdraaien door middel van een zuiger. Een zuiger kan nog meer kracht leveren dan de hierboven genoemde werkwijze, alleen heeft een zuiger maar twee standen waarin deze zich kan bevinden. Dat komt de nauwkeurigheid van deze werkwijze niet ten goede komt.

Oppak en plaatsings mechanisme bijdraaien						
	Servomotor	DC-motor Elektrisch	AC-motor	Stappenmotor Elektrisch/Pneumatisch	Luchtmotor Pneumatisch	Zuiger Pneumatisch/Hydraulisch

Figuur 5 Morfologisch overzicht - Oppak- en plaatsingsmechanisme bijdraaien

Oppak en plaatsings mechanisme actueren						
	Servomotor	DC-motor Elektrisch	AC-motor	Stappenmotor Elektrisch/Pneumatisch	Luchtmotor Pneumatisch	Zuiger Pneumatisch/Hydraulisch

Figuur 4 Morfologisch overzicht - Oppak- en plaatsingsmechanisme actueren

Breedte van het oppak- en plaatsing mechanisme aanpassen (Figuur 6)

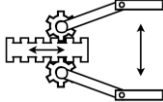
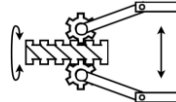
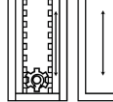
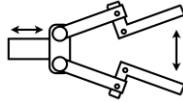
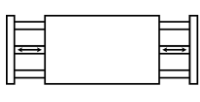
Werkwijze 1: een grijper die open en dicht kan bewegen door het "Rack and Pinion" concept. In dit geval wordt de "Rack" naar voor en achter bewogen door een zuiger of een overbrenging in combinatie met een motor, zodat de tandwielen roteren en de grijper opent of sluit tot een variabele breedte.

Werkwijze 2: een grijper die open en dicht kan bewegen door middel van een wormwiel overbrenging. De worm van deze wormwiel overbrenging kan direct op een motor gemonteerd worden en roteert de wormwielen waar de armen aan bevestigd zijn, waardoor de grijper opent of sluit naar de gewenste breedte.

Werkwijze 3: een grijper die op hetzelfde principe gebaseerd is als werkwijze 1. Echter beweegt deze grijper het "Pinion" gedeelte in plaats van het "Rack" gedeelte. Ook deze werkwijze kan zoals werkwijze 2 direct aangestuurd worden door een motor, en zet een roterende beweging om in een translerende beweging door op de tanden van de "Pinion" te duwen. Hierdoor veranderd de afstand tussen de grijper armen.

Werkwijze 4: het twee vinger mechanisme is een grijper mechanisme die een translerende beweging omzet naar een translerende beweging haaks aan de originele richting. Dit mechanisme is aan te sturen door middel van een pneumatische of hydraulische zuiger. In tegenstelling tot de andere mechanismes kan deze maar twee breedtes bereiken, namelijk de breedte wanneer de zuiger uit is gestuurd, en wanneer deze in is gestuurd.

Werkwijze 5: de zuigergrijper is een mechanisme dat wordt aangestuurd door een pneumatische of hydraulische zuiger. Deze stuurt één of beide grijper armen uit of in, waardoor de breedte van de grijper kan variëren tussen drie verschillende breedtes.

Breedte van het oppak en plaatsings mechanisme aanpassen					
	Rack and pinion 1	Wormwiel Elektrisch	Rack and pinion 2	Twee vinger mechanisme Pneumatisch/Hydraulisch	Zuiger gripper

Figuur 6 Morfologisch overzicht - Breedte van het oppak- en plaatsingsmechanisme aanpassen

Fust oppakken en plaatsen (Figuur 7)

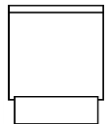
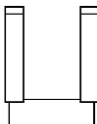
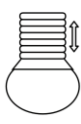
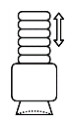
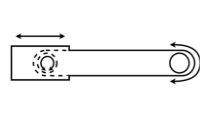
Werkwijze 1: de spatel is een mechanisme dat direct op de robot gemonteerd wordt, en onder het fust geschoven kan worden om ze op die manier op te pakken. Deze kan of statisch zijn, of aangestuurd worden door een pneumatische of hydraulische zuiger.

Werkwijze 2: het vorkprincipe werkt op hetzelfde principe als een heftruck die pallets op kan pakken. Hierbij worden de “lepels” onder de rand van het fust bewogen, en wordt deze aan de rand opgepakt.

Werkwijze 3: door middel van een koffiebonen gripper kunnen ingewikkelde vormen opgepakt worden. Deze gripper werkt door middel van het opblazen van een ballon die gevuld is met koffiebonen (of andere ronde objecten) waarna deze over het object heen wordt gezet, en de lucht uit de ballon wordt gezogen, waardoor de ballon om het object heen grijpt en deze op kan pakken.

Werkwijze 4: net als het koffiebonen principe wordt bij deze werkwijze pneumatiek gebruikt om objecten op te pakken. Echter wordt bij deze werkwijze door middel van zuignappen, in combinatie met een vacuüm, grip gegenereerd op objecten om ze vervolgens op te kunnen tillen.

Werkwijze 5: bij deze werkwijze wordt een transportband, terwijl deze roteert, naar voren en achter bewogen om zo vloeiend objecten op te pakken en plaatsen. Dit kan door de transportband onder of langs het fust te bewegen.

Trays/potten oppakken en plaatsen					
	Spatel	Vork	Koffiebonen	Zuignappen	Transportband
	Mechanisch		Pneumatisch		Elektrisch

Figuur 7 Morfologisch overzicht - Fust oppakken en plaatsen

Nu de werkwijzen zijn gedefinieerd om de functies te vervullen, wordt in deze fase de werkwijzen gecombineerd tot verschillende concepten op basis van haalbaarheid, nauwkeurigheid, goedkoop, robuust, snelheid en duurzaamheid. Om de mogelijke concepten die de verschillende deelfuncties kunnen vervullen te bepalen, is het morfologisch overzicht uit Bijlage VII gebruikt. In dit overzicht zijn de concepten gemarkeerd door middel van verschillende kleuren en vormen (Figuur 8). Omdat het mogelijk is dat bij een aantal concepten het concept door één foute keuze laag scoort, wordt er gekeken naar combinaties van deze laag scorende concepten, en bepaald of het concept op en andere manier wel rendabel is of niet.

	Concept 1		Concept 2		Concept 3		Concept 4		Concept 5		Concept 6
---	-----------	---	-----------	---	-----------	---	-----------	---	-----------	---	-----------

Figuur 8 Morfologisch overzicht - Concept definitie kleuren/vormen

5.3. Concept omschrijving

-  **Concept 1 (haalbaar)** - Bij concept 1 is het mogelijk om handmatig door middel van een HMI scherm het fust type, pose, laaghoogte en aflever punt te ontvangen. Deze informatie wordt dan gebruikt om een gearticuleerde robot naar de gewenste posities te sturen, zodat deze door middel van een end-effector, die aangedreven wordt door een servomotor, fust op kan pakken. Het oppak- en plaatsing mechanisme is variabel in de breedte door de "Pinion" van het mechanisme te bewegen, waardoor de grijper breder of smaller wordt, en daardoor meerdere types fust op kan pakken.

-  **Concept 2 (nauwkeurig)** - Concept 2 maakt gebruik van het handmatig invoeren van de parameters in het PLC programma, die vervolgens worden omgerekend in de gewenste informatie. Deze informatie wordt vervolgens door een cartesische robot gebruikt om naar de gewenste posities te bewegen. Hierna wordt het oppak- en plaatsing mechanisme bijgedraaid en geactueerd door middel van een pneumatische of elektrische stappenmotor. Dit oppak- en plaatsing mechanisme bestaat uit een wormwiel mechanisme dat tandwielen aanstuurt, waardoor de grijper opent of sluit tot een variabele breedte.

-  **Concept 3 (goedkoop)** - Concept 3 maakt gebruik van het handmatig invoeren van de parameters in het PLC programma, die vervolgens worden omgerekend in de gewenste informatie. Deze informatie wordt gebruikt door een gearticuleerde robot om naar de gewenste posities te bewegen. Wanneer de robot bij de gewenste posities komt, kan door middel van een spatel mechanisme, het fust opgepakt worden.

-  **Concept 4 (robuust)** - Bij concept 4 wordt gebruik gemaakt van een secundair systeem dat automatisch de gewenste informatie doorspeelt naar de machine. Deze informatie wordt net zoals bij concept 2 gebruikt om een cartesische robot naar de gewenste posities te sturen. In tegenstelling tot concept 2 wordt het oppak- en plaatsing mechanisme geactueerd door een pneumatisch of hydraulisch aangestuurde zuiger, die door middel van een "Rack and Pinion" mechanisme een grijper opent of sluit. Deze zuiger kan bijgedraaid worden door een gelijkstroommotor om fust dat verdraaid is op te pakken.

-  **Concept 5 (snelheid)** - De gewenste informatie wordt in concept 5 door middel van "hardcoden" verkregen. Dit wil zeggen dat de informatie die vereist is voor het bewegen, oppakken en plaatsen statisch zijn. Hierdoor worden er in de praktijk eisen gesteld aan de Deense karren, en het type fust die binnen komen, zodat de machine deze kan verwerken. Een cilindrische robot wordt gebruikt om naar de gewenste locaties te bewegen, zodat door middel van een transportband die in- en uitgestuurd wordt door een pneumatische of hydraulische zuiger, het fust opgepakt kan worden. Deze zuiger wordt wanneer nodig bijgedraaid door een stappenmotor.

-  **Concept 6 (duurzaam)** - Bij concept 6 wordt gebruik gemaakt van een secundair systeem dat automatisch de gewenste informatie doorspeelt naar de machine. Deze informatie wordt door een SCARA robot gebruikt om naar de gewenste posities te bewegen. Het oppak- en plaatsing mechanisme kan door middel van twee Servomotoren nauwkeurig bijgedraaid en geactueerd worden. Het oppak- en plaatsing mechanisme bestaat net als bij concept 4 uit het "Rack and Pinion" mechanisme, waarvan de "Rack" aangestuurd wordt door middel van een tandwieloverbrenging, waardoor de grijper naar een variabele breedte kan openen of sluiten.

5.4. Weegfactoren

De opgestelde concepten uit het morfologisch overzicht worden in deze paragraaf getest aan de gestelde variabele eisen uit Bijlage XI. . Voordat de scoretabel wordt ingevuld worden weegfactoren toegewezen aan de variabele eisen. Dit wordt gedaan omdat sommige variabele eisen van groter belang zijn dan andere variabele eisen. Deze weegfactoren worden in de scoretabel gebruikt om de maximaal toelaatbare score per onderdeel aan te geven. In Tabel 1 is te zien hoe de weegfactoren tot stand komen, zie bijvoorbeeld FU6 ten opzichte van FU7 waarbij FU6 belangrijker is voor een functionele machine en daardoor een getal “1” krijgt in zijn tweede kolom. Wanneer FU7 belangrijker had geweest dan FU6 had hier een “0” komen te staan. Wanneer al deze eisen met elkaar vergeleken zijn is de som van de gegeven getallen de weegfactor voor die respectievelijke variabele eis.

Tabel 1 Weegfactoren

		Eisen						
Referentie	Nr.	Functionele eisen	1	2	3	4	Totaal	
FU06	1	De machine moet op zijn minst één met planten gevulde tray of één plant van 15 kilogram kunnen verwerken.	{1}	1	0	0	2	
FU07	2	De machine moet in samenwerking met het waarnemingssysteem op zijn minst vier karren per uur kunnen laden of lossen.	0	{1}	0	0	1	
FU08	3	De machine moet trays en/of potten met een nauwkeurigheid van minimaal 5 millimeter kunnen plaatsen ten opzichte van de gewenste positie.	1	1	{1}	0	3	
FU09	4	De machine moet trays en/of potten met een nauwkeurigheid van minimaal 5 millimeter op kunnen pakken ten opzichte van de aangegeven oppak locatie.	1	1	1	{1}	4	
		Fabricage eisen						
FA08	1	De machine moet binnen drie tot vijf kalender jaren terug te verdienen zijn.	{1}	0	1		2	
FA09	2	De machine moet met zo min mogelijk aanpassingen verschillende type trays en/of potten op kunnen pakken.	1	{1}	1		3	
FA10	3	De levensduur van de machine bedraagt minimaal 31.200 uur bij correct uitgevoerd onderhoud.	0	0	{1}		1	

5.5. Scoretabel

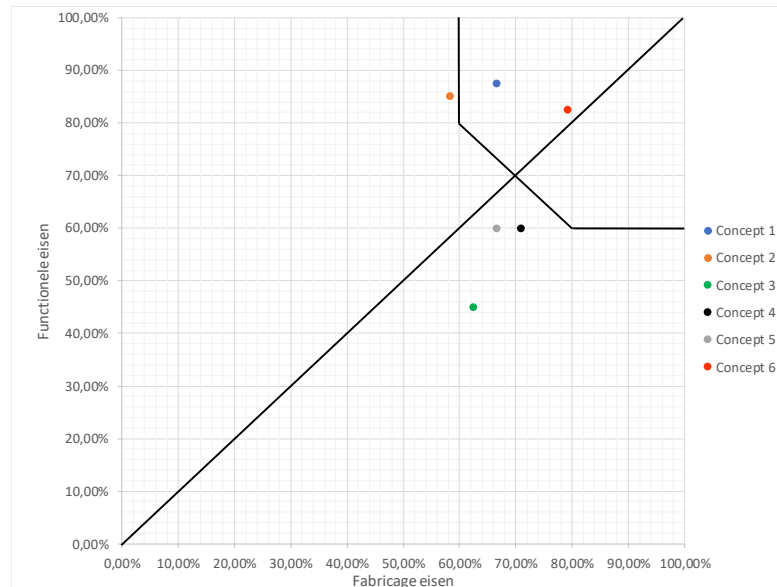
Nu de weegfactoren bepaald zijn kan de scoretabel (Tabel 2) ingevuld worden. Hier worden alle concepten getest aan de verschillende eisen door middel van het geven van scores, met als resultaat een score percentage voor de functionele en fabricage variabele eisen. Deze percentages geven aan hoe goed het concept theoretisch voldoet aan de gestelde functionele en fabricage variabele eisen.

Tabel 2 Scoretabel

		Eisen								
Referentie		Functionele eisen	Weegfactor	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5	Concept 6	Ideaal
FU06		De machine moet op zijn minst één met planten gevulde tray of één plant van 15 kilogram kunnen verwerken.	2	4	4	4	8	6	2	8
FU07		De machine moet in samenwerking met het waarnemingssysteem op zijn minst vier karren per uur kunnen laden of lossen.	1	3	2	3	2	4	3	4
FU08		De machine moet trays en/of potten met een nauwkeurigheid van minimaal 5 millimeter kunnen plaatsen ten opzichte van de gewenste positie.	3	12	12	3	6	6	12	12
FU09		De machine moet trays en/of potten met een nauwkeurigheid van minimaal 5 millimeter op kunnen pakken ten opzichte van de aangegeven oppak locatie.	4	16	16	8	8	8	16	16
Totaal score			10	35	34	18	24	24	33	40
Totaal score in percentage				87,50%	85,00%	45,00%	60,00%	60,00%	82,50%	100,00%
		Fabricage eisen								
FA08		De machine moet binnen drie tot vijf kalender jaren terug te verdienen zijn.	2	4	6	8	6	4	4	8
FA09		De machine moet met zo min mogelijk aanpassingen verschillende type trays en/of potten op kunnen pakken.	3	9	6	3	9	9	12	12
FA10		De levensduur van de machine bedraagt minimaal 31.200 uur bij correct uitgevoerd onderhoud.	1	3	2	4	2	3	3	4
Totaal score			6	16	14	15	17	16	19	24
Totaal score in percentage				66,67%	58,33%	62,50%	70,83%	66,67%	79,17%	100,00%

5.6. Kesselring methode

De Kesselring methode wordt gebruikt om de scoretabel te visualiseren en aan de hand van een zelf bepaalde drempelwaarde te bepalen of concepten voldoen aan de gestelde variabele eisen. Deze drempelwaarde is in dit geval op 60% ingesteld zoals te zien in Figuur 9 weergegeven.



Figuur 9 Kesselring diagram

Hieronder wordt per concept uitgelegd of deze verder uitgewerkt wordt in dit document, en waarom dit wel of niet gebeurt.

- ✖ **Concept 1** - Concept 1 heeft de op één na hoogste score behaald voor fabricage eisen, en de hoogste score voor functionele eisen. Hiermee scoort het concept over het algemeen als tweede. Omdat dit concept zo hoog scoort en daarmee veel potentie heeft om een goede oplossing te zijn, wordt deze verder uitgewerkt.
- ✚ **Concept 2** - Dit concept scoort bijna even hoog als concept 1 wat betreft de functionele eisen, en scoort net onder de maat wat betreft de fabricage eisen. De voornaamste reden dat dit concept onder de maat scoort wat betreft fabricage eisen, is het feit dat het veel moeite kost om het mogelijk te maken om verschillende type fust op te kunnen pakken. Dit wordt veroorzaakt doordat parameters handmatig aangepast moeten worden in de PLC. Naast dit onderdeel blijkt dit concept goed te scoren, waardoor er gekozen is om dit concept uit te werken.
- ▬ **Concept 3** - Concept 3 is het slechtst scorende concept in zowel functionele eisen als fabricage eisen. Dit komt voornamelijk doordat dit concept nauwelijks modulair, en niet nauwkeurig is, terwijl dit de belangrijkste eisen zijn die gesteld worden aan het concept. Hierdoor is er besloten om dit concept dan ook niet verder uit te werken.
- ▬ **Concept 4** - Concept 4 scoort wat betreft de functionele eisen precies even hoog als de drempelwaarde, waardoor deze net buiten het gebied rechtsboven in de grafiek eindigt. Verder scoort dit concept wel boven gemiddeld wat betreft de fabricage eisen. De reden dat deze scores zijn behaald, is voornamelijk doordat in dit concept gekozen is om een gelijkstroommotor te gebruiken voor het bijdraaien van het oppak- en plaatsing mechanisme. Dit zorgt ervoor dat dit concept laag scoort op nauwkeurigheid van oppakken en plaatsen. Dit concept heeft veel overlap met concepten 2 en 6 die in paragraaf 6.1. verder uitgewerkt zullen worden. Hierdoor wordt dit concept indirect ook deels uitgewerkt aan de hand van deze twee concepten.

≠ **Concept 5** - Ook concept 5 voldoet niet aan het minimale drempelwaarde scorepercentage voor functionele en fabricage eisen. De voornaamste reden dat dit concept lager scoort op functionele eisen, is omdat de nauwkeurigheid niet gegarandeerd kan worden bij hoge lasten, doordat de roterende as van de cilindrische robot niet stijf genoeg is. De cilindrische robot wordt hierdoor niet verder uitgewerkt. Echter lijkt het oppak- en plaatsing mechanisme wel een concept te zijn dat rendabel is. Hierdoor is er gekozen om dit concept uit te werken met de nadruk op het oppak- en plaatsing mechanisme, zodat deze eventueel te gebruiken is voor andere concepten.

+ **Concept 6** - In de Kesselring diagram is te zien dat concept 6 het hoogst scoort, en heeft op dit moment dan ook het meeste potentie om de gewenste functies te vervullen. Hierdoor wordt dit concept logischerwijs verder uitgewerkt om te kijken of deze daadwerkelijk het beste gaat functioneren.

6. Vormgevende fase

Tijdens de vormgevende fase worden de concepten die in hoofdstuk 5 gekozen zijn verder uitgewerkt en wordt op basis van de voor- en nadelen van deze concepten een concept gekozen.

6.1. Concept uitwerking

In deze sub-paragraaf worden de gekozen concepten verder uitgewerkt, zodat er een onderbouwde keuze gemaakt kan worden tussen deze concepten, of een combinatie van deze concepten. Dit wordt gedaan door het benoemen van de voor- en nadelen van de bewegingsmechanismen, en oppak- en plaatsing mechanisme. De voor- en nadelen van de concepten zijn bepaald, terwijl de werkvolume, motorkracht en processor vermogen van de concepten gelijk aan elkaar zijn.

✖ 6.1.1. Concept 1

Bij concept 1 is het mogelijk om handmatig door middel van een HMI scherm het fust type, pose, laaghoogte en aflever punt te ontvangen. Deze informatie wordt dan gebruikt om een gearticuleerde robot naar de gewenste posities te sturen, zodat deze door middel van een end-effector, die aangedreven wordt door één servomotor, fust op kan pakken. Het oppak- en plaatsing mechanisme is variabel in de breedte door de "Pinion" van het mechanisme te bewegen, waardoor de grijper breder of smaller wordt en daardoor meerdere types fust op kan pakken.

Bewegingsmechanisme

Het meest relevante voordeel van de gearticuleerde robot is, dat hij bestand is tegen stoffige en vochtige omgevingen, wat bevorderlijk is voor de levensduur van dit type robot. Het grootste nadeel van deze robot is, dat er veel processor vermogen nodig is om de complexe berekeningen uit te voeren die nodig zijn om bewegingen te realiseren. De voor- en nadelen van het bewegingsmechanisme zijn hier op een rijtje gezet.

Voordelen

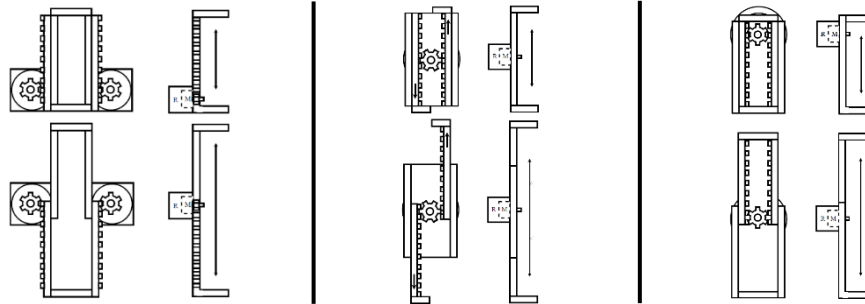
- + Kan een object vanaf meerdere oriëntaties benaderen zolang het object zich in de "Dexterous workspace" bevindt, en hierdoor om obstakels heen manoeuvreren.
- + Recepten toe te voegen, en aan te passen aan de hand van een HMI scherm.
- + Bestand tegen stoffige en vochtige omgevingen [6].
- + Hoge werkgebied per vloeroppervlakte verhouding.
- + Kan boven zijn eigen hoogte reiken.

Nadelen

- Veel processor vermogen nodig voor het uitvoeren van complexe berekeningen.

Oppak- en plaatsing mechanisme

Het oppak- en plaatsing mechanisme van concept 1 heeft drie voordelen en één nadeel. De drie genoemde voordelen zijn allemaal relevant voor het vervullen van de gewenste functies. De twee grootste voordelen zijn dat het mechanisme nauwkeurig is, en een variabele breedte heeft voor de gewenste flexibiliteit. Afhankelijk van de gekozen configuratie is de last echter niet symmetrisch verdeeld, wat kan resulteren in ongewenste krachtverdelingen en onnauwkeurigheden. Een aantal mogelijke configuraties zijn weergegeven in Figuur 10. De voor- en nadelen van de algemene configuratie zijn hieronder op een rijtje gezet.



Figuur 10 Oppak- en plaatsingsmechanisme - Rack & Pinion

Voordelen

- + Nauwkeurig.
- + Variabele breedte.
- + Compact mechanisme.

Nadelen

- Lasten niet altijd symmetrisch verdeeld afhankelijk van de gekozen configuratie.

+ 6.1.2. Concept 2

Concept 2 maakt gebruik van het handmatig invoeren van de parameters in het PLC programma, die vervolgens worden omgerekend in de gewenste informatie. Deze informatie wordt vervolgens door een cartesische robot gebruikt om naar de gewenste posities te bewegen. Hierna wordt het oppak- en plaatsing mechanisme bijgedraaid en geactueerd door middel van een pneumatische of elektrische stappenmotor. Dit oppak- en plaatsing mechanisme bestaat uit een wormwiel mechanisme, dat door een worm aan te drijven de wormwielen aanstuurt, waardoor de grijper opent of sluit tot een variabele breedte.

Bewegingsmechanisme

Het bewegingsmechanisme van concept 2, de cartesische robot, heeft een stuk minder voordelen dan concept 1. Dit mechanisme heeft echter twee voordelen, namelijk dat deze zware objecten kan verwerken en nauwkeurigheden tot 10 μm kan behalen, aldus Vaughn. Naast deze voordelen zijn er ook relatief veel nadelen aan dit bewegingsmechanisme, waaronder het feit dat het moeilijk is om de lineaire geleidingen stof en vochtvrij te houden. Hieronder zijn de voor- en nadelen op een rijtje gezet.

Voordelen

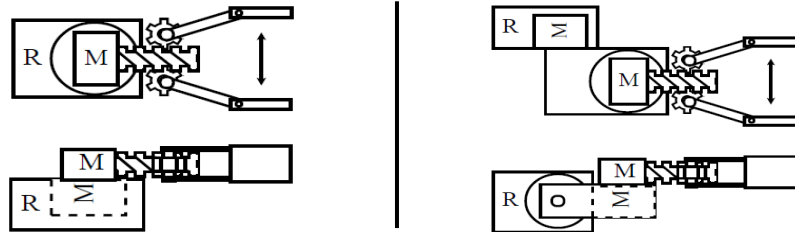
- + Kan relatief zware objecten verwerken door de starre structuur van de machine.
- + Nauwkeurigheden tot 10 μm [7].
- + Weinig processor vermogen nodig voor het uitvoeren van simpele berekeningen.

Nadelen

- Lage werkgebied per vloeroppervlakte verhouding.
- Moeilijk om stof en vocht buiten lineair bewegende delen te houden [6].
- Kan niet boven zijn eigen hoogte reiken.

Oppak- en plaatsing mechanisme

Concept 2 heeft een oppak- en plaatsing mechanisme met vier voordelen, en twee nadelen. Alle voordelen zijn zoals bij concept 1 relevant voor het vervullen van de gewenste functies. Het grootste nadeel is dat het mechanisme niet compact te realiseren is voor de gewenste object dimensies. Een aantal mogelijke configuraties zijn weergegeven in Figuur 11. De voor- en nadelen van de algemene configuratie zijn hieronder op een rijtje gezet.



Figuur 11 Oppak- en plaatsingsmechanisme - Wormwiel

Voordelen

- + Een wormwiel aandrijving is niet backdrivable, waardoor deze niet open of dicht gedrukt kan worden wanneer de motor uit staat [8].
- + Symmetrische verdeling van de last over de grijper.
- + Doordat de stappenmotor slipgevoelig is, heeft de grijper een inherente beveiliging tegen het beschadigen van trays, potten of planten.
- + Variabele breedte.

Nadelen

- De stappenmotor is slipgevoelig, waardoor deze nauwkeurigheid verliest wanneer deze boven capaciteit werkt.
- Geen positionele feedback (kan opgelost worden door encoder op worm).
- Grijper is niet compact uit te voeren voor de gewenste object dimensies.
- Slijtagevoelig.

6.1.3. Concept 5

De gewenste informatie wordt in concept 5 door middel van “hardcoden” verkregen. Dit wil zeggen dat de informatie die vereist is voor het bewegen, oppakken en plaatsen statisch zijn. Hierdoor worden er in de praktijk eisen gesteld aan de Deense karren en het type fust die binnen komen, zodat de machine deze kan verwerken. Een cilindrische robot wordt gebruikt om naar de gewenste locaties te bewegen, zodat door middel van een transportband die in- en uitgestuurd wordt door een pneumatische of hydraulische zuiger het fust opgepakt kan worden. Deze zuiger wordt wanneer nodig bijgedraaid door een stappenmotor.

Bewegingsmechanisme

Net als het bewegingsmechanisme van concept 2 heeft ook het mechanisme van concept 5 een stuk minder voordelen dan concept 1. Het grootste voordeel is dat de roterende as van de cilindrische robot bestand is tegen stoffige en vochtige omgevingen. De lineaire gedeeltes van het mechanisme zijn echter niet stof en vocht bestendig, wat dan ook een nadeel is aan dit mechanisme. Het grootste nadeel aan dit concept is echter dat de roterende as slecht bestand is tegen axiale belastingen, waardoor onnauwkeurigheden in het oppak- en plaatsing mechanisme kunnen ontstaan. De voor- en nadelen van deze configuratie zijn hieronder op een rijtje gezet.

Voordelen

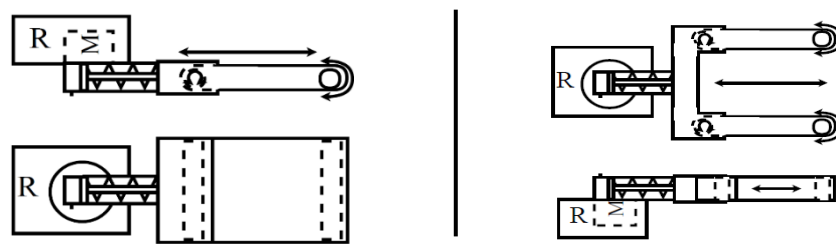
- + Snelle cyclus tijden mogelijk.
- + Roterende as goed bestand tegen stoffige en vochtige omgevingen [6].
- + Weinig processor vermogen nodig voor het uitvoeren van simpele berekeningen.

Nadelen

- Cilindrische robots komen relatief weinig voor [9] in de praktijk, waardoor beschikbaarheid van hardware en software gelimiteerd is.
- Roterende as is slecht bestand tegen axiale belastingen.
- Moeilijk om stof en vocht buiten lineair bewegende delen te houden [6].

Oppak- en plaatsing mechanisme

Het oppak- en plaatsing mechanisme van concept 5 heeft twee voordelen, en vijf nadelen. Het grootste voordeel van dit mechanisme is, dat deze mogelijk alle fust types kan oppakken en plaatsen waardoor deze flexibel inzetbaar is. De grote nadelen aan dit mechanisme zijn, dat bladeren van planten tussen draaiende delen van de lopende banden kunnen komen waardoor deze beschadigen, en dat het mechanisme, afhankelijk van de configuratie, niet variabel is in de breedte. Net als de mechanismes van concept 1 en 2 kan dit concept op meerder manieren geconfigureerd worden zoals weergegeven in Figuur 12. De voor- en nadelen van de algemene configuratie zijn hieronder op een rijtje gezet.



Figuur 12 Oppak- en plaatsingsmechanisme - Lopende band

Voordelen

- + Kan mogelijk alle fust types oppakken en plaatsen.
- + Afhankelijk van de configuratie breedte variabel.

Nadelen

- Pneumatische of hydraulische voorziening vereist om de zuiger aan te sturen.
- Bladeren van planten kunnen tussen de draaiende delen van de lopende band komen, waardoor deze beschadigen.
- Onnauwkeurige beweging door het gebruik van een zuiger als actuator.
- Transportbanden kunnen door vuil, slijtage of rek grip verliezen.
- Afhankelijk van de configuratie breedte niet variabel.

6.1.4. Concept 6

Bij concept 6 wordt gebruik gemaakt van een secundair systeem dat automatisch de gewenste informatie doorspeelt naar de machine. Deze informatie wordt door een SCARA robot gebruikt om naar de gewenste posities te bewegen. Het oppak- en plaatsing mechanisme kan door middel van twee Servomotoren nauwkeurig bijgedraaid en geactueerd worden. Het oppak- en plaatsing mechanisme bestaat net als bij concept 4 uit het "Rack and Pinion" mechanisme waarvan de "Rack" aangestuurd wordt door middel van een tandwieloverbrenging, waardoor de grijper naar een variabele breedte kan openen of sluiten.

Bewegingsmechanisme

Het bewegingsmechanisme van concept 6 heeft net als concept 1 veel voordelen welke niet allemaal even relevant zijn. De grootste voordelen zijn, dat de flexibiliteit van dit systeem hoog is doordat informatie verkregen kan worden door middel van een secundair systeem, en dat dit mechanisme, net als het mechanisme van concept 1, goed bestand is tegen stoffige en vochtige omgevingen. Het grootste nadeel van dit mechanisme, is dat het mechanisme naar de verkeerde locatie gestuurd kan worden door het secundaire systeem (minder betrouwbaar dan handmatig of berekende besturing) wanneer deze foute informatie verkrijgt. Ook dit

bewegingsmechanisme heeft maar één configuratie mogelijkheid. De voor- en nadelen van deze configuratie zijn hieronder op een rijtje gezet.

Voordelen

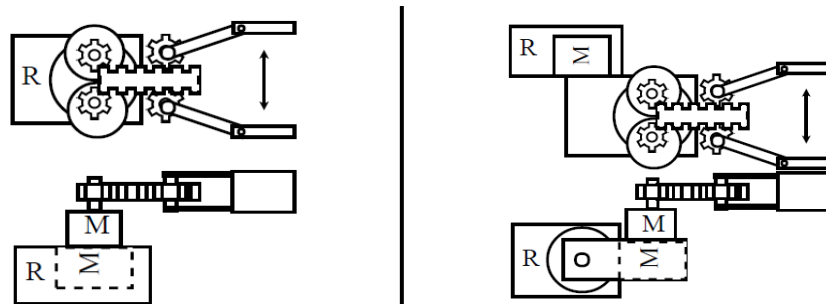
- + Twee manieren om op een positie te komen.
- + Modulaire oppak- en plaatsing coördinatie doordat een secundair systeem deze informatie kan verkrijgen en automatisch door kan voeren naar de robot.
- + Goed bestand tegen stoffige en vochtige omgevingen [6].
- + Hoge werkgebied per vloeroppervlakte verhouding.

Nadelen

- Veel processor vermogen nodig voor het uitvoeren van complexe berekeningen.
- Wanneer verkeerde informatie wordt verschaft door het secundaire systeem beweegt de robot naar verkeerde posities, waardoor schade aan de machine of omgeving kan ontstaan.
- Kan niet boven zijn eigen hoogte reiken.

Oppak- en plaatsing mechanisme

De voordelen van concept 6 zijn vergelijkbaar met die van concept 1 op de symmetrische verdeling van de lasten na. Het nadeel van dit mechanisme is, dat deze niet compact uit te voeren is, doordat de breedte afhankelijk is van de lengte van de spindel en armen van het mechanisme. Ook deze grijper kan op meerdere manier geconfigureerd worden. Een aantal mogelijke configuraties zijn weergegeven in Figuur 13. De voor- en nadelen van de algemene configuratie zijn hieronder op een rijtje gezet.



Figuur 13 Oppak- en plaatsingsmechanisme - Spindel

Voordelen

- + Nauwkeurig.
- + Variabele breedte.
- + Symmetrische verdeling van de last over de grijper.

Nadelen

- Geen compact mechanisme voor gewenste dimensies.

6.2. Conceptvergelijking

Om een beter overzicht te krijgen van de voor- en nadelen die in deze paragraaf naar voren zijn gekomen, worden deze in Bijlage VIII op een rijtje gezet. Hierdoor wordt het makkelijker om de concepten te vergelijken, en een goed onderbouwde keuze te maken.

6.3. Conceptkeuze

Ook het conceptkeuze gedeelte is opgedeeld in twee delen, namelijk het bewegingsmechanisme en het oppak- en plaatsing mechanisme. In deze paragraaf wordt aan de hand van de hiervoor genoemde voor- en nadelen een onderbouwde keuze gemaakt.

6.3.1. Bewegingsmechanisme

Voor het bewegingsmechanisme zijn nog vier robot types waaruit gekozen kan worden. Van deze robots valt de cilindrische robot af. Deze is het minst nauwkeurig bij de gewenste lasten doordat de roterende as, welke slecht bestand is tegen hoge krachten, door kan buigen. Verder worden cilindrische robots weinig aangeboden op de markt, waardoor hardware en software niet, of moeilijk te verkrijgen zijn. Hierdoor wordt het onderhouden, inkopen of produceren van deze robots duurder of langzamer.

De bewegingsmechanismen van concept 1 en concept 6 hebben ongeveer dezelfde voor- en nadelen. Een SCARA robot als bewegingsmechanisme is met dezelfde specificaties (belasting capaciteit, snelheid etc.) over het algemeen iets duurder (3000-4000 euro) dan een gearticuleerde robot. Dit komt doordat een SCARA robot een stuk nauwkeuriger en preciezer is dan een gearticuleerde robot, maar levert hiervoor werkgebied in. Dit in combinatie met het feit dat concept 1 meer (relevante) voordelen en minder nadelen heeft dan concept 6 en het grootste voordeel van concept 6, het toevoegen van een secundair systeem, ook toe te passen is op concept 1 en concept 2. Hierdoor is er gekozen om de voordelen van het mechanisme uit concept 6 mee te nemen in de mechanismen van concept 1 en concept 2.



Figuur 14 IRB 2600-20/1,65 Robot [10]

Het mechanisme van concept 1 en concept 2 zijn, wat betreft relevante voordelen en nadelen, niet significant verschillend. Echter wordt er gekozen voor concept 1 doordat deze meer voordelen heeft, waaronder de bestendigheid tegen stoffige en vochtige omgevingen welke erg relevant is, en minder nadelen heeft. Gearticuleerde robots met de gewenste specificaties voor nauwkeurig, grootte en sterkte bestaan, hiervoor is een starre structuur voor zware objecten en een nauwkeurigheid tot 10 μm niet nodig om de gewenste functionaliteiten te behalen. Een ABB IRB 2600 (Figuur 14) heeft bijvoorbeeld volgens [10] een precisie van 0.04 mm en een



Figuur 15 Cartetische robot [19]

herhaalbaarheid van 0.16 mm met een verwerkingsmassa van 20 kilogram. Hierdoor zijn de enige voordelen van concept 2 ten opzichte van concept 1 dat een cartesische robot (Figuur 15) een stuk goedkoper is in vergelijking met een gearticuleerde robot, en dat de berekeningen die door een processor uitgevoerd worden om coördinaten van de cartesische robot te berekenen minder complex zijn. In tegenstelling tot de cartesische robot moeten er wel complexe berekeningen uitgevoerd worden om de coördinaten van de gearticuleerde robot te berekenen. Deze robot kan echter wel om obstakels heen manoeuvreren en een punt in meerdere oriëntaties benaderen. De complexe berekeningen die nodig zijn voor deze manoeuvres zijn dusdanig complex dat de juiste PLC deze goed uit kan voeren terwijl andere processen bezig zijn.

Het bewegingsmechanisme, bestaande uit de gearticuleerde robot manipulator, wordt van af nu afgekort als GRM.

6.3.2. Oppak- en plaatsing mechanisme

Net als bij het bewegingsmechanisme zijn er nog vier mogelijkheden waaruit gekozen kan worden. De mechanisme van concept 1 en 6 hebben beide drie voordelen, en maar één nadeel. Hierbij is het nadeel van concept 6 (geen compact mechanisme) meer relevant dan die van concept 1 doordat er bij concept 1 gekozen kan worden voor een configuratie waarbij de lasten wel symmetrisch verdeeld zijn, waardoor het enige nadeel van concept 1 wegvalt. Bij concept 6 is het niet mogelijk om de grijper compact te realiseren onafhankelijk van de configuratie, hierdoor is er gekozen om het oppak- en plaatsing mechanisme van concept 6 af te laten vallen.

Ook het mechanisme van concept 2 is niet compact uit te voeren, echter heeft deze wel een aantal ingebouwde veiligheden voor de trays, potten en planten door het gebruik van een wormwiel aandrijving en stappenmotor. De stappenmotor kan vervangen worden door een servomotor om de slipgevoeligheid te verlagen, en positionele feedback te verkrijgen. Hierdoor verliest het concept wel zijn inherente beveiliging tegen het beschadigen van de planten. Kortom ook dit concept kan, doordat deze niet compact uit te voeren is, niet concurreren met de mechanisme uit concept 1.

Van deze mogelijkheden heeft concept 5 het meeste nadelen en het minste voordelen. Toch maakt de mogelijkheid om alle fust types met één mechanisme op te pakken en te plaatsen dit concept aantrekkelijk. Hier zijn twee verschillende configuraties mogelijk, als er gekozen wordt voor een band die onder het fust wordt geschoven, dan moet de band even breed zijn als het minst brede fust om te voorkomen dat naastliggend fust mee worden genomen. Hierdoor is het lastig om ook het breedste fust op te pakken met dezelfde band. Er moet dan dus ook een extra ondersteuningsmechanisme voor bijgemaakt worden om te voorkomen dat dit fust van de band afvalt tijdens het oppakken of plaatsen hiervan. Voor de andere configuratie, waarbij twee banden aan de zijkant van het fust het fust naar binnen draait, is het ook nodig om de twee banden in de breedte variabel te maken. Het enige voordeel van deze banden ten opzichte van het vork principe dat gebruikt wordt in concept 1, is dat het mechanisme niet altijd volledig de Deense kar in hoeft om het fust op te pakken. Een nadeel is dat deze band in de tweede configuratie van concept 5 een stuk dikker is dan de vorken gebruikt in concept 1, waardoor er minder speling is tussen de nabijgelegen fust en het op te pakken fust wanneer deze opgepakt of geplaatst worden. Verder is het mechanisme van concept 1 een stuk nauwkeuriger en veiliger voor de planten dan concept 5 doordat deze geen bewegende delen bevat waar bladeren van planten tussen kunnen komen, en gebruik wordt gemaakt van servomotoren met een hoge nauwkeurigheid en precisie. Hierdoor wordt er gekozen om verder te gaan met het uitwerken van het mechanisme uit concept 1.

Het oppak- en plaatsing mechanisme wordt van af nu afgekort als OPM. De samenstelling van de GRM en het OPM wordt van af nu de DeenRobot genoemd.

6.4. GRM keuze

In hoofdstuk 2 is er gekozen om een GRM (zoals Figuur 16) te gebruiken. In deze paragraaf worden de GRM's van verschillende merken met elkaar vergeleken, en wordt één robot uitgekozen aan de hand van een aantal keuze parameters.

6.4.1. Keuzeparameters

Om de juiste robot te kiezen die hierbij hoort is er gekeken de volgende onderdelen:

- Capaciteit (belasting);
- Capaciteit (snelheid);
- Werkbereik;
- Precisie;
- Omgevingsomstandigheden;
- Beschikbaarheid;



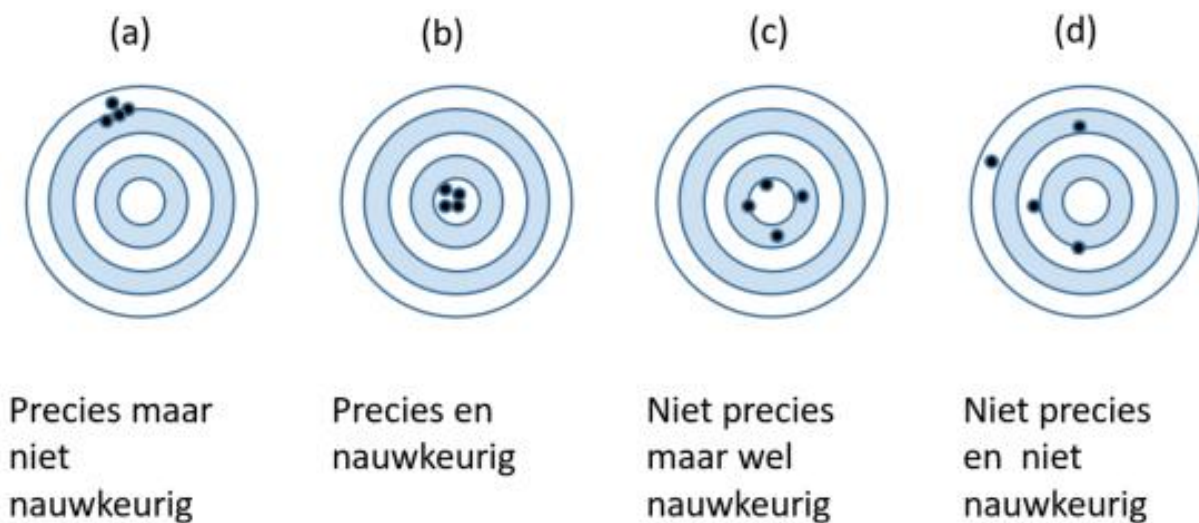
Figuur 16 FANUC robot [18]

Capaciteit (belasting) - De belastingcapaciteit wordt bepaald door de gewenste massa dat de robot moet kunnen verwerken. Volgens de eisen dient de GRM een massa van 15 kg te kunnen verplaatsen. Hier moet dan ook op zijn minst aan voldaan worden, terwijl rekening gehouden moet worden met de massa van het OPM dat gerealiseerd gaat worden, zodat de capaciteit behaald wordt. Wanneer er bij het OPM gekozen wordt voor meerdere grippers die een laag in één beweging leeg halen, is een GRM nodig die meer dan 15 kg kan verplaatsen. Volgens [11] is de maximale belasting van een Deense kar laag 60 kg. Hierdoor is het in theorie dus mogelijk om een laag door een GRM die tot 80 kg belast kan worden in één beweging te vullen of leeg te kunnen halen. Hierbij wordt rekening gehouden met een massa van circa 3 kg per OPM en een Deense kar met vijf trays per laag.

Capaciteit (snelheid) - De snelheidscapaciteit wordt bepaald door de capaciteit zoals in de eisen gedefinieerd. Deze eis stelt dat er elk uur minimaal vier karren met tien lagen en vijf trays per laag verwerkt moeten kunnen worden door het systeem. Om dit te realiseren heeft de robot, uitgaande van een OPM die één tray of pot per keer kan pakken, 200 handelingen nodig om deze te vullen of te legen. Dit betekent dat de robot per handeling, inclusief computer vision en aan- en afvoer van de Deense kar, maximaal $\frac{3600}{200} = 18$ seconden de tijd heeft om deze te voltooien en een nieuwe handeling te beginnen. Per handeling worden twee seconden gereserveerd voor de computer vision, en één seconde om het aan- en af te voeren van de Deense kar. De robot heeft dan dus 15 seconden de tijd om een handeling van een tray te voltooien.

Werkbereik - Het werkbereik omvat het gebied waar de end effector van de robot kan komen. Voor een gearticuleerde robot is dit onderverdeeld in een “dexterous” werkgebied, waarin de end effector een punt vanaf meer dan twee oriëntaties kan benaderen, en een “reachable” werkgebied, waarin de end effector het punt op één of twee manieren kan benaderen. Voor de GRM is één manier al goed genoeg, waardoor de robot het volledige werkgebied kan benutten. Om het benodigde werkgebied van de GRM te kunnen bepalen zijn de dimensies en plaatsingslocatie van de Deense kar nodig. Deense karren hebben volgens [11] externe dimensies van (L x W x H) 1350 x 565 x 1900 mm met de mogelijkheid om stalen of kunststof opzetstukken van 390 of 650 mm lang te gebruiken om de kar 7 of 11 extra gaten te geven waar extra platen in geplaatst kunnen worden. Wanneer het opzetstuk van 650 mm wordt gebruikt, wordt de Deense kar in totaal 2550 mm hoog. De plaatsingslocatie van de Deense kar wordt bepaald wanneer de GRM is gekozen, zodat deze overal goed bij kan terwijl de Deense kar zo dicht mogelijk bij de GRM wordt geplaatst. Een werkbereik van minimaal 2000 mm is nodig om de trays van de hoogst mogelijke plaat af te kunnen pakken.

Precisie - Het is ook belangrijk om de vereiste nauwkeurigheid van vijf millimeter te kunnen behalen. Hiervoor is een nauwkeurige GRM van groot belang. Een nauwkeurigheid van vijf millimeter is voor veel gearticuleerde robots geen probleem. De oppak- en plaatsing nauwkeurigheid van de robot is sterk gerelateerd aan de precisie, zoals te zien in Figuur 17, doordat de fout in de nauwkeurigheid van de robot softwarematig op te lossen is door een aantal millimeters bij de gewenste bestemming op te tellen of af te trekken. Dit is in het geval van precisie niet mogelijk. Bij een hoge precisie, en een relatief lage nauwkeurigheid, maar met de juiste software kalibratie kan de robot toch op de juiste locatie komen te staan. De nauwkeurigheid heeft echter wel effect op het pad dat de robot volgt om bij de gewenste locatie te komen. Een hoge nauwkeurigheid zorgt hier voor een kleinere kans op collisions met objecten in het werkgebied.



Figuur 17 Overzicht precisie en nauwkeurigheid [17]

Omgevingsomstandigheden - Volgens de eisen moet de DeenRobot kunnen functioneren in een omgeving met een temperatuur tussen de 0 en 50 °C, een luchtvochtigheid van ~95% en kan stoffig zijn. Hiervoor moet een GRM komen die in deze omstandigheden kan functioneren zonder nauwkeurigheid of precisie te verliezen, of zelfs te overbelasten. De gekozen gearticuleerde robot moet dan ook minimaal kunnen functioneren tussen 0 en 50 °C, en een IP-classificatie hebben van 67 zoals gespecificeerd in IEC 60529:2001.

Beschikbaarheid - Beschikbaarheid speelt een rol om ervoor te zorgen dat het project binnen het budget blijft. Hiermee wordt bedoeld dat er rekening gehouden wordt met het inventaris van WPS, aanwezige machines, de gewenste productie methoden, en gebruikte programma's. Ook met levertijd wordt rekening gehouden om zo min mogelijk uit te lopen op de planning. De maximale levertijd van onderdelen voor de GRM bedraagt 6 weken levertijd.

6.4.2. Keuze verantwoording

Hieronder wordt in Tabel 4 een aantal GRM's van de bedrijven FANUC, KUKA en ABB tegenover elkaar gezet. Deze GRM's worden met elkaar vergeleken, en wordt er aan de hand van de hierboven genoemde criteria bepaald welke GRM er gebruikt wordt in de DeenRobot. De data die in deze tabel wordt weergegeven is gevonden in de datasheet van de respectievelijke GRM, deze zijn terug te vinden in Tabel 3.

Tabel 3 Robot overzicht en weblinks

1	IRB 5400-12 slim arm	https://bit.ly/2WezsRv
2	IRB 4600-60/2.05	https://bit.ly/2CVQHf6
3	IRB 4600-40/2.55	https://bit.ly/2CVQHf6
4	IRB 2600-20/1.65	https://bit.ly/2MhDHYc
5	KR 60 L30-3 F	https://bit.ly/2Wrf22q
6	KR 30-3 C	https://bit.ly/20R6bel
7	KR 12 R1810-2	https://bit.ly/2KcXF3r
8	R-1000iA/100F	https://bit.ly/2l5XPac
9	R-1000iA/80F	https://bit.ly/2l6camX
10	M-710iC/45M	https://bit.ly/2XeoMif
11	M-710iC/20M	https://bit.ly/2wrmFfi

Tabel 4 Overzicht parameters van GRM's

Nr.	Belasting capaciteit (kg)	Snelheid capaciteit (m/s)	Werkbereik (mm)	Precisie (mm)	Omgevingstemperatuur (°C)	Max. Luchtvochtigheid (%)	Max. geluidsniveau (dB)	IP-klasse (volgens IEC 60529:2001)	Gewicht (kg)	Levertijd (weken)
1	65	1,50	2829	0,15	5 tot 45	95	N/A	IP 54	970	6
2	60	2,00	2051	0,06	5 tot 45	95	72	IP 67	425	6
3	40	2,00	2552	0,06	5 tot 45	95	72	IP 67	435	6
4	20	2,00	1653	0,04	5 tot 50	95	69	IP 67	272	6
5	30	1,25	2429	0,06	10 tot 55	95	75	IP 64	679	2 tot 4
6	30	1,50	2033	0,07	10 tot 55	95	75	IP 64	635	2 tot 4
7	22	2,50	1813	0,04	5 tot 55	95	75	IP 65	250	2 tot 4
8	100	1,00	2230	0,03	0 tot 45	95	70	IP 56	620	3 tot 4
9	80	1,50	2230	0,03	0 tot 45	95	70	IP 56	665	3 tot 4
10	45	2,50	2606	0,06	0 tot 45	95	71,3	IP 67	570	3 tot 4
11	20	2,00	2582	0,06	0 tot 45	95	71,3	IP 67	530	3 tot 4

De variabele die het meeste afwijken van elkaar zijn de belasting capaciteit, snelheid, werkbereik en massa van de GRM. Al deze GRM's voldoen niet aan de eis met betrekking tot de omgevingstemperatuur welke 0-50 °C bedraagt (ABB robots 5-45, FANUC robots 0-45 °C en KUKA robots 5-50 °C). Er is in overleg met de opdrachtgever besloten om de eis dan ook te veranderen naar een omgevingstemperatuur van 5-45 °C, waardoor al de hierboven genoemde robots binnen deze eis vallen.

Nu alle robots kunnen voldoen aan de gestelde eisen, wordt er gekeken naar de beschikbaarheid, en in welke mate de verschillende robots kunnen voldoen aan de eisen. In Tabel 5 wordt de mate waarin de verschillende robots aan de eisen voldoen weergegeven. Hierbij zijn de cijfers bepaald aan de hand van de relatieve parameters van de robots. De omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid zijn weggelaten, omdat deze voor alle robots praktisch hetzelfde zijn.

Tabel 5 Scoretabel met minder relevante parameters

Nr.	Capaciteit (belasting)	Capaciteit (snelheid)	Werkbereik	Precisie	Max. geluidsniveau	IP-klasse	Gewicht	Levertijd	Totaal	Totaal percentage (%)
1	3	2	4	1	1	1	1	1	14	44%
2	3	3	2	2	2	4	2	1	19	59%
3	2	3	3	2	2	4	2	1	19	59%
4	1	4	1	3	4	4	4	4	25	78%
5	1	1	3	2	1	2	2	3	15	47%
6	1	1	2	2	1	2	2	3	14	44%
7	1	4	1	3	1	3	4	3	20	63%
8	4	1	3	4	3	1	2	2	20	63%
9	4	2	3	4	3	1	2	2	21	66%
10	2	4	4	2	2	4	2	2	22	69%
11	1	3	3	2	2	4	3	2	20	63%
	4	4	4	4	4	4	4	4	32	100%

Hieruit blijkt dat de IRB 2600-20/1.65 relatief het hoogste scoort ten opzichte van de andere GRM's. Dit komt vooral doordat deze GRM geen levertijd heeft, aangezien deze al aanwezig is bij WPS. Echter zijn hier nog een aantal parameters die minder relevant zijn in meegenomen, zoals het maximale geluidsniveau, en de massa van de robot. Wanneer deze worden weggelaten ziet de tabel er uit als in Tabel 6.

Tabel 6 Scoretabel relevante parameters

Nr.	Capaciteit (belasting)	Capaciteit (snelheid)	Werkbereik	Precisie	IP-klasse	Levertijd	Totaal	Totaal percentage (%)
1	3	2	4	1	1	1	12	60%
2	3	3	2	2	4	1	15	75%
3	2	3	3	2	4	1	15	75%
4	1	4	1	3	4	4	17	85%
5	1	1	3	2	2	3	12	60%
6	1	1	2	2	2	3	11	55%
7	1	4	1	3	3	3	15	75%
8	4	1	3	4	1	2	15	75%
9	4	2	3	4	1	2	16	80%
10	2	4	4	2	4	2	18	90%
11	1	3	3	2	4	2	15	75%
	4	4	4	4	4	4	20	100%

In deze tabel is te zien dat de M-710iC/45M van FANUC de IRB 2600-20/1.65 met een verschil van één punt voorbij is gegaan. Wanneer de levertijd hetzelfde had geweest als die van de IRB2600-20/1.65 dan had de M-710iC/45M een betere keuze geweest, aangezien deze wat meer speling biedt wat betreft het werkgebied en belasting capaciteit. Ook is het mogelijk om, bij de keuze voor M-710iC/45M, het OPM uit te breiden naar meerdere OPM's zodat deze in één beweging een Deense kar met meerdere trays of potten kan vullen of legen.

Ondanks de extra mogelijkheden van de M-710iC/45M is er gekozen om de aanwezige IRB2600-20/1.65 te gebruiken voor de "Proof of concept". Dit is gekozen om kosten te drukken, levertijd te verminderen. Voor de OPM configuratie van het "Proof of concept" is een belasting capaciteit van 20 kg genoeg, en een werkbereik van 1.65 is genoeg wanneer de robot op een platform wordt gezet van circa 800 mm hoog. Wanneer een OPM gerealiseerd wordt die een laag in één beweging leeg kan halen, wordt aangeraden om de R-1000iA/80F van FANUC te gebruiken. Dit wordt aangeraden, omdat deze de benodigde capaciteit heeft, zowel in snelheid als in belasting. Tevens heeft deze robot een hoge precisie en een relatief groot werkbereik. Het nadeel van de R-1000iA/80F is dat deze voor WPS minder relevant is aangezien zij geen expertise hebben over FANUC robots en software, terwijl zij dit wel hebben voor ABB robots en software.

6.5. OPM keuze

In hoofdstuk 2 is er gekozen om het OPM met "Rack & Pinion" principe toe te passen, waarbij de tandwielen draaien, en de tandheugel beweegt. In deze paragraaf wordt het ontwerpproces doorlopen dat resulteert in de uiteindelijke OPM configuratie. Dit ontwerpproces bestaat uit het bepalen van de te behalen dimensies wanneer deze open of gesloten is, de maximum massa van het OPM, plaatsing van tandheugels/tandwielen, en de motorselectie.

6.5.1. Dimensies

De te behalen dimensies zijn afhankelijk van de lengte, en breedte, en hoogte van de trays die opgepakt dienen te worden. Volgens [3] zijn de meest voorkomende trays van het type Normtray, met name de varianten 206, 208, 212, 236, 408, 410, 418 en 490. De grootste buiten dimensies voor deze trays zijn 560 x 254 x 71 mm (l x b x h). De kleinste binnen dimensies voor diezelfde trays zijn 530 x 220 x 50 mm. Om de trays op te kunnen pakken moet het OPM tussen de 210 en 540 millimeter kunnen bewegen, terwijl deze onder de rand van de tray blijft, en boven de laagrand van de Deense kar blijft. Deze hoogte is tussen de 20 en 50 millimeter hoog, afhankelijk van het type tray. Voor potten is dit minder van belang, aangezien de nek van deze potten een stuk hoger zijn dan de rand van de tray.

6.5.2. Massa

De gekozen GRM kan een belasting van 20 kg aan, hiervan is 15 kg gereserveerd voor de massa van het te verplaatsen fust om aan de hiervoor gestelde eis te voldoen. Voor overige onderdelen is dus nog maximaal 5 kg aan capaciteit beschikbaar. In overleg met Simon van Eeden is er besloten om de camera voor het door hem ontwikkelde detectie systeem op de OPM te plaatsen. Deze camera en zijn bevestigingsbeugel wegen ongeveer 200 gram, waardoor de OPM maximaal 4.8 kg mag wegen. Om te voorkomen dat ongewenste momenten optreden op de robot arm, is wordt het OPM zo symmetrisch mogelijk ontworpen.

6.5.3. Aandrijving

Om de OPM aan te drijven wordt een “Rack & Pinion” gebruikt. Hier zijn een aantal verschillende mogelijkheden voor, namelijk:

Configuratie 1 - Dubbel aangedreven (Figuur 18) - Deze configuratie bestaat uit twee tandwielen die los van elkaar aangedreven kunnen worden. Hierdoor kan de tandheugel effectief gebruikt worden. Het nadeel van deze configuratie is echter dat twee motoren nodig zijn, waardoor een offset tussen de tandheugels kan ontstaan en hierdoor fouten tijdens het oppakken kunnen ontstaan.



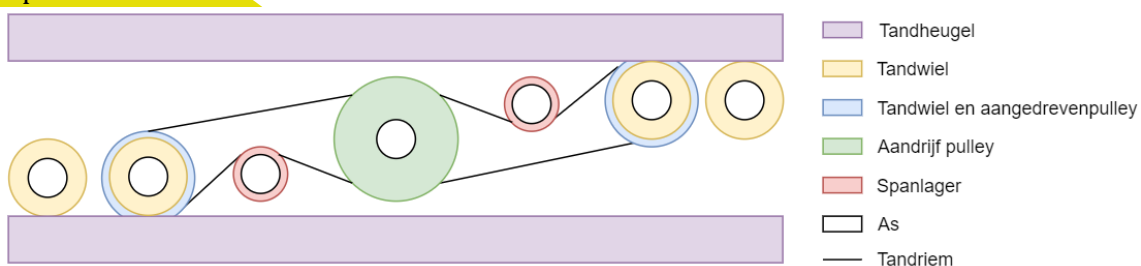
Figuur 18 Aandrijving – dubbel aangedreven

Configuratie 2 - Enkelvoudig aangedreven dubbel ondersteund (Figuur 19) - Bij deze configuratie worden de tandheugels aangestuurd door één aangedreven tandwiel in het midden, en worden de tandheugels waar deze de OPM uitkomen ondersteund door twee tandwielen. Deze voorkomen dat de tandheugel in de behuizing snijdt doordat deze doorbuigen. Verder kan doordat de tandheugels vanuit het midden aangestuurd worden kan de tandheugel niet verder dan de helft uitgestuurd worden.



Figuur 19 Aandrijving - enkelvoudig aangedreven dubbel ondersteund

Configuratie 3 - Enkelvoudig door pulley aangedreven (Figuur 20) - In essentie is deze configuratie een combinatie van de vorige twee configuraties. Deze configuratie maakt het mogelijk om de tandheugels met één motor aan te sturen, en toch de efficiëntie van configuratie 1 te behouden, waardoor deze de tandheugels verder dan de helft uit kan sturen. Verder wordt de offset tussen motoren weggenomen doordat er één motor gebruikt wordt. Echter is deze configuratie relatief complex, en vereist een goede samenwerking van een relatief groot aantal componenten.



Figuur 20 Aandrijving – enkelvoudig door pulley aangedreven

De tandwielen die de tandheugels aansturen worden aangedreven door een pulley mechanisme dat op zijn beurt wordt aangedreven door middel van een centrale motor. Om ervoor te zorgen dat de riem die over deze pulleys heen loopt goed gespannen is wordt er gebruik gemaakt van twee spanlagers die de weg die de riem moet nemen vergroot of verkleint om de gewenste spanning te krijgen. Zoals hierboven is uitgelicht kan configuratie 3 de voordelen van configuratie 1 en 2 meenemen zonder nadelen te genereren. Het enige nadeel is dan de relatief grote hoeveelheid componenten die vereist zijn voor de aansturing van de tandheugels. Er is om die reden besloten om configuratie 3 als "Proof of concept" te realiseren.

6.5.4. Motorselectie

Om de configuratie die in paragraaf 6.5.3 gekozen is aan te sturen dient er een motor en motor aandrijving gekozen te worden om deze configuratie te kunnen openen en sluiten. Hiervoor is in Excel een berekening gedaan om te achterhalen welk draaimoment en draaisnelheid nodig zijn om de configuratie in de gewenste kracht en snelheid om te zetten (zie Bijlage X voor de berekeningen hiervan). De gewenste kracht en snelheid van het OPM zijn in dit geval een knijpkracht van minimaal 5 N en een snelheid die resulteert in een cyclustijd van maximaal twee seconden (met de cyclustijd wordt tijd bedoeld die gebruikt wordt om het OPM te openen en te sluiten). Het grootste gedeelte van de tijd hoeft het OPM maar kleine stukjes te bewegen, tussen de 530 en 540 millimeter of tussen de 210 en 260 millimeter, waardoor een cyclustijd van twee seconden snel genoeg is.

Om deze gewenste 5 N knijpkracht, en de maximale cyclustijd van twee seconden om te kunnen rekenen naar het benodigde draaimoment, en draaisnelheid zijn de diameters van de gebruikte tandwielen, pulleys en tandheugels nodig inclusief het aantal tanden dat deze hebben. Hiermee kunnen de verhoudingen tussen deze onderdelen berekend worden, bepaald worden hoeveel millimeter het OPM uitgestuurd wordt bij elke rotatie van de aandrijfpulley, en berekend worden welk moment er op elk onderdeel wordt uitgeoefend. Om een overzicht te krijgen van deze informatie is er een overzicht gemaakt, weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Dimensies mechanische onderdelen

	Aantal tanden	Diameter tot bovenkant tanden (m)	Straal tot bovenkant tanden (m)	Verdraaiing per tand (°)	Geactueerde /aangedreven pulley verhouding	Tandwiel / tandheugel verhouding
Geactueerde pulley	25	0,018	0,0092	14,4	0,72	-
Aangedreven pulley	18	0,013	0,0065	20,0	1,39	-
Tandwiel	16	0,016	0,0080	22,5	-	0,29
	Volledige lengte (m)	Effectieve lengte (m)	Verplaatsing per tand (m)	Aantal effectieve tanden	Tandwiel / tandheugel verhouding	Verplaatsing per rotatie tandwiel (m)
Tandheugel	0,2475	0,1675	0,003	55	3,43	0,049

Invoer
Berekening
Uitvoer
Ongeldig

Benodigde draaimoment - Het benodigde draaimoment van een motor wordt uitgedrukt in de eenheid koppel (Nm). In Tabel 8 wordt weergegeven hoe deze wordt berekend uit de benodigde parameters resulterend in een koppel van 0.34 Nm wanneer een veiligheidsfactor van 1.5 gehanteerd wordt. Het benodigde draaimoment is het meest afhankelijk van de massa van de bewegende onderdelen, de gewenste knijpkracht, het wrijvingscoëfficiënt van de behuizing (waar de tandheugel overheen glijdt), en de diameters van de pulleys en tandwielen. Het benodigde koppel op de aangedreven tandwielen wordt berekend door middel van de benodigde kracht te vermenigvuldigen met de radius van deze tandwielen resulterend in een koppel van 0.08 Nm. Dit koppel wordt vermenigvuldigd met de verhouding tussen de aangedreven tandwielen en pulleys, waardoor een koppel van 0.11 Nm op de aangedreven pulleys nodig is om aan de gewenste knijpkracht te voldoen. Deze wordt vermenigvuldigd met de verhouding tussen de geactueerde pulley, en vervolgens vermenigvuldigd met twee, omdat er twee pulleys worden aangedreven.

Tabel 8 Koppel berekening motor

	Massa bewegende delen (kg)	Gewenste knijpkracht (N)	Massa bewegende delen (N)	Massa per aangedreven tandwiel (N)	Statisch wrijvingscoëfficiënt HDPE*	Wrijvingskracht per aangedreven tandwiel (N) **	Veiligheidsfactor	Benodigde horizontale kracht per aangedreven tandwiel na veiligheidsfactor (N)	Koppel op tandwiel (Nm)	Koppel op aangedreven pulley (Nm)	Koppel op geactueerde pulley (Nm)
Benodigde koppel	1,56	4,90	15,28	7,64	0,25	1,91	1,50	10,22	0,08	0,11	0,34
*	https://www.vinkunststoffen.nl/kunststofsoorten/hdpe-high-density-polyethyleen					**	https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/3443				

Benodigde draaisnelheid - De benodigde draaisnelheid wordt berekend aan de hand van de hoeveelheid tanden en diameter van de pulleys en tandwielen in combinatie met de effectieve lengte van de tandheugel die uitgestuurd dient te worden Tabel 9. De effectieve lengte van de tandheugel is in dit geval 167,5 millimeter, en verplaatst circa 3,06 millimeter per tand waardoor deze door $\frac{167,5}{3,06} = 54,73$, $\frac{54,73}{16} = 3,43$ rotaties te draaien de tandheugel volledig uit stuurt. Dit resulteert in $\frac{3,43}{1,39} = 2,47$ rotaties benodigd voor de geactueerde pulley waardoor het aantal rotaties per seconde (RPS) bij een cyclustijd van twee seconden ook 2,47 RPS bedraagt. 2,47 RPS is gelijk aan 148.01 rotaties per minuut (RPM) en ook gelijk aan 15,5 radialen per seconde (Rad/s) welke vaak in de datasheet van een motor terug komen om de snelheid van deze motor aan te duiden.

Tabel 9 Snelheid berekening motor

	Cyclus tijd (s)	Tijd per slag (s)	tandwiel rotaties per slag	Geactueerde pulley rotaties per slag	Rotatie snelheid (RPS)	Rotatie snelheid (RPM)	Rotatie snelheid (Rad/s)
Benodigde snelheid	2,00	1,00	3,43	2,47	2,47	148,01	15,50

Volgens de formule $P_{mechanisch} = T * \omega$ kan het mechanisch vermogen van de berekend worden. Wanneer in deze formule een koppel van $T = 0,34 \text{ Nm}$ en hoeksnelheid van $\omega = 15,5 \text{ rad/s}$ wordt ingevuld is te zien dat het minimale mechanisch vermogen van de motor $0,34 * 15,5 = 5,27 \text{ W}$ bedraagt. De gekozen motor dient dan ook een minimaal mechanisch vermogen te hebben van 5,27 W. Het koppel of de hoeksnelheid kunnen door middel van een tandwielkast omgezet worden, zodat de motor bij een vermogen hoger dan 5,27 W de hoeksnelheid, of het koppel kan compenseren door de juiste verhouding te kiezen. Een nadeel van zo een tandwielkast is echter wel dat er een klein gedeelte van het vermogen wordt ingeleverd door verliezen in warmte en wrijving. Ook neemt een tandwielkast ruimte in op het OPM waardoor deze groter en zwaarder wordt. Om deze redenen wordt er eerst gekeken naar mogelijkheden zonder tandwielkast.

Motor keuzeverantwoording - In eerste instantie is er tijdens de conceptkeuze voor het gebruiken van servomotoren gekozen. Deze servomotoren zijn echter vaak over gedimensioneerd, relatief zwaar, relatief groot, en relatief duur. Hierdoor is er ook gekeken naar andere mogelijkheden, waaronder een stappenmotor of een gelijkstroommotor met een encoder welke gelijkwaardige resultaten kunnen behalen tegen een lagere kostenpost. In Tabel 10 zijn een aantal mogelijke motoren gespecificeerd. De data die in deze tabel wordt weergegeven is gevonden in de datasheet van de respectievelijke motoren. De motoren zijn met kleur gecodeerd om aan te geven wat voor type motor het is namelijk:

- Blauw : Servomotoren;
- Geel : Stappenmotoren;
- Groen : Gelijkstroommotoren.

Naast de kosten zijn ook het mechanische vermogen, elektrische vermogen, en het volume van de meeste motoren bekend. Hieronder worden deze parameters met elkaar vergeleken, en wordt er een motor gekozen.

Tabel 10 Motoren overzicht

Nr.	Naam	Weblink
1	AM3112	https://bit.ly/2Wyy8IH
2	AS1020	https://bit.ly/2YWIEf4
3	AM8011	https://bit.ly/2WBpfhm
4	AM8111	https://bit.ly/2HJRu5b
5	36mm Encoder DC Motor	https://bit.ly/2wv7aTE
6	AM17RS1DMA	https://bit.ly/2Mi6ls7
7	23HSX-102	https://bit.ly/2W1zpn0
8	MOT-AD-S-060-017-056-M-C-AAAL	https://bit.ly/2HLj9mD
9	ES-M32320	https://bit.ly/2Qzilys
10	SE 40-035-3-90-R	https://bit.ly/2JMbpD5
11	SE 40-035-3-90-AK	https://bit.ly/30S1aSQ

Mechanisch vermogen - De mechanische vermogens van de motoren lopen uiteen, waarbij voornamelijk de servomotoren een relatief hoog vermogen hebben. Als er bijvoorbeeld gekeken wordt naar de servomotor met het minste vermogen, dan is dit de AM8111(4) (Tabel 11) van Beckhoff waarbij een vermogen van circa $79,59 - 5,27 = 74,32 \text{ W}$ ongebruikt blijft. Ook is een tandwielkast nodig om het aantal rotaties te verminderen, en hierdoor het draaimoment te verhogen, zodat deze minimaal $0,34 \text{ Nm}$ bedraagt. Net als bij de overige servomotoren. De stappenmotoren en gelijkstroommotor zijn met twee grote uitzonderingen (7 en 9) daarentegen meer in de buurt van het gewenste vermogen. Hierbij is niet bij alle motoren een tandwielkast nodig om de benodigde snelheid of draaimoment te krijgen. Hierdoor zijn deze minder slijtagevoelig, en doordat tandwielkasten niet altijd even efficiënt zijn (circa 95%) zouden deze in theorie efficiënter moeten zijn.

Tabel 11 Mechanische parameters motoren

Nr.	Nominaal snelheid (RPM)	Nominaal snelheid (Rad/s)	Piek Torque (Nm)	Stall Torque (Nm)	Nominaal Torque (Nm)	Mechanisch vermogen (W)
1	3500,00	366,52	0,96	0,34	0,28	102,63
2	200,00	20,94	-	0,50	0,37	7,75
3	8000,00	837,76	0,68	-	0,18	150,80
4	4000,00	418,88	0,85	-	0,19	79,59
5	178,00	18,64	-	-	0,69	12,80
6	120,00	12,57	-	-	0,26	3,27
7	1200,00	125,66	-	-	0,27	33,93
8	1200,00	125,66	-	-	0,75	94,25
9	200,00	20,94	-	1,70	1,59	33,30
10	360,00	37,70	-	-	1,80	67,86
11	9000,00	942,48	1,40	0,35	0,21	200,00
12	6000,00	628,32	1,40	0,35	0,32	200,00

Elektrisch vermogen - Het elektrisch vermogen wordt berekent aan de hand van de gespecificeerde nominaal stroom en nominaal spanning. Hierna wordt de efficiëntie berekent door het mechanisch vermogen te delen door het elektrische vermogen. Verder is in Tabel 12 te zien hoeveel elektrisch vermogen een motor aansturing moet kunnen leveren om de motoren aan te sturen.

Tabel 12 Elektrische parameters motoren

Nr.	Nominaal stroom (A)	Piek stroom (A)	Nominaal voltage (V)	Elektrisch vermogen (W)	Efficiëntie
1	3,40	11,50	50,00	170,00	0,60
2	1,00	-	24,00	24,00	0,32
3	0,76	2,30	230,00	174,80	0,86
4	2,85	18,00	50,00	142,50	0,56
5	2,50	-	12,00	30,00	0,43
6	0,40	-	12,00	4,80	0,68
7	1,00	-	48,00	48,00	0,71
8	3,00	-	70,00	210,00	0,45
9	3,00	-	48,00	144,00	0,23
10	5,80	8,20	24,00	139,20	0,49
11	1,20	6,40	320,00	384,00	0,52
12	1,20	6,40	320,00	384,00	0,52

Dimensies en compatibiliteit - In Tabel 13 zijn de dimensies, massa en compatibiliteit met een Beckhoff systeem van de motoren weergegeven. Omdat de GRM een beperkte belasting vrij heeft, is het belangrijk om eventueel de motor keuze hier op aan te passen. Het OPM weegt zonder motor, en met camera circa 2,4 kg. Er is dus in dit geval geen probleem met al de hierboven weergegeven motoren. Echter is het gewenst om het OPM zo compact mogelijk te houden, om zo collisies met de omgeving te voorkomen, en om het belastingmoment zo klein mogelijk te houden. Motoren 2 en 6 zijn, zoals in Tabel 13 af te lezen, het meest compact en motor 2 verder ook het lichtst. De Beckhoff motoren (1 t/m 4) sluiten goed aan op de Beckhoff PLC doordat deze gemaakt zijn om samen te werken met Beckhoff onderdelen. Naast de Beckhoff motoren zijn ook de drylin E van IGUS (8) en de AM17RS1DMA van Moons Industries (6) compatibel met Beckhoff, doordat de spanning en stroom goed aansluiten op de stappenmotor aandrijving van Beckhoff.

Tabel 13 Dimensies motoren

Nr.	Gewicht (kg)	Lengte (cm)	Breedte (cm)	Hoogte (cm)	Volume exclusief connector (cm ³)	Compatibel met BECKHOFF PLC (ja/nee)
1	0,54	9,1	4,0	4,0	145,60	Ja
2	0,39	5,6	4,2	4,2	98,78	Ja
3	0,60	9,7	4,0	4,0	155,20	Ja
4	0,60	9,7	4,0	4,0	155,20	Ja
5	-	-	-	-	-	Ja
6	0,55	6,0	4,2	4,2	104,96	Ja
7	0,70	5,5	5,7	5,7	179,95	Nee
8	1,25	10,6	5,6	5,6	337,18	Ja
9	1,35	10,5	5,7	5,7	341,15	Ja
10	0,74	11,4	4,0	4,0	182,4	Nee
11	0,52	11,4	4,0	4,0	182,4	Nee

Kosten - Over het algemeen geldt dat een hoger aan te sturen vermogen resulteert in een duurdere aansturing. Verder is uit Tabel 14 af te lezen dat servomotoren over het algemeen duurder zijn, zowel in aanschaf van de motor, als in de aansturing van de motor dan een ander type motor.

Tabel 14 Kosten overzicht motoren

Nr.	Kosten aansturing excl. btw (€)	Kosten aansturing incl. btw (€)	Kosten motor excl. btw (€)	Kosten motor incl. btw (€)	Totale kosten excl. btw (€)	Totale kosten incl. btw (€)
1	€ 308,00	€ 372,68	€ 540,00	€ 653,40	€ 848,00	€ 1.026,08
2	€ 138,00	€ 166,98	€ 258,00	€ 312,18	€ 396,00	€ 479,16
3	€ 308,00	€ 372,68	€ 258,00	€ 312,18	€ 566,00	€ 684,86
4	€ 308,00	€ 372,68	€ 465,00	€ 562,65	€ 773,00	€ 935,33
5	€ 308,00	€ 372,68	€ 75,99	€ 91,95	€ 383,99	€ 464,63
6	€ 138,00	€ 166,98	€ 31,16	€ 39,44	€ 169,16	€ 206,42
7	€ 138,00	€ 166,98	€ 121,67	€ 147,22	€ 259,67	€ 314,20
8	€ 250,00	€ 302,50	€ 117,63	€ 142,33	€ 367,63	€ 444,83
9	€ 250,00	€ 302,50	€ 366,84	€ 464,36	€ 616,84	€ 766,86
10	€ 130,00	€ 157,30	€ 120,00	€ 145,20	€ 250,00	€ 302,50
11	€ 308,00	€ 372,68	€ 450,00	€ 544,50	€ 758,00	€ 917,18
12	€ 308,00	€ 372,68	€ 450,00	€ 544,50	€ 758,00	€ 917,18

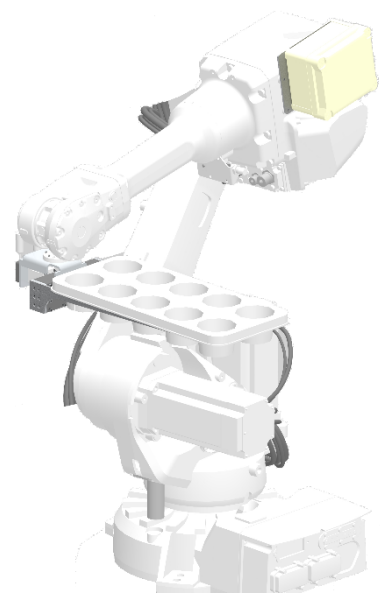
Keuzeverantwoording - Na het overwegen van de hierboven omschreven onderdelen is er gekozen voor de AS1020-0120 (stappenmotor met encoder) van Beckhoff. Deze motor is gekozen doordat deze zonder tandwielkast de gewenste parameters heeft, namelijk een draaisnelheid van 20,94 Rad/s, en een draaimoment van 0.37. Ook is deze relatief licht en klein ten opzichte van de andere omschreven motoren. Heeft een hoge compatibiliteit met de Beckhoff PLC, en kost voor het vermogen dat deze levert relatief weinig. Er zijn een aantal motoren die goedkoper zijn dan deze motor echter leveren deze in op compatibiliteit met de Beckhoff PLC waardoor installatie van deze motoren lastiger is dan de AS1020 motor. Hierdoor is meer tijd nodig is om deze te installeren. Deze extra installatietijd kost geld waardoor het voor een "Proof of concept" verstandiger is om voor de AS1020 te kiezen om op deze manier tijd te besparen.

6.6. Samenhang

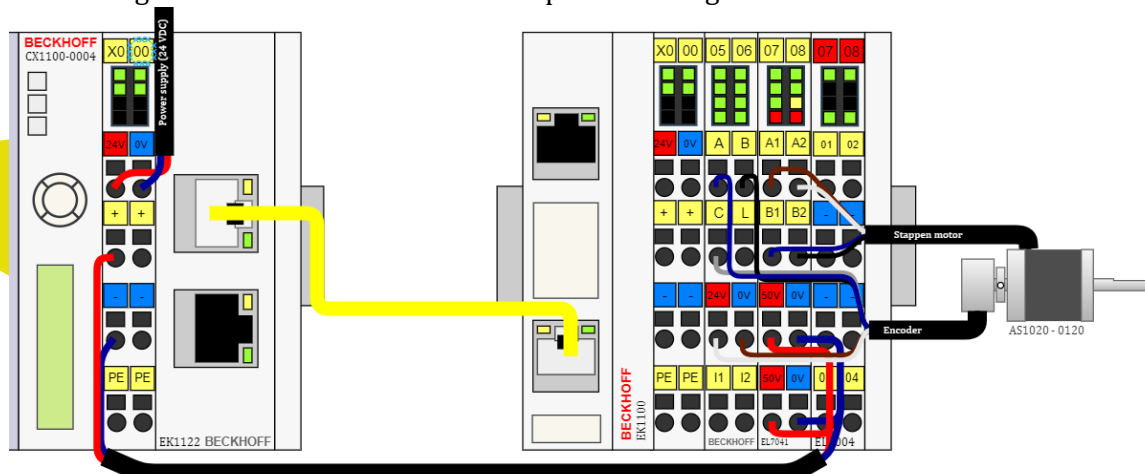
In paragraaf 7.1 en 7.2 zijn keuzes gemaakt wat betreft de realisatie van het GRM en OPM. Nu rest nog de vraag hoe dit samen gaat werken, en hoe wordt dit aangestuurd. Een globaal overzicht van de samenhang is te zien in Figuur 22.

6.6.1. Aansturing

De ABB IRB 2600-20/1.65 wordt aangestuurd door middel van de door ABB aangeleverde RobotStudio software. In dit programma is het mogelijk de GRM inclusief andere CAD modellen via een .sat extensie in te laden. Deze zijn te besturen door het aanmaken van zo gehete "targets" via de PCSDK van RobotStudio door middel van een C# programma (in combinatie met RAPID van RobotStudio), of door handmatig een pad aan te maken in RobotStudio. Deze bewegingen kunnen in dit programma gesimuleerd worden, zodat wanneer de software in de fysieke robot worden geladen deze, met wat verschil in nauwkeurigheid, de bewegingen uit kan voeren. Dit verschil in nauwkeurigheid moet tijdens testen gecompenseerd worden om de juiste nauwkeurigheid te behalen. De pose van het uiteinde van de GRM wordt doorgegeven aan en aangestuurd door een Beckhoff PLC welke fungeert als het brein van de DeenRobot. In deze PLC wordt aan de hand van de huidige positie van de GRM en het huidige fust, ontvangen vanuit het detectiesysteem of handmatig ingevoerd door de gebruiker, bepaald welke pose de OPM aan moet nemen om deze op te kunnen pakken. Zoals in paragraaf 3.2 te lezen, is er besloten om de AS1020 in combinatie met een stappenmotor aansturing van Beckhoff (EL7041) te gebruiken om het OPM aan te sturen. In Figuur 21 is te zien hoe de motor op de PLC aangesloten dient te worden.



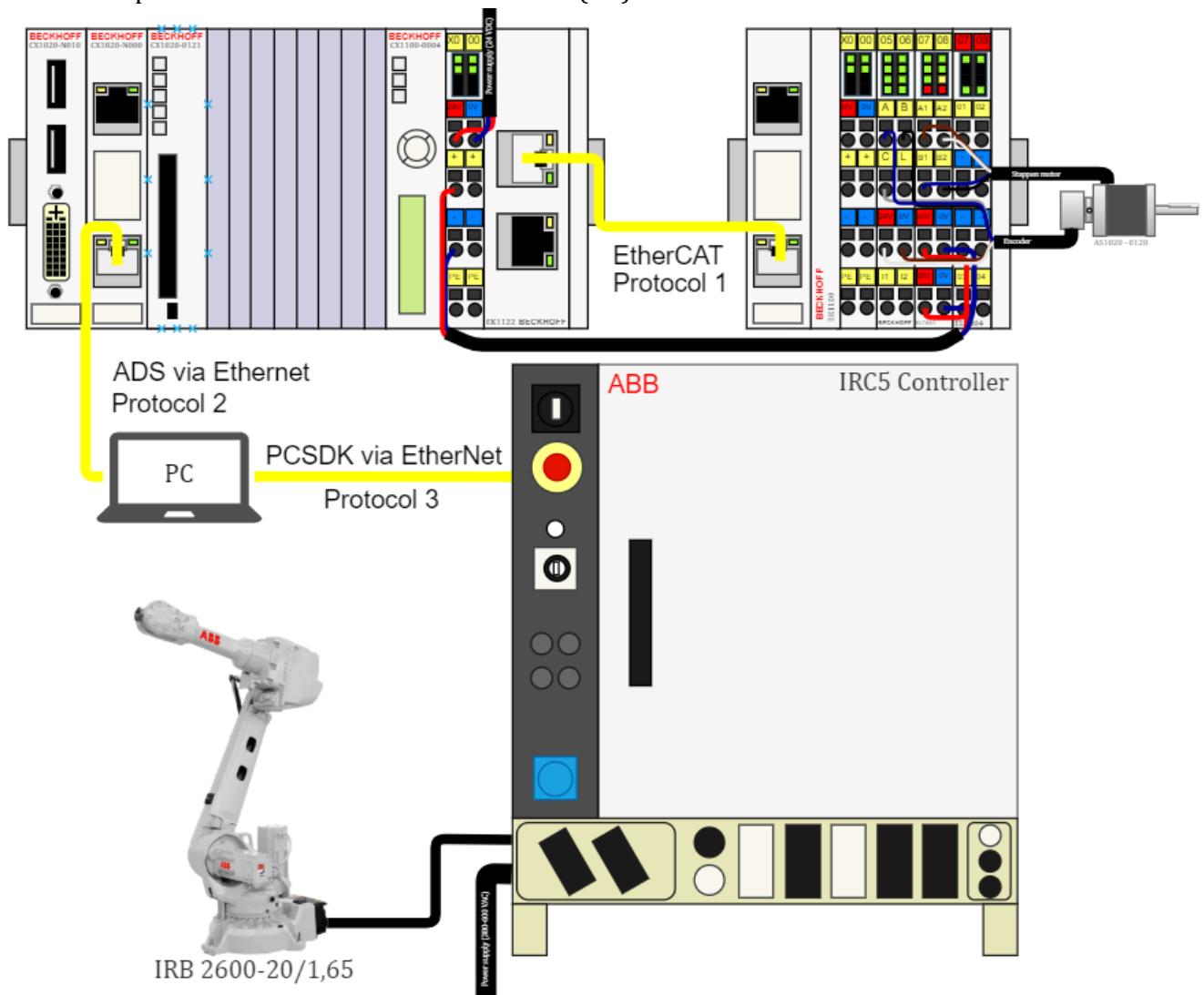
Figuur 22 Mechanische samenhang DeenRobot



Figuur 21 Elektrisch schema PLC

6.6.2. Informatie acquisitie

Informatie zoals de locatie van de Deense kar, de lopende band en het frame van het doorvoersysteem staan allemaal vast en zijn dan ook als vaste waardes ingegeven in het RobotStudio programma. In Figuur 23 wordt een overzicht gegeven van de communicatie tussen de deelsystemen van de DeenRobot. Hierin is te zien dat er drie verschillende protocollen worden gebruikt om deze systemen met elkaar te laten communiceren. Om de PLC met de PC te kunnen laten praten is een ADS protocol (Automation Device Specification) nodig die via Ethernet verbinding van de PLC naar de PC loopt. De variabele die over deze verbinding worden verstuurt zijn terug te vinden in protocol 2 van Bijlage IX en bestaat uit voornamelijk variabele van het HMI scherm en variabele die naar de controller van de robot gestuurd dienen te worden. Om deze variabele naar RobotStudio door te sturen wordt een programma geschreven in C# die via ADS verbinding de variabele van de PLC ontvangt en deze via PCSDK over Ethernet naar de controller van de robot kan sturen. Een overzicht van de variabele die tussen de PC en de robot controller worden verstuurt zijn terug te vinden in protocol 3 van Bijlage IX. Verder is er gekozen om een gedeelte van de configuratie van de PLC, waaronder de motor controller, op de robot arm te plaatsen om de kabels van de motoren zo kort mogelijk te houden. Dit heeft voornamelijk te maken met de afscherming van de kabels tegen elektromagnetische storingen. De communicatie tussen deze twee gedeeltes wordt via EtherCAT (door Beckhoff uitgevonden veldbus) gedaan. De informatie die tussen deze twee gedeeltes wordt verstuurt is terug te vinden in protocol 1 in Bijlage IX en bestaat voornamelijk uit motor parameters via de numerical control (NC) bibliotheek van TwinCAT 3.



Figuur 23 Samenhang DeenRobot overzicht

7. Realisatiefase

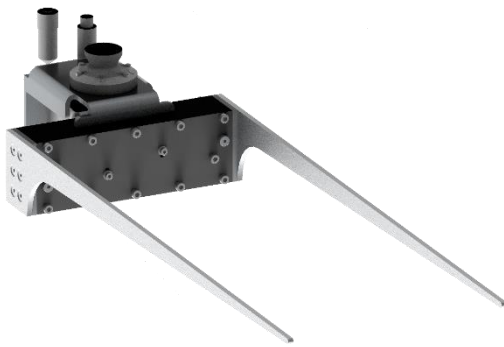
In dit hoofdstuk worden de behaalde resultaten doorlopen en worden verschillende aanpassingen of veranderingen in het concept onderbouwd.

7.1.1. GRM

De gekozen GRM staat bij WPS in de R&D ruimte. Deze GRM wordt door middel van een IRC5 controller aangestuurd. Deze controller is door middel van RobotStudio geprogrammeerd. Het is op dit moment mogelijk om verschillende trays van een Deense kar af te kunnen pakken en deze op een werktafel te plaatsen en vice versa. Zo gehete “targets” worden gebruikt om de robot naar verschillende posities te sturen. Deze targets worden door de Beckhoff PLC gegenereerd op basis van de hoeveelheid fust dat op de kar komt te staan, de hoeveelheid lagen en de breedte, lengte en hoogte van het fust. Het programma dat wordt gebruikt om de GRM aan te sturen is terug te vinden in Bijlage XIII.

7.1.2. OPM

Om het OPM te (laten) maken is een volledig 3D ontwerp een vereiste. In Figuur 24 is een render te zien van dit volledige ontwerp. Tijdens het ontwerpen is rekening gehouden met de maakbaarheid door middel van lasersnijden, zetten, draaien, frezen en boren. Al de 36 verschillende onderdelen van het OPM voldoen aan dit criteria. Ook weegt het OPM, volgens



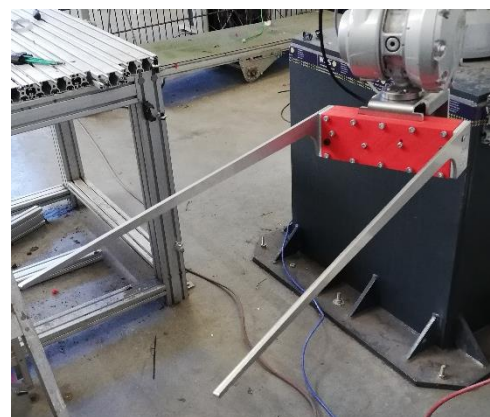
Figuur 24 Keyshot render van het OPM

te produceren door middel van een 3D printer. Hierdoor zijn een aantal toleranties minder nauwkeurig waardoor het OPM meer wrijving ondergaat en verschillende onderdelen minder goed in elkaar vallen dan dat deze zou doen met een behuizing van HDPE met kleinere toleranties. Het geeft echter wel de mogelijkheid om goedkoper en sneller verschillende iteraties van de behuizing te kunnen maken. Van dit voordeel is tijdens het assemblage proces meerder keren gebruik gemaakt. In eerste instantie waren een aantal gaten te klein gedimensioneerd waardoor deze uitgeboord moesten worden om de bouten er doorheen te krijgen en liep de geactueerde pulley tegen de behuizing aan waardoor de motor niet kon draaien. Nadat dit aangepast is in het 3D ontwerp is één van de delen van de behuizing opnieuw geprint om dit probleem te voorkomen. De fysieke versie kan net als de versie in SolidEdge de gewenste breedtes bereiken en weegt zoals in Bijlage XIV te zien is ongeveer 2,65 kg.

SolidEdge, 2.62 kg wat $4.8 - 2.62 = 2.18$ kg speling oplevert ten opzichte van het maximale gewicht van het OPM. Verder kan dit ontwerp openen tot een breedte van 540 mm en sluiten tot een breedte van 210 mm wat voldoet aan de minimale eisen die gesteld zijn aan het OPM.

In Bijlage III zijn de werktekeningen voor het OPM terug te vinden, aan de hand van deze tekeningen zijn onderdelen besteld en geproduceerd. Dit met als resultaat een fysiek OPM zoals te zien in Figuur 25.

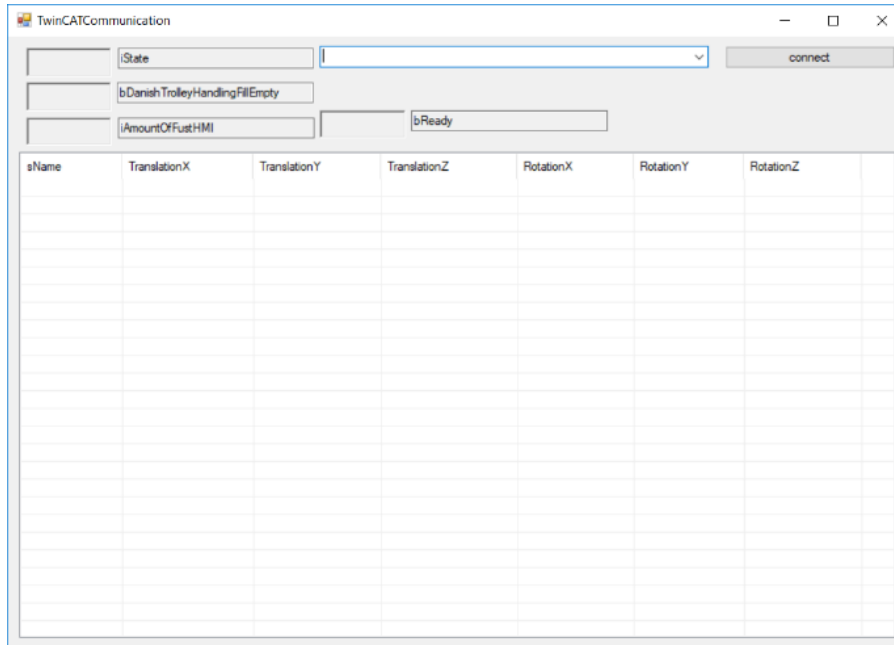
Om kosten te drukken is er gekozen om de behuizing



Figuur 25 Fysieke OPM op de robot gemonteerd

7.1.3. Samenhang

De samenhang van de robot wordt gerealiseerd door middel van een HMI scherm en een programma genaamd TwinCATCommunication (een windows form applicatie geschreven in C#) weergegeven in Figuur 26. Het HMI scherm wordt gebruikt om de DeenRobot in te stellen en de TwinCATCommunication applicatie wordt gebruikt om de informatie tussen de IRC5 controller van de robot en de Beckhoff PLC te realiseren.



Figuur 26 TwinCATCommunication applicatie

HMI scherm

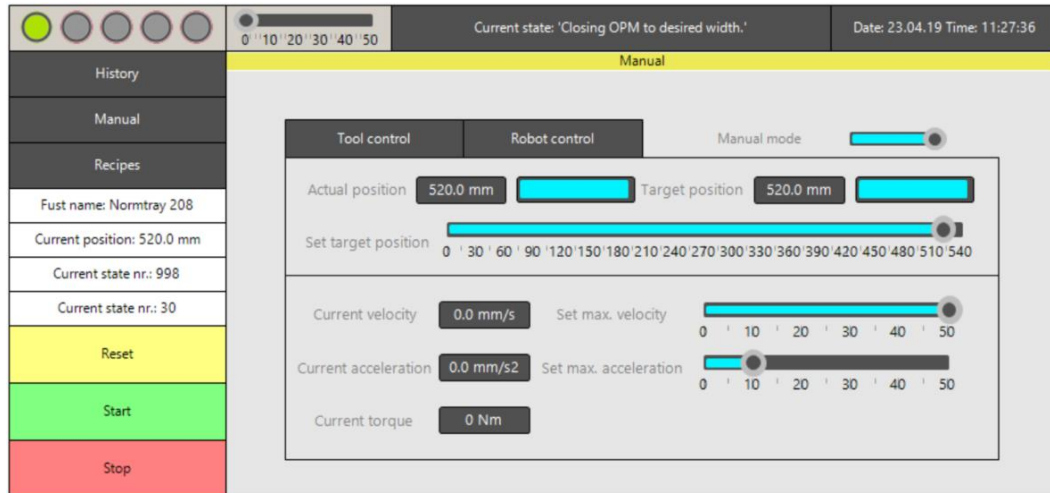
De DeenRobot wordt handmatig aangestuurd/ingesteld door middel van een HMI scherm. In eerste instantie wordt het hoofdscherm weergegeven waar de huidige status, datum en tijd weergegeven wordt. Verder is het mogelijk om hier te veranderen van scherm en kan de gebruiker de DeenRobot handmatig starten, stoppen en resetten. Er zijn drie verschillende schermen die via het hoofdscherm benaderd kunnen worden. Het standaard scherm waarop de HMI opent is het "History" scherm waar de geschiedenis van de status omschrijvingen en de tijd waarop de DeenRobot deze status heeft waargenomen wordt weergegeven (Figuur 27). Hierdoor is het voor gebruikers of onderhoudsmonteurs mogelijk om te zien wat er mis gegaan is en wanneer dit is gebeurd. Dit kan het makkelijker maken om service te verrichten aan de machine.

● ● ● ● ● 0'10'20'30'40'50 Current state: 'Closing OPM to desired width.' Date: 23.04.19 Time: 11:26:54		
History	History	
Manual	Date and Time	State description
Recipes	2019-04-18-16:51:32.660	MANUAL MODE ACTIVATED.
	2019-04-18-16:51:32.660	GRM initialisation.
	2019-04-18-16:51:22.580	ERROR: Press the reset button or contact your supplier.
	2019-04-18-16:51:21.620	GRM moving to the danish trolley.
Fust name: Normtray 208	2019-04-18-16:51:21.620	Determine if GRM has to fill or empty the trolley.
Current position: 520.0 mm	2019-04-18-16:51:21.620	GRM initialisation.
Current state nr.: 998	2019-04-18-16:50:33.859	ERROR: Press the reset button or contact your supplier.
Current state nr.: 30	2019-04-18-16:50:33.739	GRM picking fust of the danish trolley.
Reset	2019-04-18-16:50:33.019	GRM moving to the danish trolley.
	2019-04-18-16:50:33.019	Determine if GRM has to fill or empty the trolley.
Start	2019-04-18-16:50:24.739	GRM initialisation.
	2019-04-18-16:50:23.659	ERROR: Press the reset button or contact your supplier.
Stop	2019-04-18-16:50:23.659	Closing OPM to desired width.
	2019-04-18-16:50:23.659	GRM picking fust of the danish trolley.
	2019-04-18-16:50:23.659	Opening OPM to desired width.
	2019-04-18-16:50:23.659	Fust found! Proceeding.

Figuur 27 History scherm

Door op de knop “Manual” te drukken komt het “Manual” scherm tevoorschijn (Figuur 28). In dit scherm is het mogelijk om handmatige aansturing aan te zetten om het OPM handmatig te besturen. Parameters die hier aan te passen zijn, zijn bijvoorbeeld de gewenste positie van het OPM, de maximale snelheid van het OPM, de maximale acceleratie van het OPM en in de toekomst mogelijk de gewenste pose van de GRM en de gewenste snelheid van de GRM.

Wanneer “Manual mode” geactiveerd is stopt de DeenRobot met het uitvoeren van automatische handelingen.

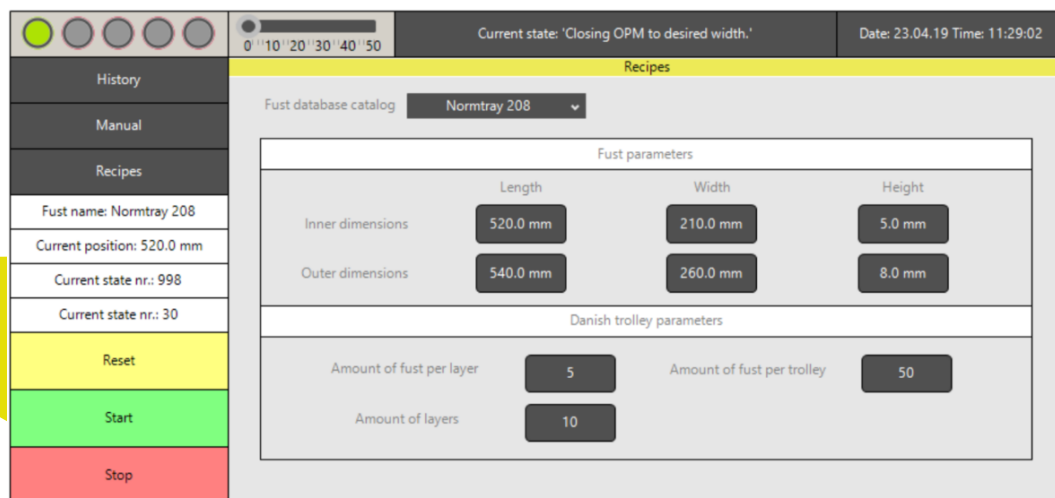


Figuur 28 Manual scherm

Het laatste scherm is het “Recipes” scherm (Figuur 29), waarin de gebruiker handmatig de volgende parameters in kan stellen:

- Welk fust er wordt gebruikt;
- Wat de dimensies van het fust zijn;
- De gewenste oriëntatie van het fust (in lengte of breedte richting);
- De hoeveelheid fust per laag;
- De hoeveelheid lagen.

Aan de hand van deze parameters kan de DeenRobot de Deense karren vullen en/of legen.



Figuur 29 Recipes scherm

Programma

Het grootste gedeelte van de TwinCAT 3 programmering af en operationeel, In Bijlage XI is een workflow van het programma terug te vinden. Op dit moment zijn er nog een aantal problemen die opgelost moeten worden en features die nog toegevoegd kunnen worden. Zo stopt de GRM op dit moment nog niet direct als op de stopknop gedrukt wordt. De GRM stopt dan pas nadat hij een Deense kar gevuld of geleegd heeft waardoor gevaarlijke situaties kunnen ontstaan. Verder moet er gewisseld worden tussen fust op het HMI scherm om de parameters van het fust in de TwinCATCommunication applicatie te verversen. Dit zorgt ervoor dat de programmeur bij het verversen of veranderen van het RAPID programma (Bijlage XIII) in RobotStudio elke keer een ander type fust moet kiezen, de stopknop, resetknop en startknop in moet drukken. Dit kost relatief veel tijd als er elke keer kleine aanpassingen gemaakt dienen te worden in het RAPID programma.

7.1.4. Testen

Aan de hand van een acceptatietest zijn de gesteld functionele eisen getest. De uitgevoerde acceptatietest is terug te vinden in Bijlage II. Naast de functionele eisen zijn er ook nog fabricage eisen die getest dienen te worden. De DeenRobot (Figuur 30) voldoet aan de hand van demonstratie en analyse van de huidige configuratie op zijn minst aan de vaste fabricage eisen exclusief FA01. FA01 kan in de huidige opstelling nog niet getest en bewezen worden omdat de DeenRobot zich niet in een kas en/of schuur bevindt. Verder dient de DeenRobot zichzelf terug te kunnen verdienen binnen drie tot vijf kalender jaren. In Bijlage XII is te zien dat de DeenRobot ook aan deze eis voldoet wanneer er rekening wordt gehouden met 30% winstmarge en 75% van het budget dat gebruikt wordt voor de DeenRobot exclusief waarnemingssysteem en doorvoersysteem. De fabricage eis FA08 is ook tot op zekere hoogte behaald. Dit komt doordat het enige wat aangepast dient te worden om andere soorten trays of potten op kunnen pakken de vorken van het OPM zijn. Deze kunnen bijvoorbeeld voor potjes vervangen worden door vorken in de vorm van een blok golf zodat deze tot de gewenste breedte kan sluiten. De levensduur van de robot is niet getest en is ook lastig te testen in de huidige setup. De gewenste levensduur van 31.200 uur is waarschijnlijk niet haalbaar met de kwaliteit van de "Proof of concept" maar is zeker te behalen wanneer de onderdelen op een hogere kwaliteit gefabriceerd worden. Op dit moment zijn een aantal gaten in de pulleys en tandwielen van het OPM niet centrisch waardoor veel slijtage ontstaat.



Figuur 30 Totaal overzicht DeenRobot in home positie

Al met al is de DeenRobot redelijk door de testen heen gekomen. De levensduur en de operationaliteit in een kas en/of schuur omgeving zijn helaas nog niet getest. Op deze eisen na voldoet de DeenRobot aan alle eisen. Aan de hand van deze testen kan antwoord op de hoofdvraag gegeven worden, dit antwoord luidt : "Op basis van de testresultaten kan **geconcludeerd** worden dat het mogelijk is om op een kosten efficiënte manier een vul- en leeg mechanisme te realiseren. Echter is het op dit moment niet mogelijk om te testen of planten **meer beschadigd raken** dan gebruikelijk, hiervoor zijn planten nodig in verschillende soorten en maten. Wel kan er **geconstateerd** worden dat de trays onder de rand opgepakt worden zodat de kans **minimaal is** dat de planten worden beschadigd door het OPM. Verder worden er op dit moment **nog geen coördinaten** aangeleverd vanuit een secundair systeem, waardoor ook dit niet getest kan worden. Toch kan de robot wel naar de gewenste ingevoerde coördinaten bewegen die in feite de geleverde coördinaten simuleren. Het is verstandig om testen uit te voeren met geleverde coördinaten van een secundair systeem, en testen uit te voeren met echte planten bij bijvoorbeeld een kweker om te kunnen achterhalen of deze in meer of minder beschadigen dan gebruikelijk."

8. Conclusie

Is het mogelijk om op een kosten efficiënte manier een vul- en leeg mechanisme te realiseren voor Deense karren zonder de planten hierbij meer dan gebruikelijk te beschadigen op basis van geleverde coördinaten? Dit is de vraag waar dit afstudeerverslag om draait. Om deze vraag te beantwoorden is een “Proof of concept” ontwikkeld voor een machine die Deense karren automatisch kan vullen en legen. Deze machine is onderverdeeld in een bewegingsmechanisme en een oppak- en plaatsing mechanisme. Door middel van methodisch ontwerpen [1] zijn een aantal concepten tot stand gekomen. Uit deze concepten is er gekozen voor een bewegingsmechanisme dat bestaat uit een gearticuleerde robot manipulator (GRM), en een oppak- en plaatsing mechanisme (OPM) gebaseerd op het “Rack & Pinion” principe.

Om de juiste GRM te kunnen kiezen zijn een aantal verschillende gearticuleerde robots van verschillende merken (ABB, KUKA, FANUC) met elkaar vergeleken. Uiteindelijk is de IRB 2600-20/1,65 gekozen als GRM voor het “Proof of concept” omdat deze aan de eisen voldoet en aanwezig is bij WPS in de R&D ruimte. Voor het OPM is er een tandwielconfiguratie gekozen die ervoor zorgt dat het OPM door middel van één motor aangestuurd kan worden terwijl deze de gewenste breedtes kan behalen. Deze configuratie bestaat uit een AS1020 stappenmotor van Beckhoff met een geactueerde pulley op de motor as gemonteerd. Deze pulley actueert twee kleinere pulleys die respectievelijk iets hoger en iets lager liggen dan de geactueerde pulley. Deze twee pulleys zijn bevestigd aan een as die beide één tandwiel aansturen. Deze tandwielen sturen los van elkaar een losse tandheugel om deze in en uit te sturen. De stappenmotor in deze configuratie wordt aangestuurd door een EL7041 stappenmotor driver van Beckhoff.

Net als de stappenmotor en stappenmotor driver wordt er ook een Beckhoff PLC gebruikt om het geheel aan te sturen. Deze PLC communiceert via de PC met de IRC5 controller van de IRB 2600 robot. Het Beckhoff programma kan gestart, gestopt en gereset worden door middel van een HMI scherm via de PC.

Het antwoord op de hoofdvraag luidt : “Op basis van de testresultaten kan geconcludeerd worden dat het mogelijk is om op een kosten efficiënte manier een vul- en leeg mechanisme te realiseren. Echter is het op dit moment niet mogelijk om te testen of planten meer beschadigd raken dan gebruikelijk, hiervoor zijn planten nodig in verschillende soorten en maten. Wel kan er geconstateerd worden dat de trays onder de rand opgepakt worden zodat de kans minimaal is dat de planten worden beschadigd door het OPM. Verder worden er op dit moment nog geen coördinaten aangeleverd vanuit een secundair systeem, waardoor ook dit niet getest kan worden. Toch kan de robot wel naar de gewenste ingevoerde coördinaten bewegen die in feite de geleverde coördinaten simuleren. Het is verstandig om testen uit te voeren met geleverde coördinaten van een secundair systeem, en testen uit te voeren met echte planten bij bijvoorbeeld een kweker om te kunnen achterhalen of deze in meer of minder beschadigd raken dan gebruikelijk.”

9. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden een aantal aanbevelingen gedaan. Deze aanbevelingen zijn bedoelt voor WPS die mogelijk verder gaat met het ontwikkelen van de DeenRobot. De aanbevelingen zijn ontstaan doordat wensen, en minder belangrijke onderdelen niet binnen de gestelde tijd te realiseren zijn geweest, of niet binnen de scope van het huidige project vallen. De aanbevelingen luiden:

- Het is aan te raden om een R-1000iA/80F met meerdere oppak- en plaatsingsmechanisme die tegelijkertijd kunnen bewegen te realiseren, zodat een laag van een Deense kar in één beweging leeg te halen is doordat de oppak- en plaatsingsmechanismes zichzelf onderling verplaatsen naar de juiste locatie, en hier het fust oppakken zoals Visser dit met het transplanteren van planten doet door de Pic-o-Mat GR-2700 [2]. Dit kan ervoor zorgen dat een hogere capaciteit te behalen is, waardoor Deense karren sneller gevuld en geleegd kunnen worden. Het enige nadeel aan deze robot is het feit dat WPS geen expertise in huis heeft om te werken met FANUC hardware en software. Hiervoor kan er gekeken worden voor eventuele cursussen voor FANUC of er kan gekozen worden voor de IRB 460 van ABB. De IRB 460 heeft een maximale belastingcapaciteit van 110 kg, wat ook meer dan genoeg is. Echter heeft deze robot geen vijfde en zesde as. Deze moeten dan nog voor het OPM ontwikkeld worden.
- Verder is het aan te raden om een aantal eindstandmelders toe te voegen aan het oppak- en plaatsingsmechanisme. Dit om extra zekerheid te kunnen krijgen over de stand van het mechanisme.
- Wanneer de proef opstelling uitgewerkt wordt als een prototype, en uiteindelijk een volledig werkend product, dient er volgens NEN-EN-ISO 13849-1 een fysieke noodstop op de machine te zitten om veiligheid van de DeenRobot te vergroten.
- Voor gebruiksgemak is het beter om een touchscreen scherm aan te schaffen, zodat gebruikers zonder op een computer in te loggen de machine in kunnen stellen en wanneer nodig bedienen.
- De communicatie tussen de IRC5 en de PLC soepeler maken. Op dit moment moet de programmeur, bij het verversen of veranderen van het RAPID programma in RobotStudio, elke keer een ander type fust kiezen, de stopknop, resetknop en startknop in drukken. Dit kost relatief veel tijd als er elke keer kleine aanpassingen gemaakt dienen te worden in het RAPID programma. Een mogelijkheid om dit te verbeteren is een timer maken die om een bepaalde tijd de gegevens ververst.

10. Literatuurlijst

Hieronder zijn alle verwezen bronnen voor dit document vermeld.

- [1] F. Siers, Methodisch Ontwerpen, Noordhoff Uitgevers B.V., 2004.
- [2] H. S. Visser, „Visser - Pic o Mat,” 29 Maart 2018. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Q2uJD7MwTnM&t=61s>. [Geopend 2019].
- [3] Royal Flora Holland, Februari 2019. [Online]. Available: <http://fust.floraholland.com/Pages/FustZoeken.aspx>.
- [4] Machinnova bv, „MACHINNOVA Deense karren lader,” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=iCKd9xsTDI4>.
- [5] H. S. Visser, „Visser Horti Systems - Trolley Auto Loader - Houtepen,” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=OP5IAEy3aH4>.
- [6] Keller Technology Corporation, „Pros and cons of 4 industrial robot types | Keller Technology,” Maart 2017. [Online]. Available: <https://www.kellertechnology.com/blog/how-to-use-4-types-of-industrial-robots-to-your-advantage/>.
- [7] R. Vaughn, „The difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots | Machine Design,” 2 December 2013. [Online]. Available: <https://www.machinedesign.com/motion-control/difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>.
- [8] J. Perret, „(PDF) Advantages of mechanical backdrivability for medical applications of force control,” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/273422833_Advantages_of_mechanical_backdrivability_for_medical_applications_of_force_control.
- [9] AllOnRobots, „Cylindrical robot type,” [Online]. Available: <http://www.allonrobots.com/cylindrical-robot.html>.
- [10] ABB robotics bv, „IRB 2600 - Industrial Robots From ABB Robotics,” [Online]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600>.
- [11] Container Centralen Benelux bv, „CC container - container centralen,” [Online]. Available: <https://www.container-centralen.com/onze-producten/cc-container/?lang=nl#1553155264926-5de0dd26-3e40>.
- [12] WPS, [Online]. Available: <http://www.wps.eu>. [Geopend Februari 2019].
- [13] The Hague University Of Applied Science, „handleiding_afstuderen_bedrijven_mechatronica_10.pdf,” Februari 2019. [Online].
- [14] The Hague University Of Applied Science, „handleiding_afstuderen_mechatronica_v11.pdf,” Februari 2019. [Online].
- [15] Vereniging Hogescholen, Februari 2019. [Online]. Available: <https://www.verenighogescholen.nl/system/profiles/documents/000/000/195/original/mechatronica.cp.2014.pdf?1464347231>.
- [16] d. i. F. de Wit, „Competentie-niveaus Werktuigbouwkunde,” Februari 2019. [Online].
- [17] P. v. Houten, „Gemeten waarden - Electric fundamentals,” [Online]. Available: https://patrickvanhoutven.gitbook.io/electric-fundamentals/systemen_hoeveelheden_en_eenheden/gemeten_waarden.
- [18] Brother robot, „Three-axis/Five-axis AC Servo Traversing Robot-Telescopic,” [Online]. Available: http://en.brotherobot.com/products_detail/productId=82.html.

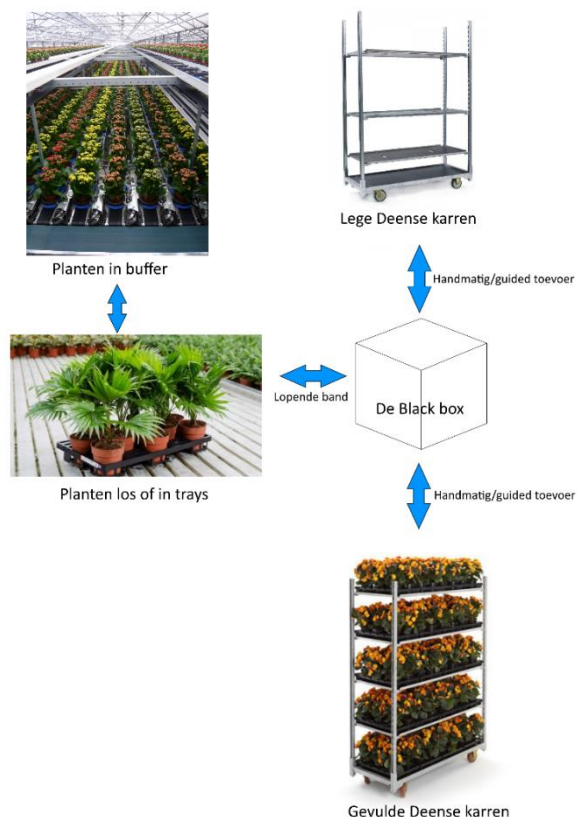
Bijlage I : Goedgekeurde opdracht

Het bedrijf

WPS is een afkorting van we prove solutions en is een bedrijf dat gespecialiseerd is in het automatiseren van handelingen in en rondom de tuinbouw. Het meest bekende product van WPS is het walking plant system dat ervoor zorgt dat de planten in een kas door een infrastructuur aan lopende banden te bewegen zijn naar verschillende sectoren. Het is gevestigd in de Lier en telt ongeveer 50 medewerkers die negen verschillende disciplines toepassen van bedrijfskundigen tot engineers.

De opdracht

Voor verschillende potplantentelers kost het veel tijd om planten op Deense karren te plaatsen. Planten komen aan op een lopende band los of in een tray, waarna een medewerker ze op een laag van de Deense kar plaatst en zo de kar vult. Dit proces kan ook andersom bij het uitladen van de Deense karren waarbij een medewerker ze van de Deense kar afhaalt en op een lopende band of een ander medium plaatst. Tijdens de afstudeerperiode wordt er onderzoek gedaan, een ontwerp gemaakt en een prototype gerealiseerd dat het in en uitruimen van Deense karren automatiseert zodat er veel tijd bespaart kan worden.



De opdracht omvat de volgende punten onderverdeeld in vaste en optionele punten:

Vaste punten:

1. Onderzoek huidige markt en oplossingen;
2. Creëren van prototype (ideaal) of Proof of concept;
3. Het laden en lossen van minimaal één type tray met de mogelijkheid om na kleine aanpassingen ook andere trays en potten op kunnen pakken. Hierbij moet rekening worden gehouden met verschillende soorten planten en dus ook verschillende pot/tray -maten en massa;
4. Detecteren en/of definiëren van aantal lagen en laag spacing;
5. Detecteren van foutieve ligging van lagen en of schuine lagen;
6. Detectie van aantal trays op de lagen en oriëntaties van deze trays zodat deze opgepakt kunnen worden;
7. Doorvoeren van de karren door de machine;
8. Voorkomen dat de plant wordt beschadigd tijdens operatie;
9. Trays oppakken die onder een hoek liggen ten opzichte van de grijper.

Optioneel punten:

10. Het toevoegen van een HMI scherm;
11. Inwickelen van de kar;
12. Labelen van de kar en/of trays;
13. Fotos maken voor de veiling.

Simon:

Simon gaat tijdens de afstudeerstage zich bezighouden met het detecteren van de karren en de trays hierbij komen de punten 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13. Simon is bij deze verantwoordelijk voor de hierboven genoemde punten.

Roy:

Roy gaat tijdens de afstudeerstage zich bezighouden met het oppakken van de trays en/of potten vanuit de kar en vanaf the lopende band hierbij komen de punten 1, 2, 3, 8, 9, 10, 12. Roy is bij deze verantwoordelijk voor de hierboven genoemde punten.

Extra uitleg Deense kar:

Een Deense kar is een kleinere vorm veilingkar die veel wordt gebruikt voor het transporteren van potplanten. Deze is ter plekke op te bouwen door een bodem en vier pilaren die in de bodem gestoken kunnen worden. In deze pilaren zitten sporingen zodat er extra platen ingehaakt kunnen worden die ervoor zorgen dat er een extra laag ontstaat waardoor er meer planten op één kar kunnen komen te staan. Als dit nog niet genoeg is kunnen de palen ook opgehoogt worden door middel van opzetstukken waardoor er extra lagen toegevoegd kunnen worden. Met al deze opties moet rekening worden gehouden tijdens het ontwerpen van het systeem. Het is echter niet de bedoeling dat de kar wordt aangepast aangezien dit standaard karren zijn die over heel de wereld worden gebruikt en een tuinder niet zijn eigen Deense karren behoud.

Bedrijfsbegeleider : Corné Groen
Afstudeercoördinator : Theo Koreneef
Stage begeleider : Gerard Tuk

Bijlage II : Acceptatietest

Acceptatietest DeenRobot

In dit document worden de eisen van de DeenRobot geverifieerd aan de hand van de in dit document gespecificeerde verificatie methode. De functionele eisen die geverifieerd dienen te worden zijn te zien in tabel 1 hieronder.

Tabel 1 Functionele eisen

Benaming	Omschrijving
FU01	De machine moet trays op kunnen pakken wanneer deze 30° verdraaid om de verticale as van de machine.
FU02	De machine mag de planten tijdens het verwerken niet meer beschadigen dan een gemiddeld personeelslid.
FU03	Een HMI scherm dient geïmplementeerd te worden voor het kiezen van recepten.
FU04	De dimensies van het oppak mechanisme van de machine moeten de kleinst en grootst mogelijke tray uit de fust catalogus van Flora Holland kunnen bereiken.
FU05	De machine moet op zijn minst één met planten gevulde tray of één plant van 15 kilogram kunnen verwerken.
FU06	De machine moet in samenwerking met het waarnemingssysteem op zijn minst vier karren per uur kunnen laden of lossen(1).

Om een eis te valideren zijn er vier verificatie mogelijkheden (VM), deze mogelijkheden zijn met name:

- Inspectie(I): als een eis gesteld wordt aan een visueel onderdeel zoals bijvoorbeeld een lamp, kleur van een object etc.
- Demonstratie(D): een eis gesteld aan het functioneren van een onderdeel van de machine zoals bijvoorbeeld een deur die opent.
- Testen(T): wanneer de eis een kwantitatieve eenheid dat getest kan worden aan de hand van een van tevoren gedefinieerde test zoals bijvoorbeeld de snelheid van de machine.
- Analyse(A): wanneer een eis een kwantitatieve eenheid heeft en deze niet door middel van een test geverifieerd kan worden doordat deze test te complex is om uit te voeren kan de functie geanalyseerd worden aan de hand van berekeningen en literatuuronderzoek.

Door middel van deze methodes is het mogelijk om een bepaalde kwaliteit van de eisen te waarborgen. De uitkomst van de validatie methode, de eis classificatie (EC), kan op drie manieren geclassificeerd worden, namelijk:

- Voldoende (V): wanneer de eis volledig is voldaan.
- Matig (M): wanneer de eis in mindere mate is voldaan.
- Onvoldoende (O): wanneer de eis niet is voldaan.

Tabel 2 Test procedure

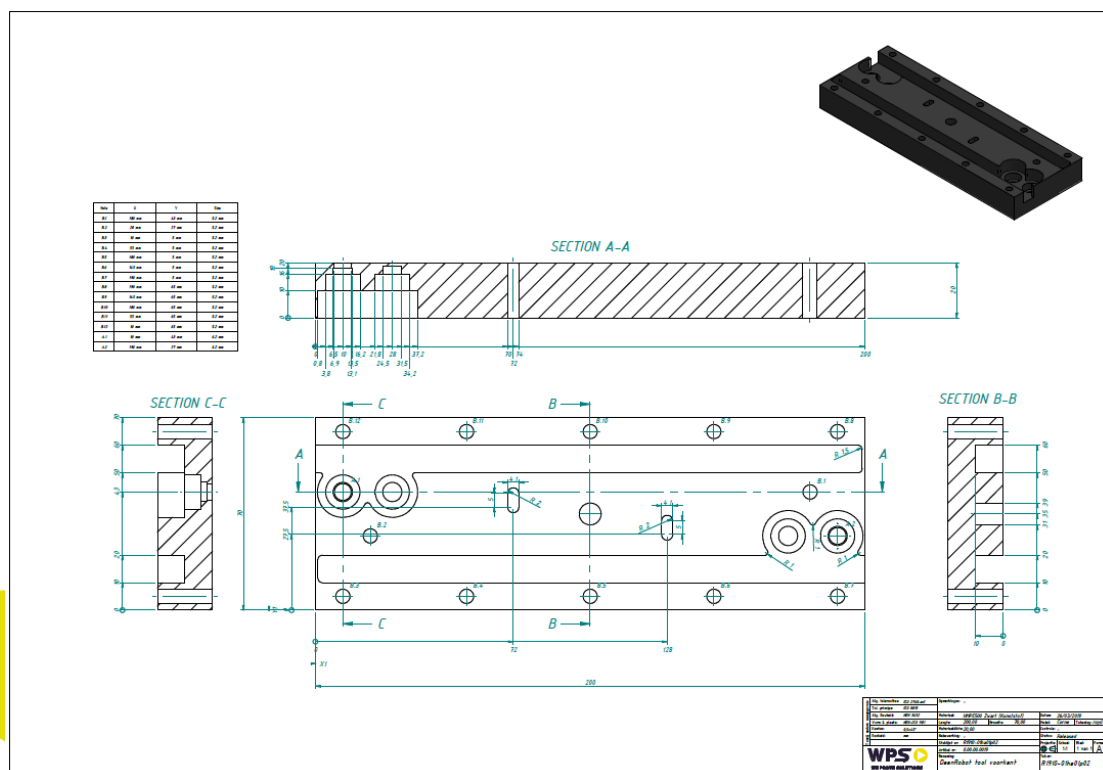
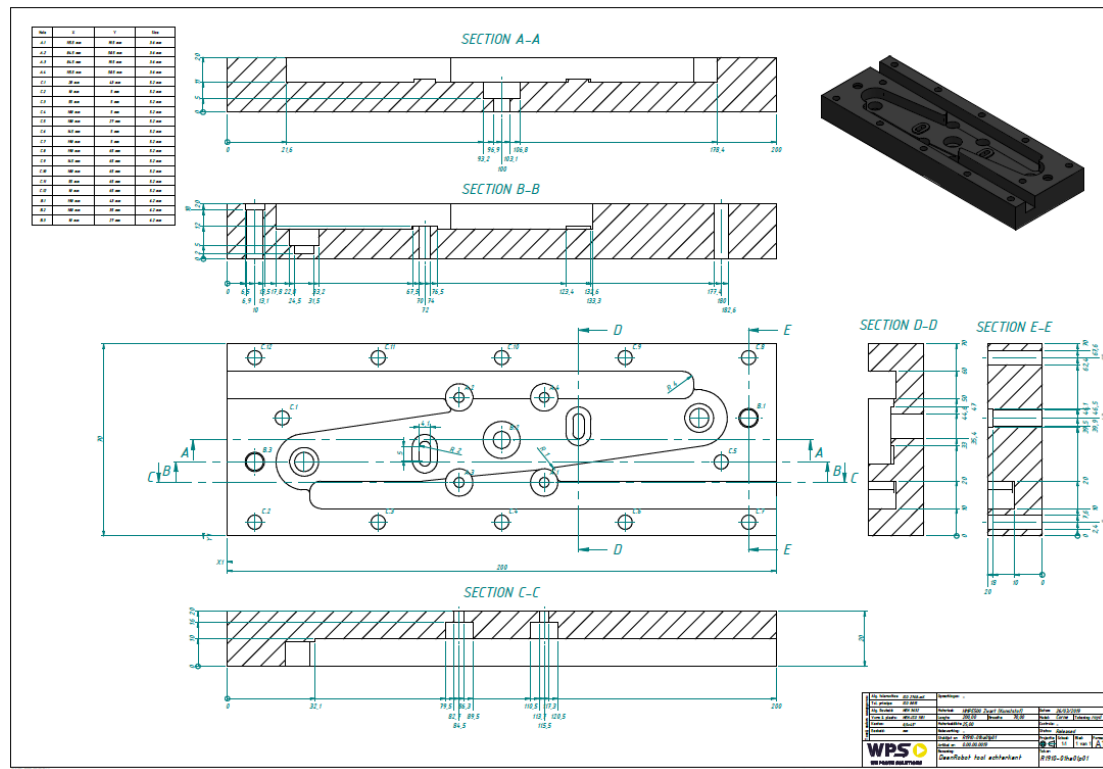
Benaming	Omschrijving van de test procedure	VM	EC
FU01	De machine dient handmatig of automatisch fust onder een hoek van $\pm 30^\circ$, ten opzichte van de verticale as van de machine, op te kunnen pakken van een tafel of kar. Wanneer de machine fust tot minimaal $\pm 30^\circ$ verdraaiing, ten opzichte van de verticale as van de machine, het fust op kan pakken voldoet de machine aan deze eis. Wanneer deze machine het fust tussen 20° en 30° verdraaiing kan oppakken voldoet deze deels aan de eis en wanneer deze lager scoort voldoet de machine niet aan de gestelde eis.	D	V
FU02	Wanneer het oppak en plaatsingssysteem het fust vijf centimeter onder de rand oppakt, waardoor overhangend blad niet beschadigd wordt, voldoet de machine aan de gestelde eis. Wanneer dit niet het geval is of de machine het fust laat vallen voldoet de machine niet aan de eis.	T	V
FU03	Wanneer het mogelijk is om verschillende recepten te kiezen waarbij rekening gehouden moet worden met de verschillende grootte van het fust en de oppak en plaatsing oriëntatie en positie hiervan voldoet de machine aan deze eis. Wanneer er alleen gekozen kan worden voor een bepaald type fust voldoet de machine gedeeltelijk aan de eis en wanneer er niet gekozen kan worden voor verschillende recepten voldoet de machine niet aan de eis.	D	V
FU04	Het oppak en plaatsing mechanisme moet tussen de 200 mm en 560 mm breed kunnen worden. Wanneer het mechanisme tussen de 210 mm en 540 mm breed kan worden voldoet het mechanisme gedeeltelijk aan de eis en wanneer de breedte variabel is tussen 220 mm en 520 mm voldoet het mechanisme niet aan de eis.	T	m
FU05	De machine moet een Normtray 490 met een massa van 15 kilogram kunnen verplaatsen van de Deense kar naar een werktafel of lopende band en van een werktafel of lopende band naar een Deense kar zonder hulp te ontvangen van een buitenstaander. Wanneer de machine maar één van de twee mogelijkheden kan voltooien voldoet de machine gedeeltelijk aan de eis en wanneer dit niet mogelijk is voldoet de machine niet aan de gestelde eis.	D	V
FU06	Wanneer de machine zonder het waarneming systeem op zijn minst zes karren per uur kan vullen (berekent door de tijd die het kost om één kar te vullen te vermenigvuldigen met zes) voldoet de machine aan deze eis. Wanneer deze vier karren per uur kan vullen voldoet deze gedeeltelijk aan de gestelde eis. Als de machine minder dan vier karren per uur verwerkt voldoet deze niet aan de gestelde eis.	T	V

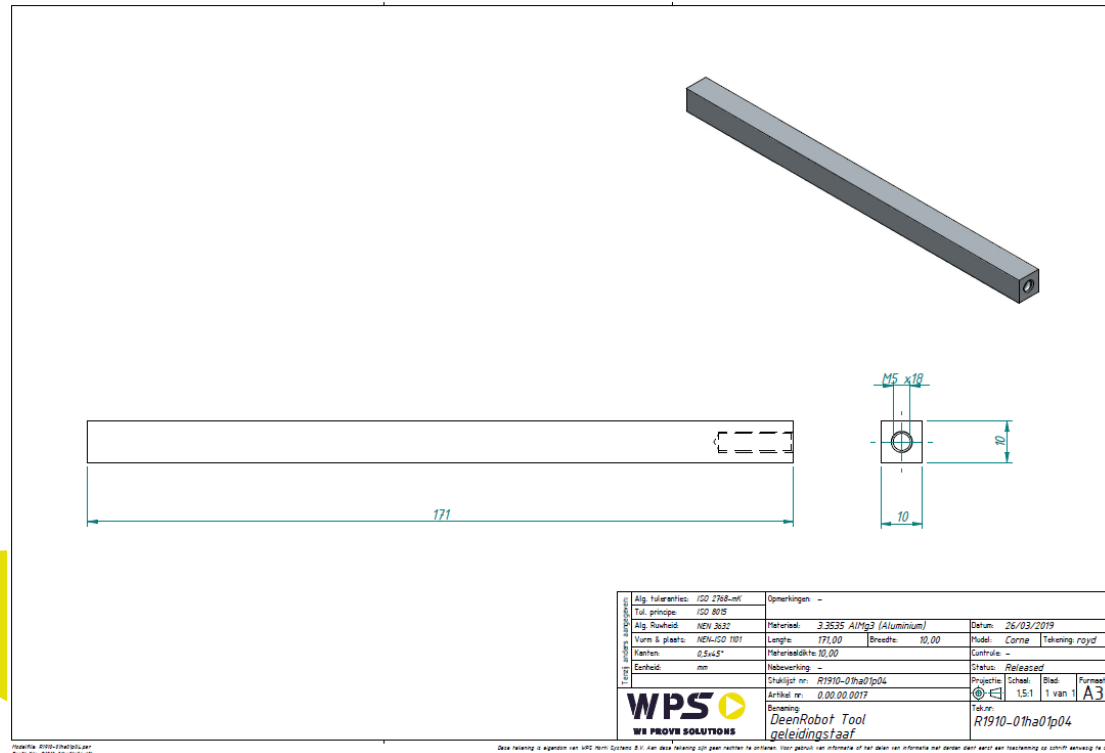
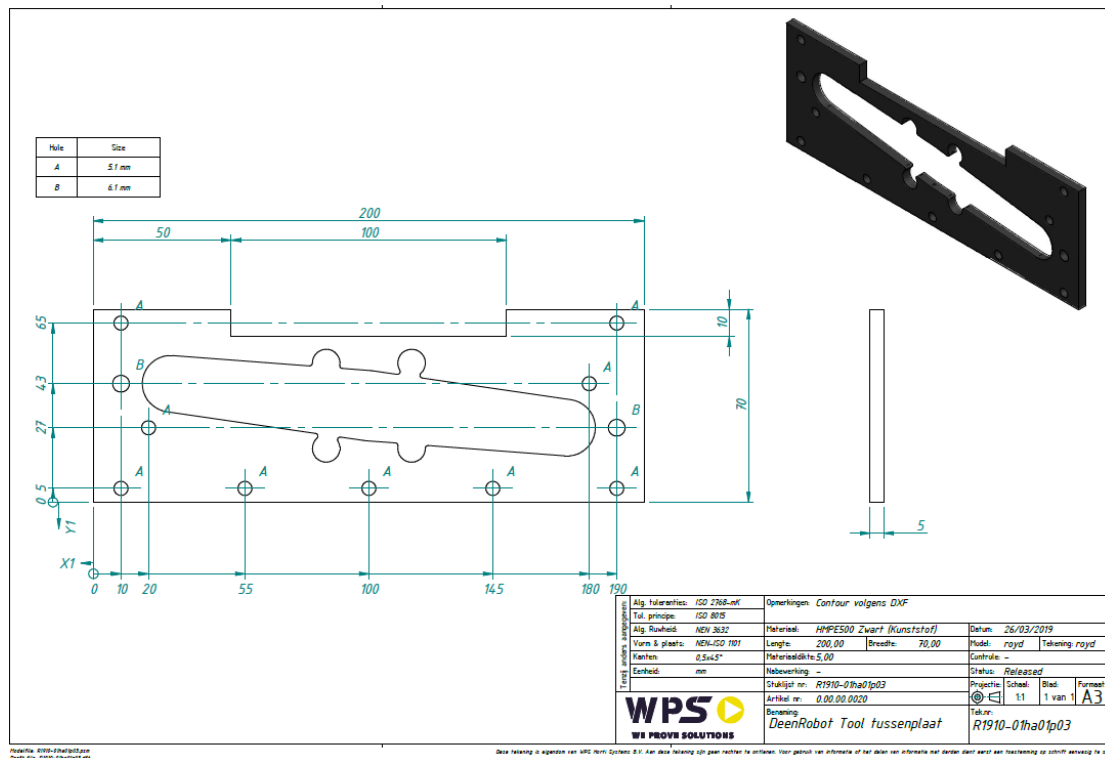
Opmerkingen : De machine voldoet in meerdere of mindere mate aan alle gestelde eisen. Op het moment van testen is het niet mogelijk om een volledige kar te legen of te vullen, ^{FU06} dit is daarom door middel van het ~~vermenigvuldigen~~ leggen van de bovenste twee lagen van een kar getest.

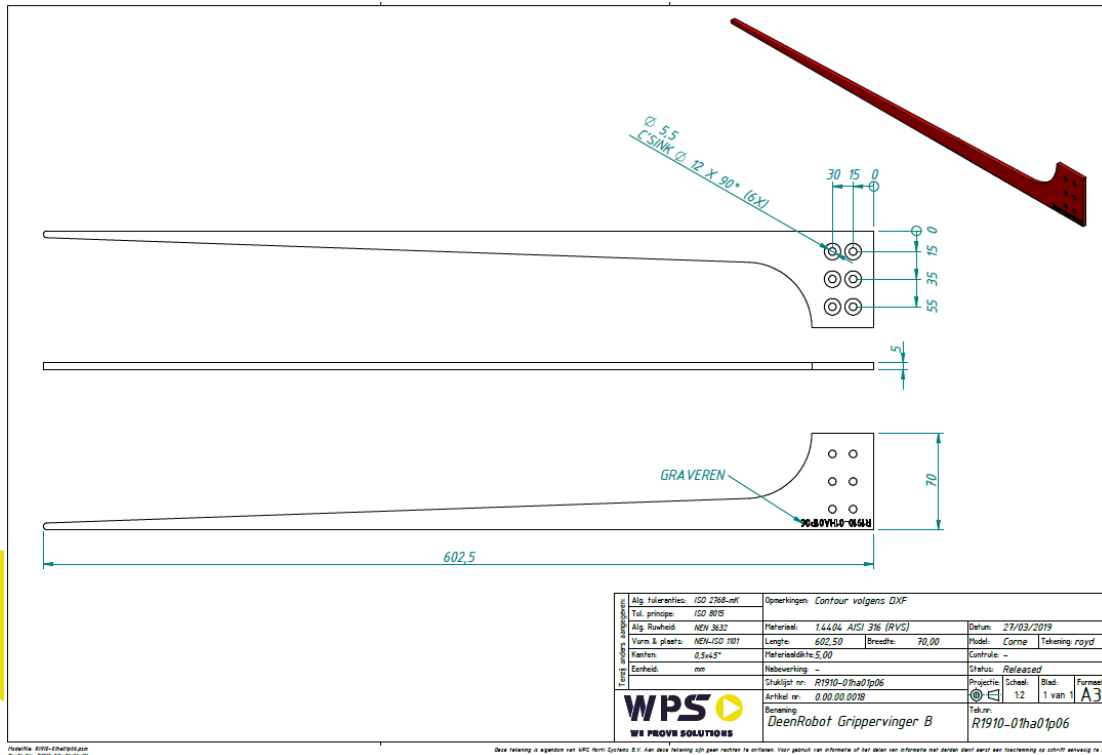
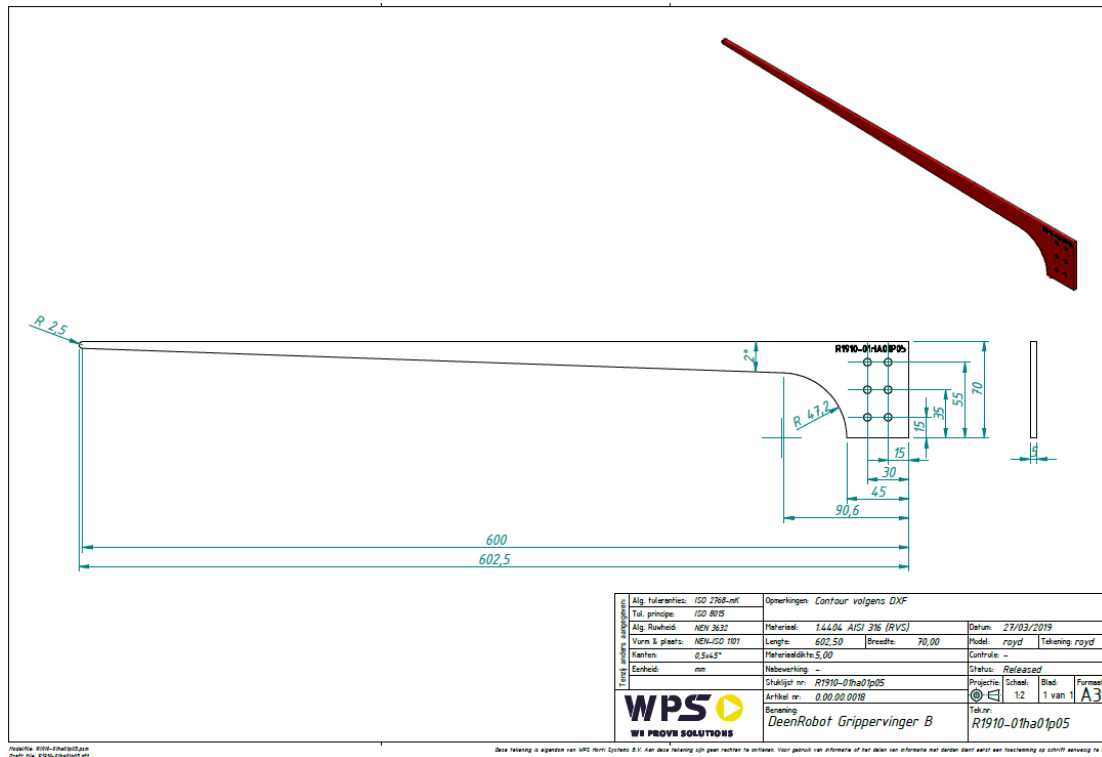
Locatie: De lier

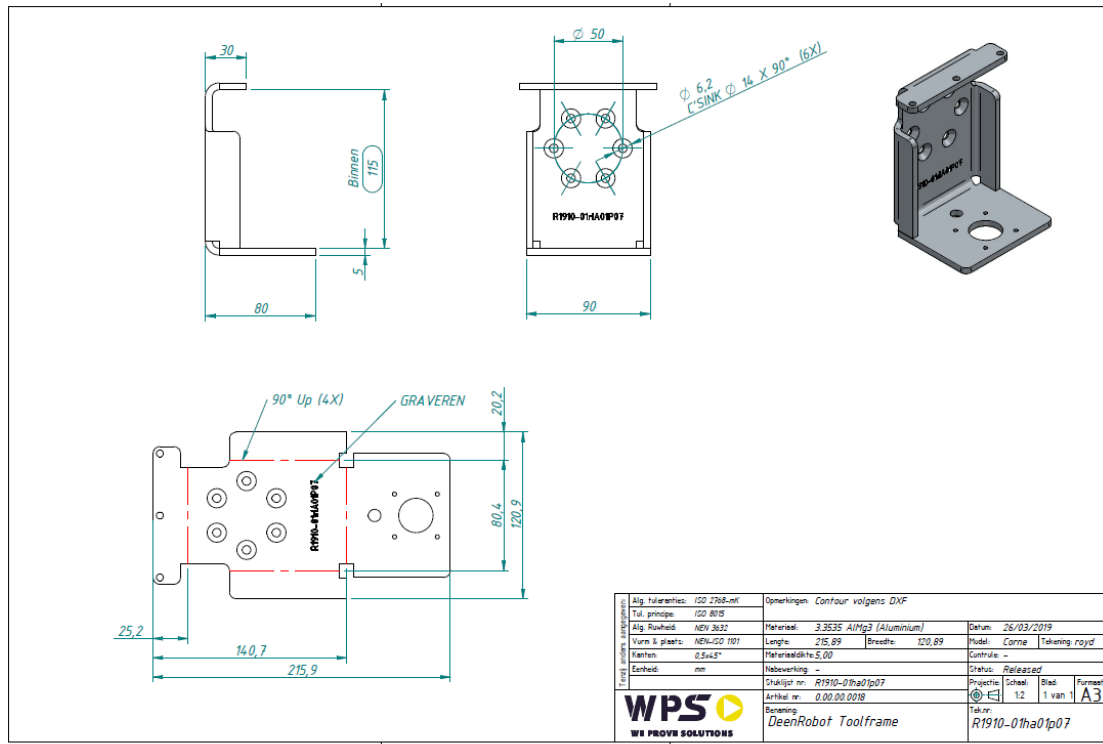
Datum: 29/05/2019

Bijlage III : Werktekeningen



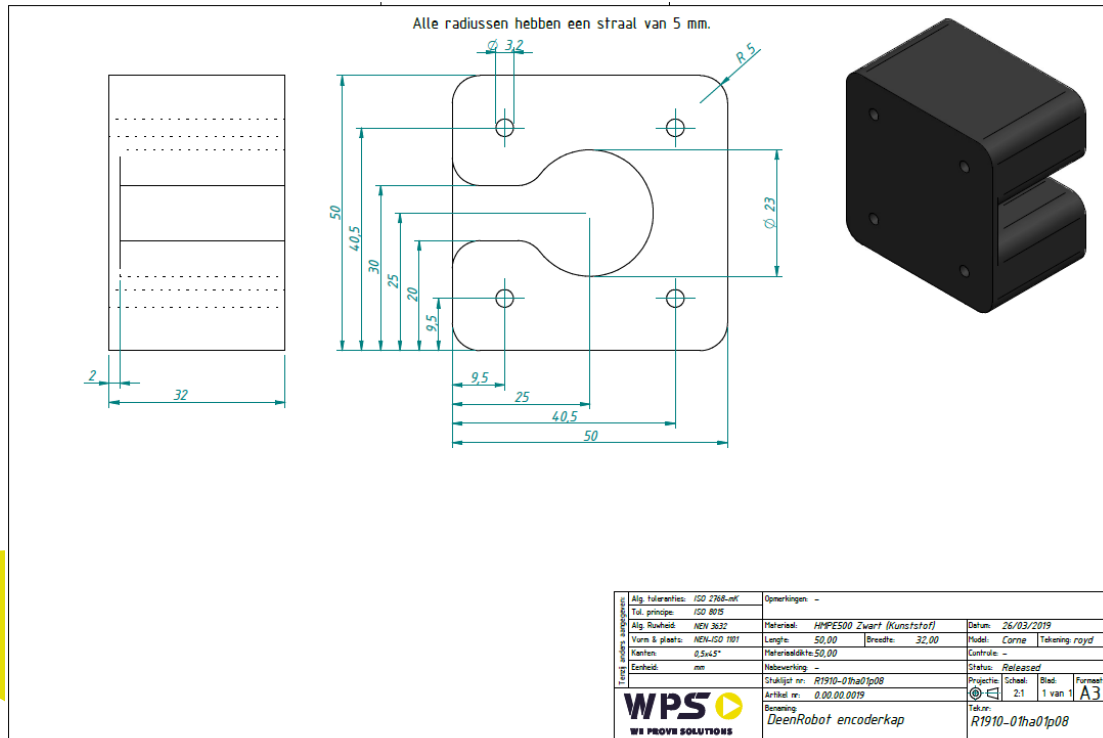






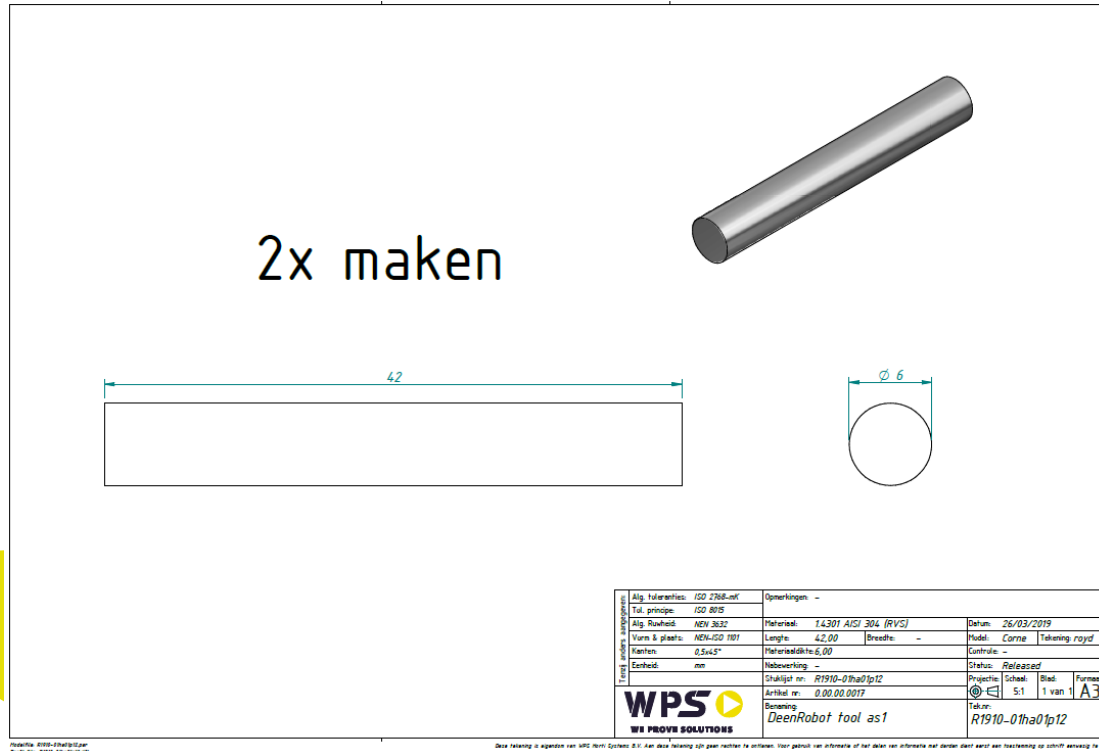
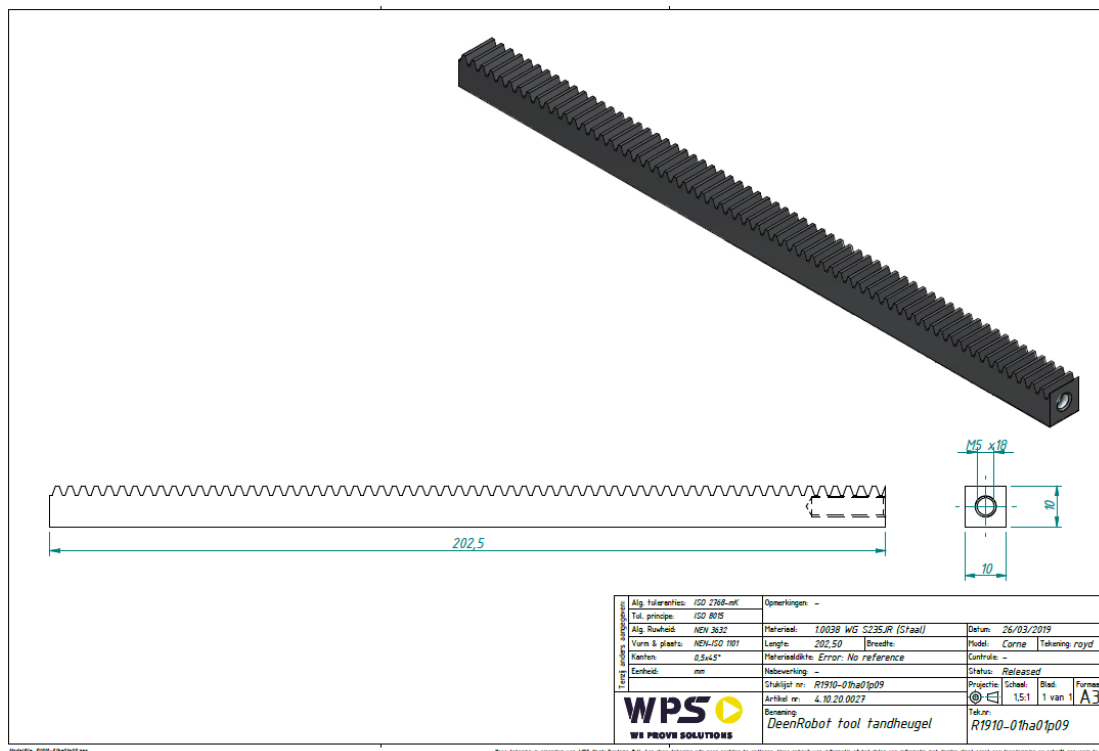
Modelna: R1910-01a01p07
Draht Na: R1910-01a01p07

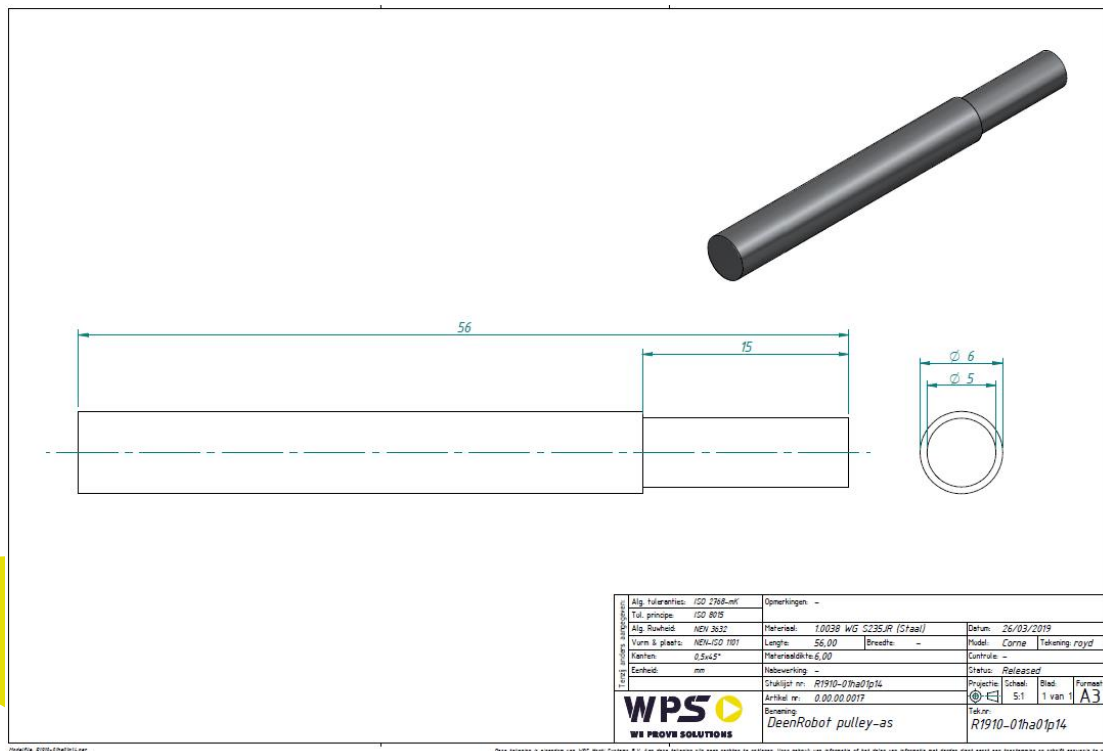
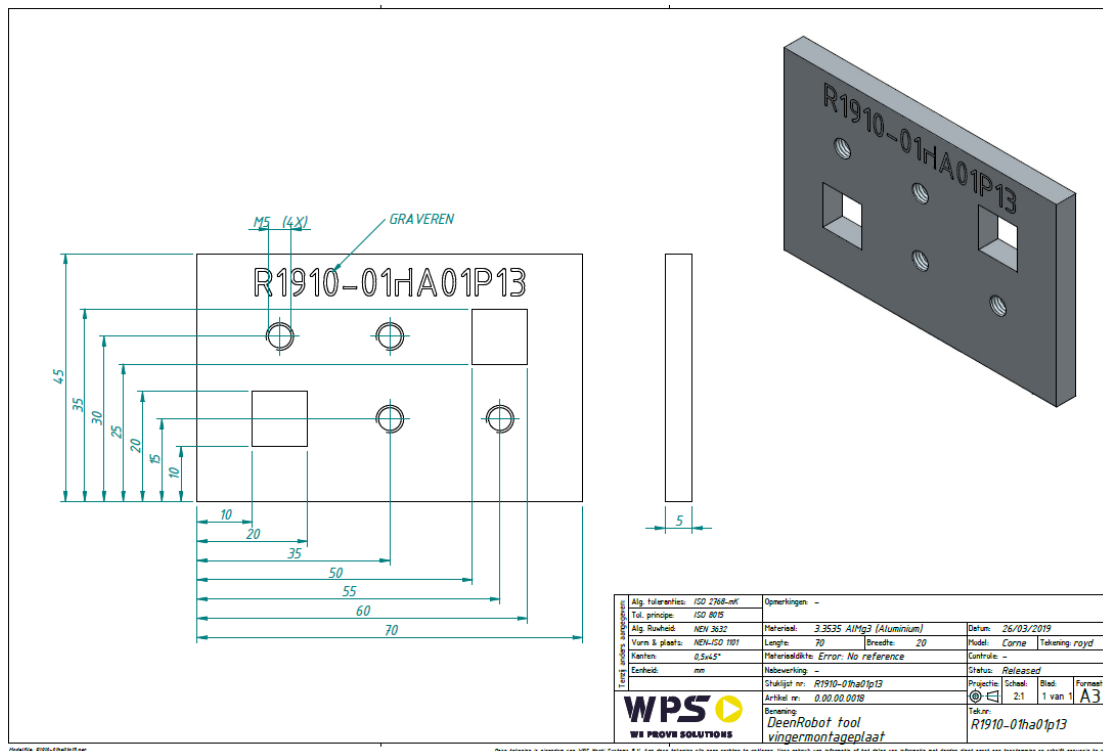
Deze tekening is eigendom van WPS North Cyprus B.V. Aan deze tekening zijn geen rechten te onttrekken. Voor gebruik van informatie of het delen van informatie met derden dient eerst een toestemming te zijn.

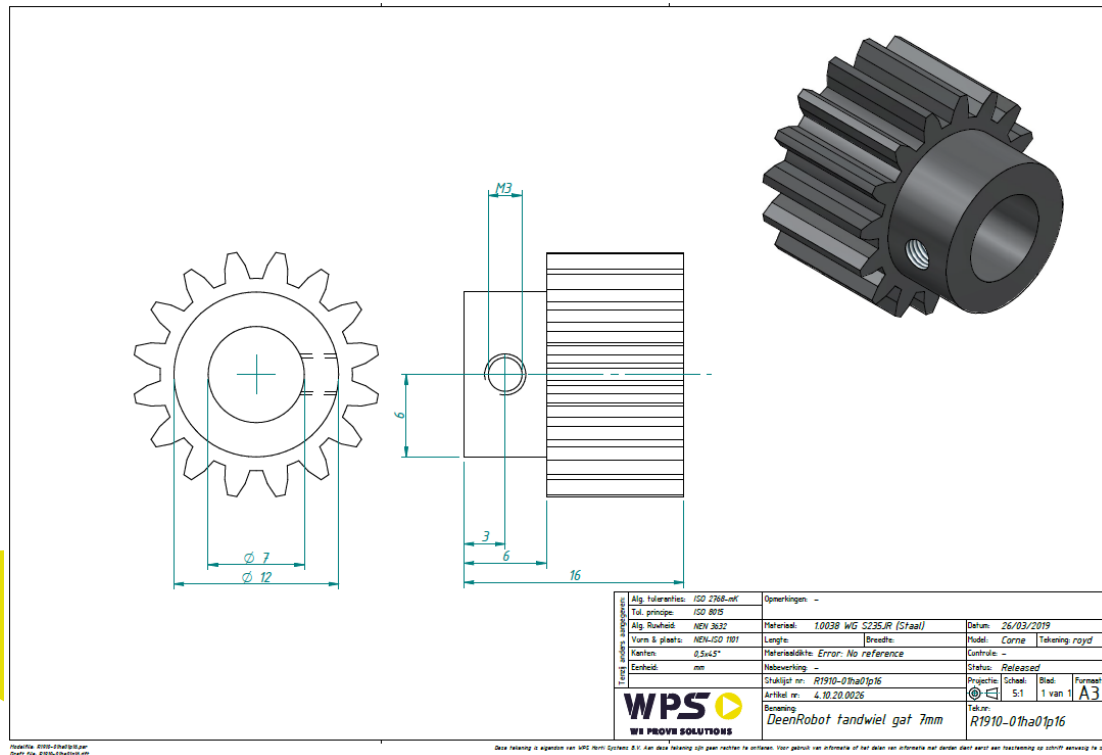
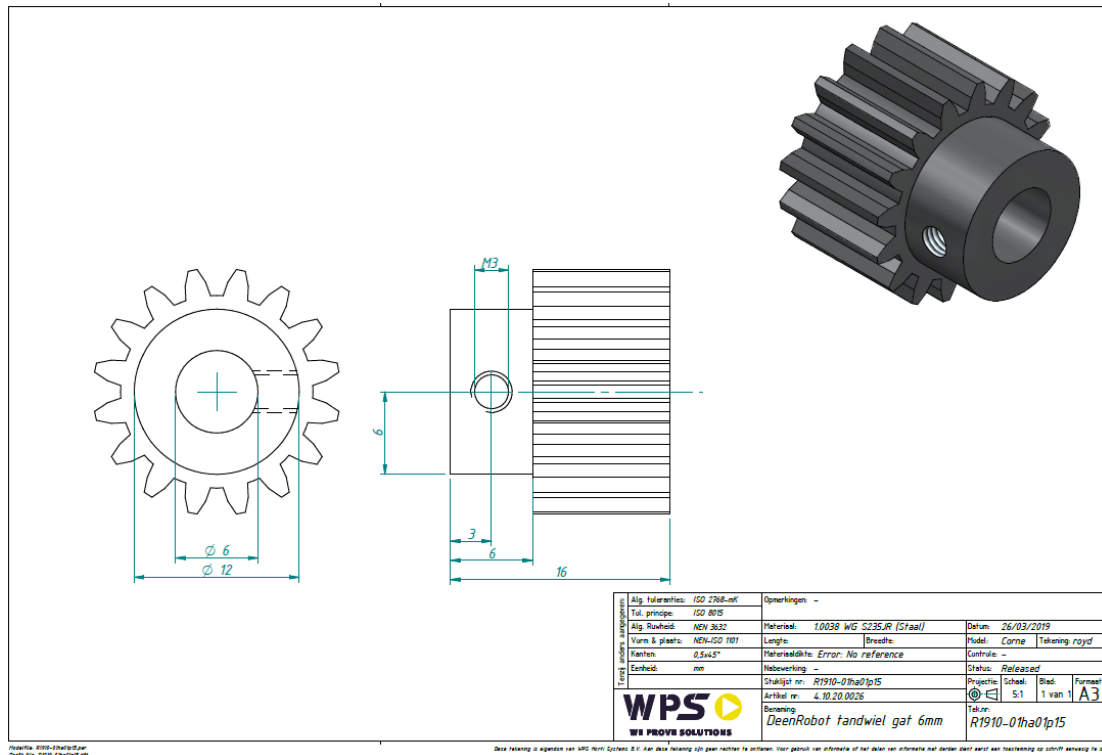


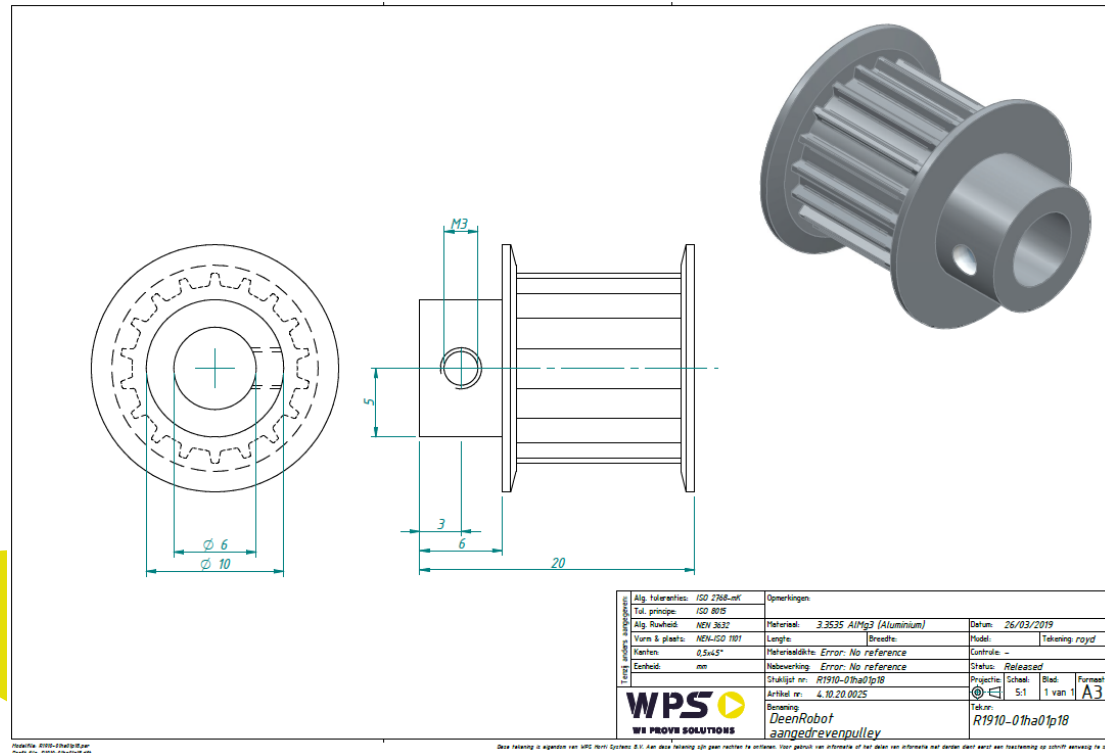
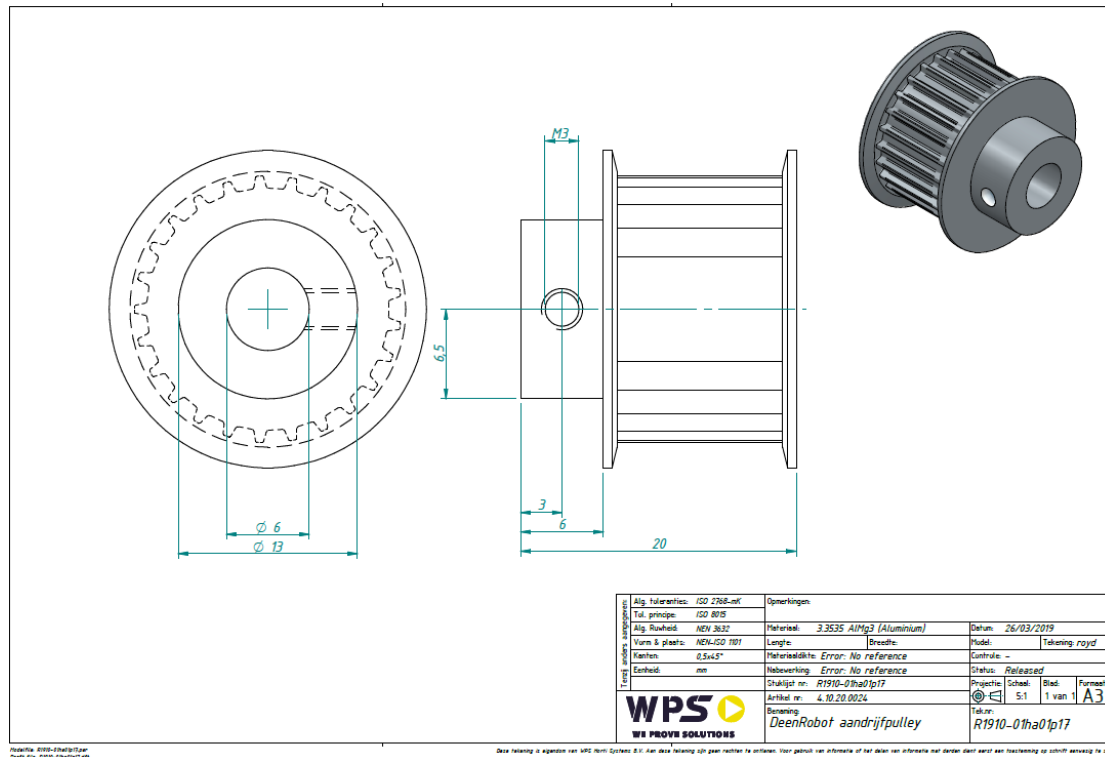
Modelna: R1910-01a01p08
Draht Na: R1910-01a01p08

Deze tekening is eigendom van WPS North Cyprus B.V. Aan deze tekening zijn geen rechten te onttrekken. Voor gebruik van informatie of het delen van informatie met derden dient eerst een toestemming te zijn.









Bijlage IV : Interview Corné Groen

Interview Corné Groen

Mogen we er vanuit gaan dat 1 kar met 1 type tray wordt gevuld?

Ja, voor de demo mag dat.

Hoeveelheid karren moet de machine per uur kunnen verwerken? (capaciteit)

De machine dient een lopende band met een capaciteit van 2000 planten per uur bij te kunnen houden.

Maximale gewicht trays en potten?

De machine moet fust van maximaal 15 kilo kunnen verwerken.

Hoeveel verschillende soorten trays of potten heeft een tuinder gemiddeld?

Ongeveer 8 type trays die of hard (voor meervoudig gebruik) of zacht (voor enkelvoudig gebruik) kunnen zijn.

Verplaatsbaarheid van machine?

De machine hoeft niet verplaatsbaar te zijn en kan verankerd worden aan de vloer.

Maximale lengte, breedte en hoogte van een tray en oppervlakte en hoogte van een pot?

Refereer naar de fust catalogus van flora holland. Hiervan moet hij de grootste tray op kunnen pakken.

Wat voor camera's en software worden nu gebruikt?

Halcon software of pliant.

Hoeveel weegt een Deense kar?

Weet ik niet, kijk even op internet om hier achter te komen.

Wat voor levensduur is acceptabel bij redelijk aanneembaar onderhoud?

10 jaar.

Wat voor temperatuur, luchtvochtigheid en stof moeten we rekening mee houden?

De machine moet kunnen functioneren in een schuur of kas. Hierbij moet rekening gehouden worden met een omgevingstemperatuur tussen de 0 en 50 °C met een luchtvochtigheid van circa 95% waarbij de omgeving erg stoffig kan zijn.

Welke tray databases zijn beschikbaar naast de database van flora holland?

Zover ik weet geen. Als je rekening houdt met de fust catalogus van flora holland dan is dat prima.

Binnen hoeveel kalenderjaar moet de machine terug te verdienen zijn?

Dat moet je even aan Maarten van der Gaarden vragen.

Wat kost een personeelslid gemiddeld per uur?

Dat weet ik niet dat kan je beter aan Martin of Maarten vragen.

Hoeveel uren werkdagen mogen we vanuit gaan voor zo een personeelslid?

60 uren werkweken, waarvan in de winter minder dan 40 uur en in de zomer vaak meer dan 60 uur.

Hoeveel dagen verzuim heeft een personeelslid gemiddeld?

Weet ik niet dat zou je even moeten onderzoeken.

Weet het systeem welke trays of potten er op de lopende band aangeleverd gaan worden?

Ligt eraan in hoeverre de kweker een WPS systeem geïmplementeerd heeft. Voor de demo mag je er wel vanuit gaan dat dit bekend is.

Is er net zoals als voor type trays een fust catalogus voor potten waar wij naar kunnen kijken?

Je kan even bij Modiform of Epla kijken voor informatie over potten.

Wat wil je graag terug zien bij een HMI scherm voor het aangeven van een recept?

Ik wil een tray type kunnen kiezen waarna ik op start kan drukken en de machine deze tray kan verwerken.

Bijlage V : Interview Martin van Tol

Interview Martin van Tol

Binnen hoeveel kalenderjaar moet de machine terug te verdienen zijn?

Tussen de drie tot vijf kalender jaar.

Wat kost een personeelslid gemiddeld per uur?

20 euro per uur.

Hoeveel uren werkdagen mogen we vanuit gaan voor zo een personeelslid?

Tussen de 40 en 45 uur.

Hoeveel dagen verzuim heeft een personeelslid gemiddeld?

Weet ik niet, refereer naar statistiekbureaus (Interpolis) om te bepalen hoeveel dagen verzuim een personeelslid in de tuinbouwsector gemiddeld heeft. (Rond de 3%

<https://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2264&indicatorID=2113>)

Hoeveel karren moet de machine per uur kunnen verwerken?

Hangt sterk af van de kweker hoeveel karren de machine per uur moet kunnen verwerken.

Hoeveel verschillende trays en potten heeft een kweker gemiddeld en welke tray is het meest voorkomend?

Hangt sterk af van de kweker hoeveel verschillende soorten en welke soorten fust zij gebruiken.

Zijn er verschillende type fust aanwezig in één vrachtwagen?

Ja.

Is er net zoals als voor type trays een fust catalogus voor potten waar wij naar kunnen kijken?

Kijk bijvoorbeeld bij Modiform of Epla voor informatie over verschillende type potten.

Wat wil je graag terug zien bij een HMI scherm voor het aangeven van een recept?

Een zo simpel mogelijk ontwerp zodat iedereen het begrijpt.

Zijn klanten technisch onderlegd of mogen we uitgaan van enige technische kennis?

Er zijn tuinders met enige technische kennis, echter zijn er ook tuinders die totaal geen technische kennis hebben. Het is dus belangrijk dat de machine zo simpel mogelijk is.

Wat voor levensduur is acceptabel bij redelijk aanneembaar onderhoud?

12 tot 15 jaar

Welke landen zijn klanten in gevestigd in verband met regelgeving?

Voornamelijk Europa en America. Verder is er mogelijk een grote opkomende markt in Canada vanwege de cannabis teelt.

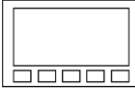
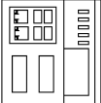
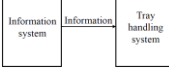
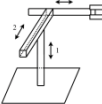
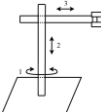
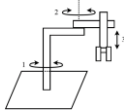
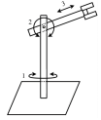
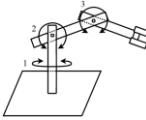
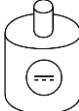
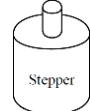
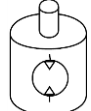
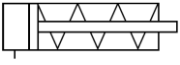
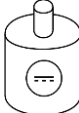
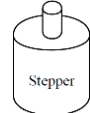
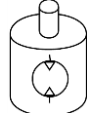
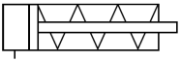
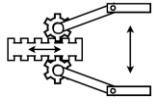
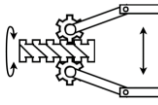
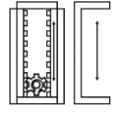
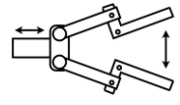
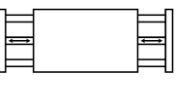
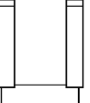
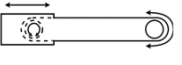
Is er een Deense kar aanwezig bij WPS of kan deze geregeld worden voor testen?

Eventueel huren of vragen bij tuinders.

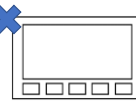
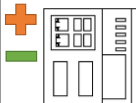
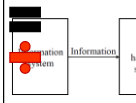
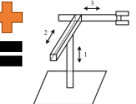
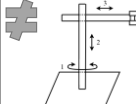
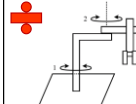
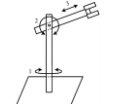
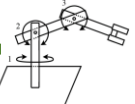
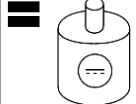
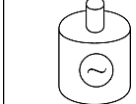
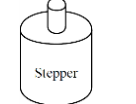
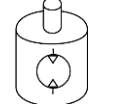
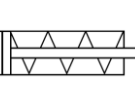
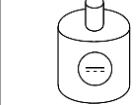
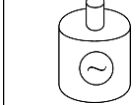
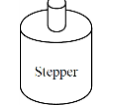
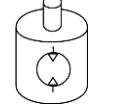
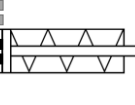
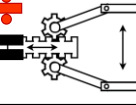
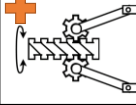
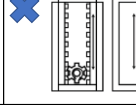
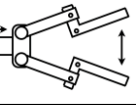
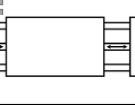
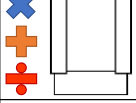
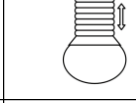
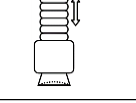
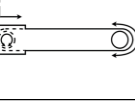
Is het mogelijk om eventueel een tuindersbezoek in te plannen om de laad/los situatie te kunnen bekijken?

Ja, dat is mogelijk dit kan in overleg met mij of René Zoutendijk.

Bijlage VI : Morfologisch overzicht

Functie	Werkwijze						
	1	2	3	4	5	6	7
Informatie invoeren/ontvangen				layerSpacing = 30 layerAmount = 5 trayLocations = [[x1,y1,z1], [x2,y2,z2],...,[xn,yn,zn]] trayType = type1			
	Invoeren in een HMI	Invoeren via de PLC	Vanuit secundair systeem	Hardcoded			
Oppak en plaatsings mechanisme positioneren							
	Handmatig Cartesiaanse robot PPP joint	Automatisch Cilindrische robot RPP joint	Vanuit secundair systeem SCARA robot RRP joint	Hardcoded Sferische robot RRR joint	Gearticuleerde robot		
Oppak en plaatsings mechanisme bijdraaien							
	Servomotor	DC-motor Elektrisch	AC-motor	Stappenmotor Elektrisch/Pneumatisch	Luchtmotor Pneumatisch	Zuiger Pneumatisch/Hydraulisch	
Oppak en plaatsings mechanisme actueren							
	Servomotor	DC-motor Elektrisch	AC-motor	Stappenmotor Elektrisch/Pneumatisch	Luchtmotor Pneumatisch	Zuiger Pneumatisch/Hydraulisch	
Breedte van het oppak en plaatsings mechanisme aanpassen							
	Rack and pinion 1	Wormwiel Elektrisch	Rack and pinion 2	Twee vinger mechanisme Pneumatisch/Hydraulisch	Zuigergrijper		
Trays/potten oppakken en plaatsen							
	Spatel	Vork	Koffiebonen	Zuignappen	Transportband Elektrisch		
	Mechanisch		Pneumatisch				

Bijlage VII : Morfologisch overzicht ingevuld

Functie	1	2	3	Werkwijze	5	6	7
Informatie invoeren/ontvangen				LayerSpacing = 30 LayerAmount = 5 trayLocations = [[x1,y1,z1], [x2,y2,z2],...,[xn,yn,zn]] trayType = type1			
	Invoeren in een HMI	Invoeren via de PLC	Vanuit secundair systeem	Hardcoded			
	Handmatig			Statisch			
Oppak en plaatsings mechanisme positioneren							
	Cartesiaanse robot	Cilindrische robot	SCARA robot	Sferische robot	Gearticuleerde robot		
	PPP joint	RPP joint	RRP joint	RRR joint			
Oppak en plaatsings mechanisme bijdraaien							
	Servomotor	DC-motor	AC-motor	Stappenmotor	Luchtmotor	Zuiger	
	Elektrisch			Elektrisch/Pneumatisch	Pneumatisch	Pneumatisch/Hydraulisch	
Oppak en plaatsings mechanisme actueren							
	Servomotor	DC-motor	AC-motor	Stappenmotor	Luchtmotor	Zuiger	
	Elektrisch			Elektrisch/Pneumatisch	Pneumatisch	Pneumatisch/Hydraulisch	
Breedte van het oppak en plaatsing mechanisme aanpassen							
	Rack and pinion 1	Wormwiel	Rack and pinion 2	Twee vinger mechanisme	Zuigergriper		
	Elektrisch			Pneumatisch/Hydraulisch			
Trays/potten oppakken en plaatsen							
	Spatel	Vork	Koffiebonen	Zuignappen	Transportband		
	Mechanisch		Pneumatisch				

 Concept 1
  Concept 2
  Concept 3
  Concept 4
  Concept 5
  Concept 6

Bijlage VIII : Voor- en nadelen concept ontwerpen

		Concept 1	Concept 2	Concept 5	Concept 6
Bewegingsmechanisme	Voordelen	Kan een object vanaf meerdere oriëntaties benaderen zolang het object zich in de "Dexterous workspace" bevindt en hierdoor om obstakels heen manoeuvreren.	Kan relatief zware objecten verwerken door de starre structuur van de machine.	Snelle cyclus tijden mogelijk.	Twee manieren om op een positie te komen.
		Recepten toe te voegen en aan te passen aan de hand van een HMI scherm.	Nauwkeurigheden tot 10 µm.	Roterende as goed bestand tegen stoffige en vochtige omgevingen.	Modulaire oppak en plaatsing coördinatie doordat een secundair systeem deze informatie kan verkrijgen en automatisch door kan voeren naar de robot.
		Bestand tegen stoffige en vochtige omgevingen.	Weinig processor vermogen nodig voor het uitvoeren van simpele berekeningen.	Weinig processor vermogen nodig voor het uitvoeren van simpele berekeningen.	Bestand tegen stoffige en vochtige omgevingen.
		Hoge werkgebied per vloeroppervlakte verhouding.			Hoge werkgebied per vloeroppervlakte verhouding.
		Kan boven zijn eigen hoogte reiken.			
	Nadelen	Veel processor vermogen nodig voor het uitvoeren van complexe berekeningen.	Lage werkgebied per vloeroppervlakte verhouding ten opzichte van andere robots.	Cilindrische robots komen relatief weinig voor in de praktijk waardoor beschikbaarheid van hardware en software gelimiteerd is.	Veel processor vermogen nodig voor het uitvoeren van complexe berekeningen.
			Moeilijk om stof en vocht buiten lineair bewegende delen te houden.	Roterende as is slecht bestand tegen axiale belastingen.	Wanneer verkeerde informatie wordt verschaft door het secundaire systeem beweegt de robot naar verkeerde posities waardoor schade aan de machine of omgeving kan ontstaan.
			Kan niet boven zijn eigen hoogte reiken.	Moeilijk om stof en vocht buiten lineair bewegende delen te houden.	Kan niet boven zijn eigen hoogte reiken.
Oppak en plaatsing mechanisme	Voordelen	Nauwkeurig.	Nauwkeurig.	Kan mogelijk alle tray en pot types oppakken en plaatsen.	Nauwkeurig.
		Variabele breedte.	Variabele breedte.	Afhankelijk van de configuratie breedte variabel.	Variabele breedte.
		Compact mechanisme.	Symmetrische verdeling van de last over de gripper.		Symmetrische verdeling van de last over de gripper.
			Een wormwiel aandrijving is niet backdrivable waardoor deze niet open of dicht gedrukt kan worden wanneer de motor uit staat.		
			Doordat de stappenmotor slipgevoelig is heeft de gripper een inherente beveiliging tegen het beschadigen van trays, potten of planten.		
	Nadelen	Lasten niet altijd symmetrisch verdeeld afhankelijk van de gekozen configuratie.	Geen positionele feedback.	Pneumatische of hydraulische voorziening vereist om de zuiger aan te sturen.	Geen compact mechanisme voor gewenste dimensies.
			Geen compact mechanisme voor gewenste dimensies.	Bladeren van planten kunnen tussen de draaiende delen van de lopen band komen waardoor deze beschadigen.	
				Onnauwkeurige beweging door het gebruik van een zuiger als actuator van mechanisme.	
				Transportbanden kunnen door vuil, slijtage of rek grip verliezen.	
				Afhankelijk van de configuratie breedte niet variabel.	

Bijlage IX : Communicatie protocollen

Protocol 1			
Protocol 1 ontvangt informatie van de inputs van de aangesloten kaarten en verstuurd informatie naar de outputs van de aangesloten kaarten. In dit geval wordt dit via de numerical control (NC) bibliotheek gedaan voor het aansturen van de motor en ontvangen van de encoder informatie. Ook wordt op deze manier de snelheid, acceleratie, negatieve eindstandmelder, positieve eindstandmelder en een aantal andere variabele naar de motor controller			
Protocol 2			
Variabele naam	Data type	Data lengte (Bytes)	Input
GVLiState	UDINT	4	GVL_MAIN.iState, state
iHandlingAmount	UDINT	4	GVL_HMI.iAmountOfFustHMI
bDanishTrolleyHandlingFillEmpty	BOOL	1	GVL_MAIN.bDanishTrolleyHandlingFillEmpty
bReady	BOOL	1	GVL_MAIN.bReady
aStTarget1	ARRAY[0..100] OF ST_Targets	4800	GVL_MAIN.fbDeenRobot.aStTargets
GVL_HMI.rInnerLengthHMI	REAL	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.rInnerLength
GVL_HMI.rOuterLengthHMI	REAL	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.rOuterLength
GVL_HMI.rInnerWidthHMI	REAL	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.rInnerWidth
GVL_HMI.rOuterWidthHMI	REAL	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.rOuterWidth
GVL_HMI.rInnerHeightHMI	REAL	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.rInnerHeight
GVL_HMI.rOuterHeightHMI	REAL	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.rOuterHeight
GVL_HMI.eTypeHMI	E_FustTypes	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.eType
GVL_HMI.sNameHMI	STRING	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.sName
GVL_HMI.iAmountOfFustPerLayerHMI	UDINT	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.iAmountOfFustPerLayer
GVL_HMI.iAmountOfLayersHMI	UDINT	-	GVL_MAIN.fbDeenRobot.stFustData.iAmountOfLayers
GVL_MAIN.iFustId	INT	-	GVL_HMI.bDanishTrolleyHandlingFillEmptyHMI
GVL_MAIN.bDanishTrolleyHandlingFillEmpty	BOOL	-	GVL_HMI.iFustIdHMI
GVL_MAIN.fbDeenRobot.rToolVelocity	REAL	-	GVL_HMI.rToolVelocityHMI
GVL_MAIN.fbDeenRobot.rToolAcceleration	REAL	-	GVL_HMI.rToolAccelerationHMI
GVL_MAIN.fbDeenRobot.rToolOverride	REAL	-	GVL_HMI.rToolOverrideHMI

Protocol 3		
Variabele naam	Data type	Input
state	PERS num	GVL_MAIN.iState
handlingAmount	VAR num	GVL_HMI.iAmountOfFustHMI
targetPosDeenseKar	PERS pos {100}	GVL_MAIN.fbDeenRobot.aStTargets
targetOrientDeenseKar	PERS orient {100}	GVL_MAIN.fbDeenRobot.aStTargets
danishTrolleyHandlingFillEmpty	VAR bool	GVL_MAIN.bDanishTrolleyHandlingFillEmpty
ready	VAR bool	GVL_MAIN.bReady

Bijlage X : Berekeningen in Excel

Straal tot bovenkant tanden (m) = Diameter tot bovenkant tanden (m) / 2

Verdraaiing per tand (°) = 360 / Aantal tanden

Geactueerde/aangedreven pulley verhouding (Geactueerde pulley) = Aantal tanden
(Aangedreven pulley) / Aantal tanden (Geactueerde pulley)

Geactueerde/aangedreven pulley verhouding (Aangedreven pulley) = Aantal tanden
(Geactueerde pulley) / Aantal tanden (Aangedreven pulley)

Tandwiel / tandheugel verhouding = Aantal tanden (Tandwiel) / Aantal effectieve tanden

Aantal effectieve tanden = Effectieve lengte (m) / Verplaatsing per tand (m)

Tandwiel / tandheugel verhouding = Aantal effectieve tanden / Aantal tanden (Tandwiel)

Verplaatsing per rotatie tandwiel (m) = Effectieve lengte (m) * Tandwiel / tandheugel
verhouding

Massa bewegende delen (N) = Massa bewegende delen (kg) * 9,81

Massa per aangedreven tandwiel (N) = Massa bewegende delen (N) / 2

Wrijvingskracht per aangedreven tandwiel (N) = Massa per aangedreven tandwiel (N) * Statische
wrijvingscoëfficiënt HDPE

Benodigde horizontale kracht per aangedreven tandwiel na veiligheidsfactor (N) =
(Wrijvingskracht per aangedreven tandwiel (N) + Gewenste knijpkracht (N)) * Veiligheidsfactor

Koppel op tandwiel (Nm) = Benodigde horizontale kracht per aangedreven tandwiel na
veiligheidsfactor (N) * Straal tot bovenkant tanden (m) (Tandwiel)

Koppel op aangedreven pulley (Nm) = Koppel op tandwiel (Nm) * Geactueerde / aangedreven
pulley verhouding (Aangedreven pulley)

Koppel op geactueerde pulley (Nm) = Koppel op aangedreven pulley (Nm) * Veiligheidsfactor * 2

Tijd per slag (s) = Cyclus tijd (s) / 2

Tandwiel rotaties per slag = Tandwiel / tandheugel verhouding

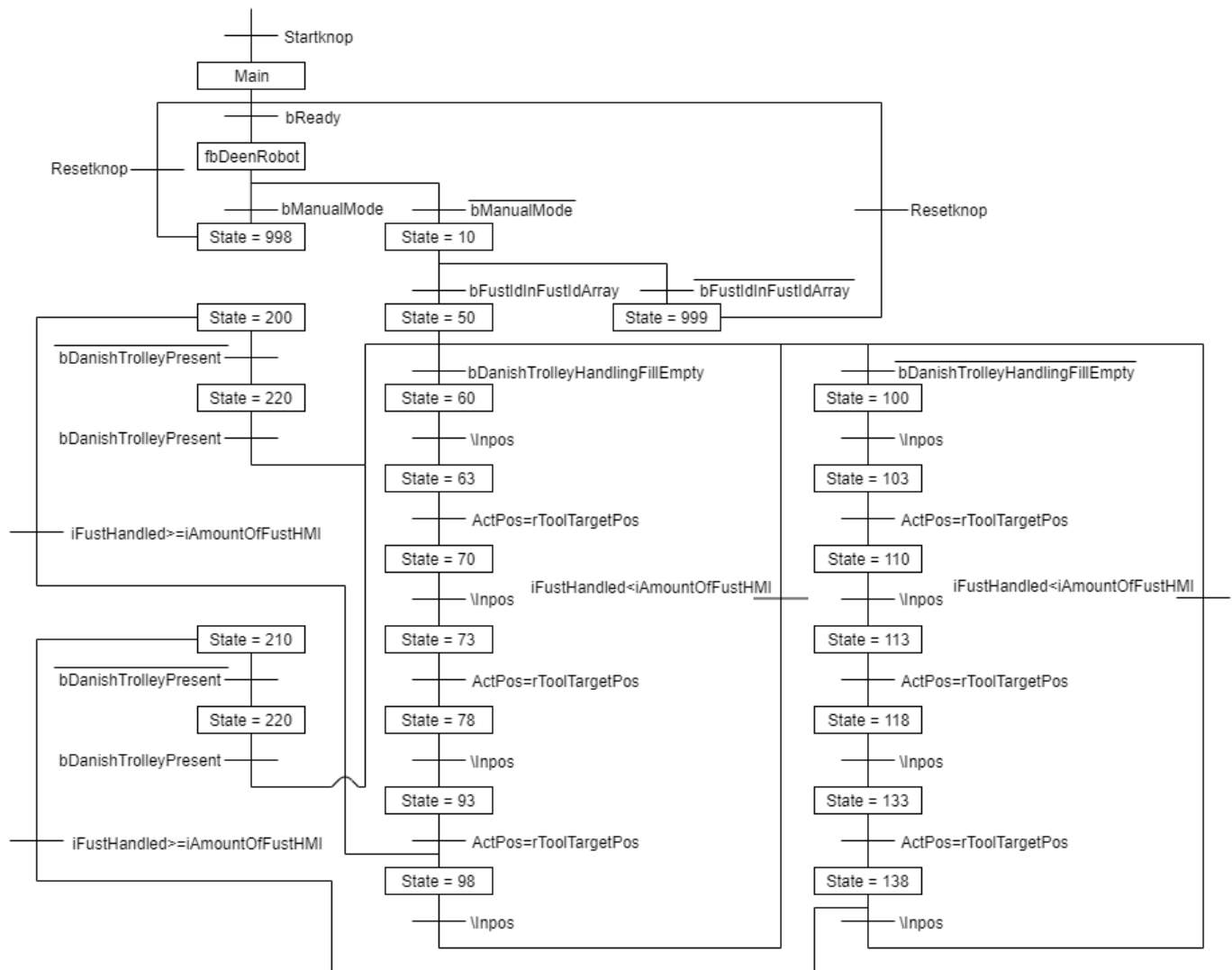
Geactueerde pulley rotaties per slag = Tandwiel rotaties per slag * Geactueerde/ aangedreven
pulley verhouding (Geactueerde pulley)

Rotatie snelheid (RPS) = Geactueerde pulley rotaties per slag / Tijd per slag (s)

Rotatie snelheid (RPM) = Rotatie snelheid (RPS) * 60

Rotatie snelheid (Rad/s) = Rotatiesnelheid (RPM) * 2 * π / 60

Bijlage XI : Programma workflow



Bijlage XI : Programma van eisen

Functionele Fabricage	Omschrijving	Vast	Variabele	Wens
X	De machine moet fust op kunnen pakken wanneer deze 30° verdraaid om de verticale as van de machine.	X		
X	De machine mag de planten tijdens het verwerken niet meer beschadigen dan een gemiddeld personeelslid.	X		
X	Een HMI scherm dient geïmplementeerd te worden voor het kiezen van recepten.	X		
X	De dimensies van het oppak mechanisme van de machine moeten het kleinste en grootste mogelijke fust uit de fust catalogus van Flora Holland kunnen bereiken.	X		
X	De machine moet op zijn minst één met planten gevulde tray of één plant van 15 kilogram kunnen verwerken.		X	
X	De machine moet in samenwerking met het waarnemingssysteem op zijn minst vier karren per uur kunnen laden of lossen ⁽¹⁾ .		X	
X	De machine moet fust met een nauwkeurigheid van minimaal 5 millimeter op kunnen plaatsen ten opzichte van gewenste positie.		X	
X	De machine moet fust met een nauwkeurigheid van minimaal 5 millimeter op kunnen plaatsen ten opzichte van de aangegeven oppak locatie.		X	
X	Wanneer de Deense kar gevuld is kan de machine deze inwikkelen.			X
X	De machine kan wanneer de platen op de Deense kar fout georiënteerd worden aangeleverd deze corrigeren.			X
X	Implementeren van on site aanpassingen in het programma via het HMI scherm.			X
X	De machine moet kunnen opereren in een kas en/of schuur ⁽²⁾ .	X		
X	De machine moet compatibel zijn met het huidige GTR en BTR systeem.	X		
X	De elektronica van de machine moet aangesloten kunnen worden op 230V of 400V.	X		
X	De machine dient ontworpen te worden door middel van Solid Edge.	X		
X	De machine dient geprogrammeerd te worden door middel van TwinCat 3.	X		
X	De machine dient aangestuurd te worden door één of meerdere Beckhoff PLC's.	X		
X	De machine moet binnen drie tot vijf kalender jaren terug te verdienen zijn ⁽³⁾ .		X	
X	De machine moet met zo min mogelijk aanpassingen verschillende type trays en/of potten op kunnen pakken.		X	
X	De levensduur van de machine bedraagt minimaal 31.200 uur bij correct uitgevoerd onderhoud.		X	

(1) Uitgaande van een Deense kar met 10 lagen en vijf trays per laag.

(2) Deze omgeving meet temperaturen tussen de 0 en 50 °C met een luchtvochtigheidsniveau van circa 99% en is over het algemeen relatief stoffig.

(3) Waarvan 75% van het budget wordt gebruikt voor het laad en los mechanisme exclusief waarnemingssysteem.

Bijlage XII : Kosten

Op basis van informatie verkregen uit interviews met Martin van Tol en Corné Groen is het mogelijk om een schatting te doen van de kosten van een personeelslid voor een kweker (Figuur 1). WPS wenst hier een winstmarge van 30% te behalen waardoor een budget van 131.040 euro beschikbaar is voor het realiseren van de DeenRobot. Van deze 131.040 euro is 75% beschikbaar voor het realiseren van de DeenRobot exclusief het waarnemingssysteem en doorvoersysteem. Dit houdt in dat er een budget is van 98.280 euro voor het realiseren hiervan.

Te vervangen personeelsleden	1
Operationele uren per week	60
Aantal werkweken per jaar	52
Aantal jaren terug verdienen tijd	3
Totaal aantal manuren	9360
Salaris werknemer per uur	€ 20,00
Opbrengst voor tuinder	€ 187.200,00
Exclusief 30% winst	€ 131.040,00
Budget*	€ 98.280,00
* Exclusief waarnemingssysteem en doorvoersysteem	

Figuur 1 Budget berekening

Nu het ontwerp bedacht en uitwerkt is, is het mogelijk om de materiaalkosten, personeelskosten, begeleidingskosten en installatiekosten uit te rekenen. De materiaalkosten zijn weergegeven in Figuur 2 en bedraagt 26.456 euro exclusief btw.

Artikel	Leverancier	Aantal	Prijs per stuk	Prijs totaal
IRB 2600-20/1,65	ABB	1	€ 25.000,00	€ 25.000,00
AS1020-0110	Beckhoff	1	€ 258,00	€ 258,00
EL7041-0000	Beckhoff	1	€ 138,00	€ 138,00
CX1020-0122	Beckhoff	1	€ 500,00	€ 500,00
EK1100	Beckhoff	1	€ 75,00	€ 75,00
EK1122	Beckhoff	1	€ 75,00	€ 75,00
EL9011	Beckhoff	1	€ 10,00	€ 10,00
Pulleys, tandwielen, tandheugels en tandriemen	Maedler	1	€ 200,00	€ 200,00
Lasersnijwerk/zetwerk	Tailor steel	1	€ 90,00	€ 90,00
3D print onderdelen	WPS	1	€ 10,00	€ 10,00
Overige verbindingselementen	Overige	1	€ 100,00	€ 100,00
			Totaal materiaalkosten:	€ 26.456,00

Figuur 2 materiaalkosten berekening

De personeelskosten bedraagt 21.400 euro. Dit bedrag valt in dit geval relatief laag uit doordat er gerekend wordt met een salaris van een stagiair voor het ontwikkelen van de DeenRobot. Verder wordt er ook rekening gehouden met een assemblage van 4 weken van 40 uur met een tarief van 50 euro per uur, 2 weken kalibratie met een tarief van 100 euro per uur, en één week assemblage op locatie met een tarief van 75 euro per uur. Omdat er rekening gehouden wordt met een stagiair is er ook begeleiding nodig voor deze stagiair. Dit bedrag wordt op rond de 2.000 euro geschat (40 uur x 50 euro) voor een volle week begeleiding verdeelt over de tijd van de stage. Totale kosten bedragen dan 49.856 euro zonder extra marge en 59.827 euro met een extra marge van 20% (Figuur 3). Dit betekent dat wanneer een winst van 30% gewenst is er nog ongeveer 30.000 euro vrij is om eventuele tegenslagen op te vangen of in het geval van geen stage kan dit geld besteed worden aan de ontwikkeling van het product.

Dienst	Kosten
Personeelskosten	€ 21.400,00
Materiaalkosten	€ 26.456,00
Kosten begeleider	€ 2.000,00
Totaal	€ 49.856,00
Marge	20,00%
Nieuw totaal:	€ 59.827,20

Figuur 3 Totale kosten berekening

Bijlage XIII : RAPID programma Module1

MODULE Module1

```

CONST robtarget
homePosition:=[[1000,400,500],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
VAR robtarget relayPositionWorkTable:=[[2300,500,1100],[0.024677671,0.706676031,-
0.706676031,0.024677671],[1,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
VAR robtarget relayPositionTrolley:=[[-200,-600,1100],[0.024677671,0.706676031,-
0.706676031,0.024677671],[1,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
VAR robtarget workTableTarget:=[[1100,500,950],[0,0,1,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
VAR robtarget danishTrolleyTarget:=[[0,0,1000],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

PERS num state;
VAR bool ready;
VAR bool danishTrolleyHandlingFillEmpty;
VAR num handlingAmount;

CONST pos relayPosHighTrolley:=[-200,-600,1100];
VAR pos relayPosLowTrolley:=[relayPosHighTrolley.x,relayPosHighTrolley.y,relayPosHighTrolley.z-200];
CONST pos relayPosHighWorkTable:=[2300,500,1100];
VAR pos relayPosLowWorkTable:=[relayPosHighWorktable.x,relayPosHighWorkTable.y,relayPosHighWorktable.z-
200];

PERS pos targetPosDeenseKar{100};
PERS orient targetOrientDeenseKar{100};

CONST speeddata lowSpeed:=v500;
CONST speeddata highSpeed:=V1000;

CONST zonedata lowZone:=fine;
CONST zonedata mediumZone:=z1;
CONST zonedata highZone:=z200;

PROC empty()
workTableTarget.trans.z := 950;
FOR i FROM 11 TO handlingAmount DO
IF NOT targetPosDeenseKar{i} = [0,0,0] THEN
WaitUntil state=100;
danishTrolleyTarget.trans:=targetPosDeenseKar{i};
IF danishTrolleyTarget.trans.z>=800 THEN
IF danishTrolleyTarget.trans.z<800 THEN
SingArea \Wrist;! \LockAxis4;
relayPositionWorkTable.trans:=relayPosLowWorkTable;
relayPositionTrolley.trans:=relayPosLowTrolley;
ELSE
relayPositionWorkTable.trans:=relayPosHighWorkTable;
relayPositionTrolley.trans:=relayPosHighTrolley;
ENDIF
IF i = 1 THEN
MoveL danishTrolleyTarget,highSpeed,mediumZone,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
ELSE
MoveL relayPositionTrolley,highSpeed,highZone,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
MoveL danishTrolleyTarget,highSpeed,mediumZone,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
ENDIF
!IF DOutput (DO_L_ORANGE) = 1 THEN
! MoveJ homePosition,v1000,z20,RobotToolData\WObj:=wobj0;
!ENDIF
state:=103;
WaitUntil\InPos,state=110;
MoveL RelTool(danishTrolleyTarget,650,0,0\Ry:=-2),lowSpeed,lowZone,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
state:=113;
WaitUntil\InPos,state=118;
MoveL RelTool(danishTrolleyTarget,650,0,-
100\Ry:=4),lowSpeed,lowZone,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
MoveL RelTool(danishTrolleyTarget,0,0,-100\Ry:=4),lowSpeed,lowZone,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
state:=120;
WaitUntil\InPos,state=120;
MoveL relayPositionWorkTable,highSpeed,highZone,RobotToolData\WObj:=workTable;
MoveL workTableTarget,highSpeed,mediumZone,RobotToolData\WObj:=workTable;
MoveL RelTool(workTableTarget,610,0,100\Ry:=-2),lowSpeed,lowZone,RobotToolData\WObj:=workTable;
state:=133;
WaitUntil\InPos,state=138 or state=220;

```

```

    MoveL RelTool(workTableTarget,0,0,100\Ry:=4),lowSpeed,lowZone,RobotToolData\WObj:=workTable;
    state:=100;
    WaitUntil\InPos, state=100;
    SingArea \off;
  ENDIF
ENDIF
ENDFOR
MoveJ homePosition,v1000,z20,RobotToolData\WObj:=wobj0;
ENDPROC

```

```

PROC fill()
workTableTarget.trans.z := 850;
FOR i FROM 1 TO handlingAmount DO
  IF NOT targetPosDeenseKar{i} = [0,0,0] THEN
    WaitUntil state=60;
    danishTrolleyTarget.trans:=targetPosDeenseKar{i};
    IF danishTrolleyTarget.trans.z>=800 THEN
      IF danishTrolleyTarget.trans.z<800 THEN
        SingArea \Wrist;! \LockAxis4;
        relayPositionWorkTable.trans:=relayPosLowWorkTable;
        relayPositionTrolley.trans:=relayPosLowTrolley;
      ELSE
        relayPositionWorkTable.trans:=relayPosHighWorkTable;
        relayPositionTrolley.trans:=relayPosHighTrolley;
      ENDIF
      MoveL relayPositionWorkTable,v7000,z50,RobotToolData\WObj:=workTable;
      MoveL workTableTarget,v7000,z0,RobotToolData\WObj:=workTable;
      state:=63;
      state:=63;
      WaitUntil\InPos,state=70;
      MoveL RelTool(workTableTarget,610,0,0\Ry:=4),v7000,z0,RobotToolData\WObj:=workTable;
      state:=73;
      WaitUntil\InPos,state=78;
      MoveL RelTool(workTableTarget,0,0,-100\Ry:=4),v1000,fine,RobotToolData\WObj:=workTable;
      state:=80;
      WaitUntil\InPos,state=80;
      MoveL relayPositionTrolley,v7000,z50,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
      MoveL danishTrolleyTarget,v7000,z0,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
      state:=90;
      WaitUntil\InPos,state=90;
      MoveL RelTool(danishTrolleyTarget,650,0,-100\Ry:=4),v1000,fine,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
      MoveL RelTool(danishTrolleyTarget,650,0,-20\Ry:=-2),v1000,fine,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
      state:=93;
      WaitUntil\InPos,state=98 or state=220;
      MoveL RelTool(danishTrolleyTarget,0,0,-20\Ry:=-2),v1000,fine,RobotToolData\WObj:=danishTrolley;
      state:=60;
      WaitUntil\InPos, state=60;
      SingArea\Off;
    ENDIF
  ENDIF
ENDFOR
MoveJ homePosition,v1000,z20,RobotToolData\WObj:=wobj0;
ENDPROC

```

```

PROC posHandling()
  Confl\Off;
  IF danishTrolleyHandlingFillEmpty=false THEN
    empty;
  ELSEIF danishTrolleyHandlingFillEmpty=true THEN
    fill;
  ENDIF
ENDPROC

PROC main()
  MotionSup \On;
  MoveJ homePosition,v1000,z20,RobotToolData\WObj:=wobj0;
  WHILE ready DO
    posHandling;
    WaitTime 0.2;
  ENDWHILE
ENDPROC
ENDMODULE

```

Bijlage XIV : OPM gewicht meting

