
DE AUTOMATISERING VAN DE PLASMASNIJROBOT VAN BLUE WORKX B.V.

Eindverslag



Niek Fitten

Werktuigbouwkunde

Afstudeerstage

11-6-2018

In samenwerking met Blue Engineering en Fontys hogeschool Venlo

De automatisering van de plasmasnijrobot van Blue Workx B.V.

Eindverslag

Afstudeerperiode: 5 februari t/m 29 juni 2018

Afstudeerder:

Niek Fitten

Werktuigbouwkundestudent

Fontys hogeschool Venlo

n.fitten@student.fontys.nl

Docentbegeleider:

Jaques van de Kamp

Fontys hogeschool Venlo

j.vandekamp@fontys.nl

Examinator:

Ellen Vromans

Fontys hogeschool Venlo

e.vromans@fontys.nl

Gecommitteerde:

E. Peters

Fontys hogeschool Venlo

Bedrijfsbegeleider:

René Bloemers

Blue Engineering B.V.

r.bloemers@blue-engineering.nl

0647124311

Bedrijfsgegevens:

Blue Engineering B.V.

Villa Flora, Sint Jansweg 20

5928 RC

Venlo

Nederland

077-3333690

Geheimhouding: Nee

Antiplagiat

Hierbij wordt verklaard dat het bijgevoegde eindverslag zelfstandig en zonder gebruik van andere dan toegestane en aangegeven bronnen en hulpmiddelen is opgezet. Alle passages in het verslag die letterlijk of inhoudelijk uit gepubliceerde en niet gepubliceerde teksten zijn overgenomen, zijn kenbaar gemaakt door middel van de bronvermeldingen in dit verslag, in de noten of in de literatuurlijst. Dit eindverslag is nog niet eerder ter beoordeling aangeboden.

Handtekening schrijver:

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive letter 'N' followed by a horizontal line that extends to the right.

Voorwoord

In dit document 'De automatisering van de plasmasnijrobot van Blue Workx B.V.' staat beschreven; de verslaglegging van mijn afstudeerstage aan de opleiding Werktuigbouwkunde aan de Fontys hogeschool Venlo en in opdracht van het stagebedrijf Blue Engineering. Van februari 2018 tot en met juni 2018 ben ik bezig met het project op locatie bij Blue Workx.

In samenwerking met mijn bedrijfsbegeleider, René Bloemers, ben ik het project voor deze afstudeerstage aangegaan. Het project en de communicatie liep na behoren. In de eindfase van het project heeft Blue Workx een productie draaiende plasmasnijrobot in hun werkplaats. Tijdens dit project stonden mijn bedrijfsbegeleider, René Bloemers, en mijn docentbegeleider, Jacques van de Kamp, altijd voor mij klaar met goede hulp en raad.

Bij deze wil ik graag mijn begeleiders bedanken voor de goede begeleiding tijdens deze afstudeerperiode. Verder wil ik mijn collega's in de werkplaats en mijn collega's op kantoor bedanken voor hun medewerking. Ik heb vaak met hen op technisch gebied effectief kunnen overleggen wat het verloop van het project versoepelde.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Niek Fitten

Venlo, 11 juni 2018

Samenvatting

Blue Workx is een bedrijf dat specialiseert is in grote afmetingen lasconstructies op maat. De binnenladerpallet is het rode draad binnen de productie. De pallet wordt gebruikt om betonelementen op te vervoeren met een binnenlader. De productie van de dwarsliggers van de pallets ligt te laag. Blue Workx heeft hiervoor in december 2017 een plasmasnijrobot aangeschaft maar deze draaide niet direct mee in productie. Hiervoor moeten enkele snijtafels en snijmallen ontworpen en programma's geprogrammeerd worden zodat de snijrobot in juni 2018 mee kan draaien in de productie.

Het doel is om voor deze robot een geschikte en functionerende snijrobotopstelling te realiseren die de kwaliteit, flexibiliteit, continuïteit en doorlooptijd verbeterd. Verder wordt er een onderzoek verricht naar lasrobots om hier vervolgens een advies voor te geven aan Blue Workx voor het automatiseren van het lasproces van de binnenladerpallet. De lasrobot moet er voor zorgen dat de kwaliteit, flexibiliteit, continuïteit en doorlooptijd verbeterd.

Het project moet voldoen aan het vooraf opgestelde programma van eisen en is opgedeeld in meerder fases. Ten eerste de onderzoeksfase. Hierin wordt in het kort onderzoek gedaan naar de plasmasnijrobot van Blue Workx én een uitgebreid onderzoek naar een complete lasrobot voor het lassen van de binnenladerpallets. Vervolgens wordt de ontwerpfase gestart waar de benodigde onderdelen van de plasmasnijrobot ontworpen worden en een eerste opzet zichtbaar wordt voor de lasrobot. In de derde fase, de programmeerfase wordt de plasmasnijrobot geprogrammeerd zodat de bewerkingen aan de dwarsliggers daadwerkelijk verricht kunnen worden. De laatste fase is de testfase. Hierin worden de juiste instellingen vastgesteld en een terugkoppeling gemaakt naar het programma van eisen.

In juni 2018 draait de plasmasnijrobot dagelijks mee in de productie bij Blue Workx. De handelingen die de operator uitvoert tijdens deze productie zijn ergonomisch verantwoord. Verder zijn de aanpassingen aan de dwarsliggers n.a.v. het plasmasnijden correct bevonden en op doorbuiging berekend en goed bevonden door de opdrachtgever. Ten slotte geeft de plasmasnijrobot een tijdswinst van gemiddeld 144% t.o.v. het handmatig bewerken van de dwarsliggers. Dit alles heeft een tijdsduur van 16 weken en een bedrag van €80.000,- gekost. Verder heeft Blue Workx gedurende de afstudeerperiode meer inzicht in de lasrobots gekregen door verschillende bedrijfsbezoeken en het verrichte onderzoek tijdens de afstudeerperiode. Ook heeft Blue Workx het ontworpen concept van de lasrobot goed bevonden, deze moet echter wel nog verder uitgewerkt worden om een offerte aan te vragen bij de leveranciers.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	1
2.	Bedrijfsbeschrijving	1
3.	Opdrachtbeschrijving	2
3.1	Probleemstelling.....	2
3.2	Doelstelling.....	2
3.3	Opdrachtomschrijving	2
3.4	Plan van aanpak.....	3
3.5	Programma van eisen: Snijrobot.....	5
3.6	Programma van eisen: Lasrobot.....	6
4.	Onderzoeksfase	7
4.1	Snijrobot.....	7
4.2	Lasrobot.....	8
4.3	Algemene automatisering.....	10
5.	Ontwerpfase.....	11
5.1	Snijrobot.....	11
5.2	Lasrobot.....	15
6.	Programmeerfase.....	16
6.1	Creëren van programma's.....	16
6.2	Instellingen	17
7.	Testfase	18
7.1	Doelstelling.....	18
7.2	Te snijden materiaal	19
7.3	De snijtafel.....	19
7.4	De snijmallen	19
8.	Conclusie	20
8.1	Snijrobot.....	20
8.2	Lasrobot.....	20
9.	Bronvermelding.....	21

1. Inleiding

In dit document wordt een eindverslaglegging gegeven van de afstudeeropdracht betreffende het automatiseren van de plasmasnijrobot van Blue Workx. De afstudeeropdracht komt vanuit het afstudeerbedrijf, Blue Engineering en wordt in samenwerking met en bij Blue Workx op locatie uitgevoerd. Het automatiseren van de productielijn houdt in dat, waar momenteel handmatige bewerkingen verricht worden aan binnenladerpallets⁽¹⁾ zoals snijden en lassen, dit in de nabije toekomst door snij- en lasrobots gaat gebeuren. Voor deze opdracht wordt ten eerste een onderzoek gedaan naar de mogelijkheden binnen de wereld van snij- en lasrobots. Vervolgens wordt er een geautomatiseerd snijrobotsysteem gerealiseerd en geprogrammeerd voor voornamelijk een kortere doorlooptijd en hogere kwaliteit van dit product. Wanneer er voldoende tijd aan het einde van de afstudeerperiode over is wordt er ook een start gemaakt met het ontwerp van het lasrobotsysteem.

Het verslag is onderverdeeld in verschillende hoofdstukken. Hieronder in hoofdstuk 2 wordt de bedrijfsbeschrijving van Blue Workx gegeven. In hoofdstuk 3 bevindt zich de opdrachtbeschrijving met o.a. de probleemstelling, doelstelling en het programma van eisen. Hoofdstuk 4 is de onderzoeksfase. Hierin wordt er onderzoek gedaan naar de automatisering van het plasmasnijden, lasrobots en in het kort over de algemene automatisering. In hoofdstuk 5 wordt het ontwerp van de robot uitgewerkt, ook wel de ontwerpfase. Hoofdstuk 6 bevat de programmeerfase. Hierin wordt beschreven hoe het programmeren werkt en welke instellingen essentieel zijn bij het plasmasnijden. In hoofdstuk 7 wordt de plasmasnijrobot getest op de vooraf gestelde eisen. Hoofdstuk 8 zijn de conclusie die uit het project getrokken zijn. En als laatste in hoofdstuk 9 de bronvermelding.

2. Bedrijfsbeschrijving

Blue Workx is een bedrijf dat gespecialiseerd is in het produceren van lasconstructies op maat. Al 5 jaar in samenwerking met partner bedrijf Blue Engineering onder de naam Blue Workx. 75% van de productie van Blue Workx gaat uit naar de binnenladerpallets. De overige 25% wordt besteed aan overige lasconstructies. De Lasconstructies verschillen van afmetingen en seriegrote. Afmetingen van 1 tot ± 15 meter en seriegroottes van 1 tot ± 2000 stuks. Blue Workx beschikt over een werkplaats van 3500m^2 waar ± 15 werknemers aan de lasconstructies werken. Het kantoor, direct gelegen aan de werkplaats, wordt gerund door 4 personen.

⁽¹⁾ : Een binnenlader is een type oplegger waar de vracht tussen de wielen van wegdek tot ± 4 meter hoogte op een pallet vervoerd wordt. De pallet vormt de bodem van de oplegger. De pallet kan gelost worden door het laten zakken van de oplegger. Ook te zien in figuur 1.

3. Opdrachtbeschrijving

3.1 Probleemstelling

Uit meerdere oogpunten wil Blue Workx zijn productie automatiseren. De belangrijkste oogpunten zijn kwaliteit, flexibiliteit, continuïteit en doorlooptijd. Het telkens behalen van de juiste kwaliteit van het laswerk is de hoofdzaak. Omdat momenteel het merendeel “handmatig”, door personen, gesneden en gelast wordt is de continue kwaliteit niet gegarandeerd. Flexibiliteit houdt in dat verschillende afmetingen binnenladerpallets geproduceerd moeten kunnen worden. Continuïteit houdt in dat productie van deze binnenladerpallets continu moet blijven lopen. Voor robots is de continuïteit 24/7 voor een werknemer is dit hoogstens 8/5. Op dit moment heeft Blue Workx B.V. een tiental half fabricaten in productie. Dit komt door de complexiteit, afkomstig uit verschillende toepassingen voor de binnenladerpallets en variatie in afmetingen. Blue Workx B.V. wil de doorlooptijd voor de productie van binnenladerpallets met de helft reduceren. De binnenladerpallets die Blue Workx maakt worden voor 5% met de robot gelast. Het overgrote deel van de onderdelen, 95%, wordt handmatig gelast. Van het opmaat snijden van binnenkomende profielen, overig snijwerk aan de gesneden profielen, het ponsen van gaten, het lassen van de frames ect. is een tijdrovende klus wanneer dit handmatig gebeurt. Het produceren van één binnenladerpallet duurt ± 4 uur.



Figuur 1: Binnenladerpallet

Wanneer er gekeken wordt dat er momenteel 95% van de productie van de binnenladerpallets door werknemers uitgevoerd wordt valt er op dat gebied een grote winst te behalen. Het probleem is dus dat de productie van de pallets te traag verloopt.

3.2 Doelstelling

Het doel van Blue Workx is het realiseren van een snij- en lasrobot, voor het produceren van binnenladerpallets.

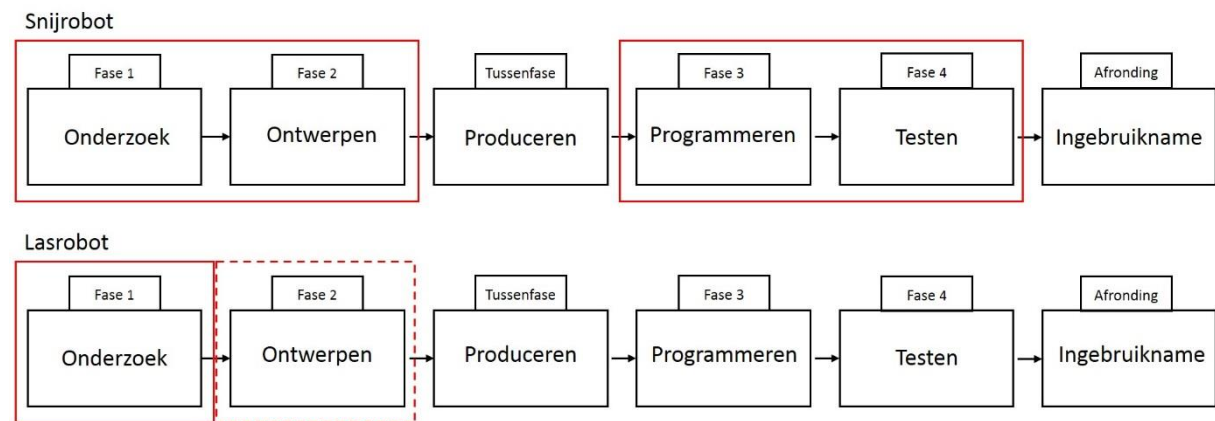
Het doel van de afstudeeropdracht is het realiseren van een snijrobot voor het produceren van de onderdelen van de binnenladerpallets die aan het programma van eisen voldoet. Daarnaast het uitvoeren van een onderzoek naar de mogelijkheden van Blue Workx voor een lasrobotsystemen voor het lassen van binnenladerpallets en waar mogelijk een start maken aan het ontwerp van deze lasrobot.

3.3 Opdrachtomschrijving

De gezaagde profielen moeten automatisch gesneden en gelast worden door middel van een snij- en lasrobot. Het inrichten, ontwerpen en het programmeren van deze robots en het onderzoeken van mogelijkheden voor verdere automatisering behoort tot de opdracht.

De opdracht is dus: onderzoek, ontwerp en programmeer een geautomatiseerde robotopstelling, voor het produceren van binnenladerpallets, die de kwaliteit, flexibiliteit, continuïteit en de doorlooptijd van dit product verbeterd.

3.4 Plan van aanpak



Figuur 2: Fase overzicht

In figuur 2 is een overzicht te zien van de fases voor de opdracht. De rode rechthoeken geven aan wat tot de opdracht behoort. Het kan zijn dat meerdere fases op een tijdstip behandeld worden omdat er twee opdrachten parallel lopen tijdens de afstudeerperiode. Zo staat de snijrobot los van de lasrobot.

De snijrobot is in het begin van de afstudeerperiode al op locatie. Voor de lasrobot daarentegen moet eerst een uitgebreid onderzoek gedaan worden wat de eisen, wensen en mogelijkheden zijn van Blue Workx en de wereld van lasrobots. Bij de snijrobot kan dus vrijwel direct aan fase 2 begonnen worden. Op de volgende bladzijde in tabel 1 is de vooraf gemaakte tijdsplanning te zien.

3.5 Programma van eisen: Snijrobot

Snijrobot		
Titel		Beschrijving
Algemene eisen:		
1.	Doelstelling	1. De doelstelling van dit PvE is het realiseren van een snijrobot voor het produceren van de onderdelen van de binnenladerpallets, die de kwaliteit, flexibiliteit, continuïteit en doorlooptijd van dit product verbeterd. a. Kwaliteit: De profielen moeten op 0,5 mm nauwkeurig gesneden worden. b. Flexibiliteit: Profiellengtes van 1000 mm t/m 1500 mm moeten snijbaar zijn met de snijrobot. c. Continuïteit moet met 20% toenemen. (de effectieve bewerkingstijd moet met 20% toenemen) d. Doorlooptijd: De productietijd van de onderdelen van de binnenladerpallet moet met de helft gereduceerd worden.
2.	Te snijden materiaal	1. De snijrobot moet de volgende profielen kunnen snijden t/m een plaatdikte van 25mm: a. H-profielen b. U-profielen c. L-profielen d. Kokerprofielen e. Buisprofielen f. Plaatwerk
3.	De snijtafel	1. Het afval van het plasmasnijden moet opgevangen worden in lades. a. De lades moeten uitneembaar zijn. b. De lades moeten met water reinigbaar zijn. c. De lades moeten gelagerd zijn voor minimale slijtage en binnen de ergonomische richtlijnen vallen. 2. De hoogte van de snijtafel moet volgens de ergonomische richtlijnen voor de werkplaatsmedewerker én de snijrobot zijn. 3. De profielen moeten vanuit de voorzijde van de snijtafel uitneembaar én plaatsbaar zijn. 4. De mallen moeten uitneembaar én plaatsbaar van de tafel zijn m.b.v. een bovenloopkraan. 5. De mallen moeten op 0,05 mm nauwkeurig op de tafel geplaatst kunnen worden. 6. De mallen moeten ingespannen kunnen worden.
4.	De snijmallen	1. De profielen moeten met een verticaal georiënteerde snede gesneden worden, snijden van boven naar beneden. 2. De profielen moeten vanuit de voorzijde van de mal uitneembaar én plaatsbaar zijn. 3. De profielen moeten op 0,05 mm nauwkeurig op de mal geplaatst kunnen worden. 4. De profielen moeten ingespannen kunnen worden. 5. Het afval van het plasmasnijden mag niet op de profielen terecht komen.
Algemene wensen:		
5.		1. Plaatwerk van 2000 mm x 1000 mm zou graag geheel bereikbaar kunnen zijn door de snijrobot. 2. Het streven is om de profielen in één inspanning te snijden. 3. De afvallades zouden graag eenvoudig geleegd kunnen worden. 4. Het streven is dat het afval niet buiten de tafel terecht komt.

3.6 Programma van eisen: Lasrobot

Lasrobot		
	Titel	Beschrijving
Algemene eisen:		
1.	Doelstelling	1. De doelstelling van dit PvE is het realiseren van een lasrobot voor het produceren van binnenladerpallets, die de kwaliteit, flexibiliteit, continuïteit en doorlooptijd van dit product verbeterd. a. Kwaliteit: De profielen moeten op 0,5 mm nauwkeurig gelast worden. b. Flexibiliteit: Palletbreedtes van 1000 mm t/m 1500 mm moeten lasbaar zijn met de lasrobot. Palletlengtes van 95000 mm t/m 11000 mm moeten lasbaar zijn met de lasrobot. c. Continuïteit moet met 20% toenemen. (de effectieve bewerkingstijd moet met 20% toenemen) d. Doorlooptijd: De productietijd van de binnenladerpallet moet van 4 naar 2 uur gereduceerd worden.
2.	Uitbreiding op de doelstelling	1. De lasrobot moet de volgende constructies kunnen lassen: a. Palletbodems b. Kopschotten
3.	Uitbreiding op het lasrobot-systeem	1. Het lasrobotsysteem moet in de bestaande productiehal passen. 2. De hoogte van de lasmal moet volgens de ergonomische richtlijnen voor de werkplaatsmedewerker én de lasrobot zijn. 3. De werkplaatsmedewerker moet beschikking hebben over een hulpmiddel voor het optillen van de profielen.
4.	Uitbreiding op de lasmallen	1. De profielen moeten zonder voorhechting in de mallen geplaatst kunnen worden. 2. De profielen moeten met een hulpmiddel uitneembaar én plaatsbaar in de mal zijn.
Algemene wensen:		
5.		1. Andere producten uit het assortiment van Blue Workx zouden graag ook met de lasrobot gelast worden. Andere producten zijn producten met een maximale afmeting van L= 14000mm B= 2600mm H= 1500mm en een maximaal gewicht van 7000kg.

4. Onderzoeksfase

In dit hoofdstuk wordt de eerste fase van beide robots besproken. Bij het onderzoek wordt er gezocht naar wat de mogelijkheden zijn binnen de wereld van automatisering in het algemeen maar ook voor de aanwezige snijrobot en de toekomstige lasrobot.

4.1 Snijrobot

De onderzoeksfase bij de snijrobot duurt enkel de eerste week, dit komt omdat er al een snijrobot aanwezig is in de productiehal van Blue Workx. Het betreft een plasmasnijrobot van OTC. Enkel een werkend aangesloten robotarm met plasmasnijder is aanwezig. In bijlage 1a is een schematisch overzicht te zien van de plasmasnijrobot met de toebehorende onderdelen. De overige benodigdheden voor een geautomatiseerde snijrobotsysteem moeten dus nog ontworpen worden. Deze worden uitgewerkt in hoofdstuk 5.

De snijrobot is op te delen in 3 verschillende hoofdonderdelen. Als eerste de robotic arm (robot arm). Dit is de bekende 6 assige robot zoals die gebruikt wordt bij veel geautomatiseerde toepassingen en te zien in figuur 3. Vervolgens een power source (krachtbron), te zien in figuur 4. Deze kast zet een 3 fase stroom om in de door de cutting torch (snijbrander/plasmasnijder) te gebruiken stroom. Op deze power source kan de stroom en de perslucht die gebruikt wordt bij het plasmasnijden ingesteld worden wat voor elke plaatdikte en materiaal variabel is. De cutting torch is te zien in figuur 5.

Deze 3 onderdelen eisen verschillende benodigdheden van de werkplaats. Zo moet er krachtstroom, perslucht, water en zeker niet te vergeten een goede afzuiging aanwezig zijn in de omgeving van de snijrobot. De krachtstroom wordt als voeding gebruikt door de robotic arm en power source. De perslucht wordt gebruikt als gas waar plasma van gemaakt wordt voor het snijden. Het water wordt gebruikt als koeling voor de cutting torch. Ten slotte wordt de afzuiging gebruikt voor het afzuigen van de dampen die vrij komen bij het plasmasnijden.

Het verdere onderzoek wat verricht is voor de snijrobot is terug te vinden in bijlage 1b. Zo zijn ten eerste de specificaties van de 3 onderdelen onderzocht. De belangrijkste specificaties zijn bijvoorbeeld de maximale of minimale radius waar de robotarm in kan bewegen, dit komt overeen met het bereik van de robotarm. Of het maximale vermogen wat de power source kan leveren wat weer overeenkomt met de maximale materiaaldikte wat de plasmasnijder kan snijden. Voornamelijk het bereik is noodzakelijk bij het ontwerpen in fase 2. De specificaties die opgesomd staan in tabel 1 t/m 3 van bijlage 1b worden vervolgens getest of dat deze overeenkomen met de snijrobot die aanwezig is in de productiehal, dit omdat het een tweedehands robotsysteem is en er door slijtage of veroudering fouten in de arm zouden kunnen ontstaan. Deze controle staat opgesomd in tabel 4 t/m 8 van bijlage 1c. Dit als extra controle op en bevestiging van de correctheid van de specificaties van de robot. Uit dit onderzoek blijkt dat de gegevens uit de datasheet overeenkomend zijn met de werkelijke snijrobot zoals deze in de werkplaats aanwezig is en geeft dus bevestiging in de volgende fase bij het ontwerp van de snijtafels en snijmallen.



Figuur 3: Robotic arm, AX-MV6



Figuur 4: Power source, D-12000



Figuur 5: Cutting torch, CTPW-1201

Later in het onderzoek blijkt dat de operator niet alleen beschikking heeft over een bedieningskast om de robot aan te sturen. Ook zou het mogelijk kunnen zijn om een externe computer bij de snijrobot te plaatsen. Met deze computer kunnen er beeldschermen naast de bedieningskasten komen te hangen wat ten eerste het switchen tussen de verschillende geprogrammeerde programma's eenvoudiger maakt. Dit omdat de operator niet via het teach pendant (voor uitleg zie pagina 9) hoeft te werken. Als tweede heeft dit als voordeel dat de computer met de server verbonden kan worden en de medewerkers op kantoor live mee kunnen kijken in de gegevens van de snijrobot. Bijvoorbeeld welk programma er momenteel draait, hoe vaak het programma al heeft gedraaid, hoeveel tijd er nog nodig is om een serie producten af te ronden enzovoort. Oftewel er zijn met deze externe computer ontelbare mogelijkheden. Of dat deze functie ook voor de aanwezige snijrobot van mogelijk is moet nog onderzocht worden. Deze functie wordt wel bij de lasrobot toegepast.

Nu de specificaties en de mogelijkheden van de snijrobot duidelijk zijn wordt het onderzoek naar de snijrobot afgesloten. De volgende fase van de snijrobot gaat verder met het ontwerpen van de benodigheden in hoofdstuk 5.

4.2 Lasrobot

Er is bij Blue Workx nog weinig bekend wat de mogelijkheden zijn in de wereld van de lasrobots. Het onderzoek heeft dus als taak om meer duidelijkheid te krijgen over de mogelijkheden binnen de wereld van lasrobots. Dit om vervolgens een advies te geven aan Blue Workx.

Er zijn verschillende bedrijven die gespecialiseerd zijn in het inrichten van complete lasrobotsystemen. In bijlage 2a is het gehele onderzoeksverslag terug te vinden rondom de lasrobot. Het is de taak van de opdrachtgever om een keuze in te maken aan de hand van dit onderzoek welk bedrijf uiteindelijk de uitvoerder wordt van dit project. Wel kan dit onderzoek meer duidelijk en een advies geven wat de mogelijkheden voor Blue Workx zijn en welke onderdelen er nodig zijn voor een geautomatiseerd lassysteem.

Het hoofdonderdeel is natuurlijk de lasrobot zelf. Valk Welding heeft een kleine voorkeur bij de opdrachtgever maar is niet per se de leverancier van de toekomstige lasrobot. Wel is Valk Welding een beginpunt voor dit onderzoek. Valk Welding heeft 2 typeseries lasrobots namelijk een TL- en TM-serie. In bijlage 2a tabel 10 is een overzicht te zien van de specificaties van de 2 typeseries. Het verschil tussen deze twee series zit voornamelijk in de herhalingsnauwkeurigheid.

Een ander onderdeel wat bevorderend is voor het lasproces is het gebruik maken van manipulatoren, figuur 6. Dit zijn motoren met een hoog aanloopkoppel die het te lassen product over de lengtes rond kunnen draaien. Met behulp van zo'n werkstukmanipulator kunnen de lasproducten altijd op de ideale manier aan de robot aangeboden worden en is de bereikbaarheid op de lasproducten optimaal. Er zijn verschillende configuratie mogelijkheden voor de montage van een manipulator. Deze manipulatoren zitten aan beide uiteindes van de mal van het lasproduct. Het is ook mogelijk om aan één uiteinde een manipulator te plaatsen en aan het andere uiteinde een lagerblok. In bijlage 2a tabel 11 is een overzicht te zien van de specificaties van verschillende manipulatoren.



Figuur 6: Manipulator

Eén van de mogelijke opties die geschikt is voor Blue Workx is het gebruiken van een track (spoor/rails). Zie bijlage 2b voor een figuur en extra informatie over deze track. De lasrobot wordt bevestigd op een wagon die vervolgens op de track langs het te lassen product heen kan rijden. De lengte van de track is naar wens variabel en geschikt om aan een wand of vloer te bevestigen. Deze wagon wordt automatisch aangedreven vanuit het vooraf te programmeren programma in het offline softwarepakket van Valk Welding, Panasonic DTPS.

Het offline softwarepakket, Panasonic DTPS (**DeskTop Programming and Simulation System**). Panasonic (las)robots kunnen met deze software offline, dat wil zeggen vanaf de PC, geprogrammeerd worden zonder de productie te onderbreken. Bij online programmeren is dit wel het geval. Bij online programmeren wordt gebruik gemaakt van een teach pendant, te zien in figuur 7, die direct gekoppeld zit aan de robot. Met dit teach pendant wordt de beweging handmatig, dat wil zeggen vanuit de teach pendant aangestuurd ofwel gesimuleerd. Online programmeren wordt in eerste instantie gebruikt bij het programmeren van de snijrobot waar in een later stadium mogelijk een offline softwarepakket voor in de plaats komt. Extra informatie over dit softwarepakket is terug te vinden in bijlage 2b.



Figuur 7: Teach pendant

Een volgende mogelijke optie voor Blue Workx is het Arc-Eye laser sensor systeem. Valk Welding ontwikkeld en bouwt de Arc-Eye laser sensor voor het real-time volgen van de lasnaad. Deze sensor maakt het mogelijk voor de lasrobot om zeer precies de baan van de te leggen las te volgen en eventuele correcties toe te passen tijdens het lassen. Dit wordt bereikt door het scannen van de positie, oriëntatie en geometrie van het werkstuk en het automatisch corrigeren van de posities van de lasrobot en toorts waar nodig. De Arc-Eye laser sensor registreert alle afwijkingen die zich binnen het bereik van de laser sensor bevinden. Dit voorkomt het vooraf handmatig moeten meten en corrigeren van de lasprogramma's. Dit zorgt voor een veel hoger rendement en betere kwaliteit van het lasproces met robots. Extra informatie over deze sensor is terug te vinden in bijlage 2b. Er zijn meerdere soorten zoeksystemen zoals de Arc-Eye laser sensor. In bijlage 2b is hier meer informatie over te vinden onder het kopje zoeksystemen.

Een andere mogelijke optie voor Blue Workx is een geïntegreerde lasstroombron. Dit systeem verbeterd de communicatie tussen de lasstroombron en robotbesturing. De robotbesturing bestuurt met één CPU zowel de robotarm als ook de lasstroombron. Er zijn 2 versies van deze geïntegreerde lasstroombron, namelijk de Tawers-WG en -WGH. De Tawers-WG versie kan lassen tot 350 Ampère. De werkcyclus is 80% in korte boog en 60% in pulserende stand. Met 320 Ampère is de werkcyclus 100%. De WGH versie is in staat om 450 Ampère te lassen met een werkcyclus van 100% in pulserende stand. Het grote voordeel van deze geïntegreerde lasstroombron is de extreem hoge communicatiesnelheid tussen de robotbesturing en de lasstroombron. Tot wel 250 maal sneller dan enige andere digitale communicatieverbinding.

Niet alleen manipulatoren kunnen de bereikbaarheid van de lasrobot vergroten. Er zijn meerdere mogelijkheden die de bewegingsvrijheid verruimen voor de robot. Echter zijn dit wel duren toevoegingen waarbij afgevraagd moet worden of deze externe assen noodzakelijk zijn. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de manipulatoren in hoogte verstelbaar te maken. De manipulatoren worden dan motorisch aangedreven en deze motoren zitten weer op het systeem wat aan te sturen is met Panasonic DTPS. Een andere mogelijkheid is dat er tussen de track en de robot een zogenoemde galg toegevoegd wordt. Met deze galg komt de robot onderste boven, boven het product te hangen. Hierover later in het verslag meer. Vervolgens geeft deze galg weer meer mogelijkheden voor externe assen. Zo kan de robot aan de horizontale balk van de galg haaks t.o.v. op de track bewegen. Ook is het mogelijk om een verticale beweging toe te voegen aan de galg. Zoals duidelijk wordt kunnen er ontelbare mogelijke externe assen toegevoegd worden. De vraag is alleen of deze assen noodzakelijk zijn voor Blue Workx.

Wanneer de lasrobotopstelling ontworpen wordt is er de keuze om de track en daarmee de lasrobotopstelling uitbreidbaar te maken. Hiervoor moeten er extra slangenpakketten bij de eerste montage toegevoegd worden. Ook is het mogelijk om een extra galg toe te voegen wanneer er bij de eerste montage een extra slangenpakket is toegevoegd. Het is een keuze om bij de eerste lasrobotopstelling een "kleine" opstelling te ontwerpen en wanneer blijkt dat er meer lascapaciteit nodig is, de track te verlengen of een galg toe te voegen.

4.3 Algemene automatisering

Er zijn verschillende automatiseringstechnieken die betrekking hebben op de automatisering van de productielijn van Blue Workx. Bijvoorbeeld het gebruik maken van een handelingsrobot zodat de producten door deze robot geautomatiseerd in de mallen geplaatst en ingespannen worden. Een andere techniek is het gebruik maken van een zo genoemde balancer, een hulpmiddel dat de operator gebruikt bij het optillen van de profielen. Met deze balancer ervaart de operator geen zwaartekracht van het profiel en is het inleggen en uithalen eenvoudiger. In figuren 8 en 9 zijn de twee voorbeelden van deze technieken te zien.

Namaten het onderzoek vorderde is gebleken dat alles te automatiseren valt. Belangrijker bij het automatiseren is het onderzoeken waar automatisering noodzakelijk is, ofwel waar de productie handmatig gedaan wordt achterloopt. De conclusie die later in het verslag terug komt is dat het blijkt dat het zagen achterloopt. Vanuit hier kan een nieuw project gestart worden wat onderzoek gaat doen naar de automatisering van zaagmachines. Zo is Blue Workx continu opzoek naar de bottleneck in zijn productie om deze vervolgens te gaan verbeteren. Hiermee wordt het onderzoek naar de algemene automatisering gestopt en in een volgend project specifiek op een machine, bewerking of handeling, bijvoorbeeld geautomatiseerde zaagmachines, onderzoek gedaan.



Figuur 8: Voorbeeld van een handelingsrobot.



Figuur 9: Voorbeeld van een balancer.

5. Ontwerpfase

In dit hoofdstuk wordt de tweede fase van beide robots besproken. Bij het ontwerpen wordt er naar een oplossing gezocht die voldoet aan het programma van eisen voor de robots uit hoofdstuk 3. Wanneer het ontwerp hier aan voldoet zullen er werkplaatstekeningen gemaakt worden zodat het concept in productie kan voor de volgende fase, het programmeren.

5.1 Snijrobot

Tijdens het ontwerpen is het programma van eisen een checklijst die bij het ontwerpen nauwlettend in de gaten wordt gehouden. Zoals eerder vermeld is de snijrobot al aanwezig en moeten de opstelling en benodigdheden daarvoor nog ontworpen worden. De benodigdheden worden opgesplitst in twee groepen, de snijtafels en de snijmallen. De snijtafels komen vast langs de snijrobot te staan waar vervolgens de mallen en vervolgens de te snijden producten in opgespannen worden.

5.1.1 Snijrobotopstelling

Ten eerste de opstelling. De beginsituatie is te zien in figuur 4 van bijlage 3a. Hierin is te zien dat er een frame staat met in het midden de snijrobot (blauw wit gemarkeerd). Voor het toekomstige snijrobotsysteem, figuur 5 van bijlage 3a, wordt aan beide zijdes op de onderliggende 4 profielen naast de snijrobot, snijtafels geplaatst. In totaal dus 2 snijtafels, aan beide zijdes 1 snijtafel. Deze opstelling wordt ook wel een H-frame genoemd en heeft dus aan beide zijdes opspanframes, ofwel mallen. Het voordeel hiervan is dat de snijrobot aan één zijde aan het snijden is en tegelijkertijd is de operator aan de andere zijde de profielen aan het uitnemen en inleggen. Wanneer de handelingen bij de snijrobot en de operator afgerond zijn draaien deze twee van snijstation en beginnen de handelingen weer opnieuw.

Aan de veiligheid is ook gedacht. Zo worden de twee snijstations van elkaar afgeschermd d.m.v. een lasscherm en de buitenwanden worden afgedicht met plaatmateriaal. Dit lasscherm zorgt ervoor dat de operator geen last ervaart van het licht van de plasmasnijder tijdens het omleggen van de profielen in zijn snijstation. Het plaatmateriaal zorgt ervoor dat de omgeving ook geen last ervaart van het licht van de plasmasnijder. Verder komt er bij de ingang van elk snijstation een lichtsluis en aan de bovenzijde, over het gehele frame, een afzuiging. De lichtsluis, te zien in figuur 10, gaat ervoor zorgen dat de snijrobot een noodstop maakt wanneer een operator het snijstation betreedt waar de robot aan het snijden is. De afzuiging gaat ervoor zorgen dat de dampen die vrijkomen bij het plasmasnijden opvangen, afgezogen en gefilterd worden. De snijrobot kan zich op deze manier niet in hetzelfde snijstation bevinden als de operator. De robot wisselt pas van snijstation wanneer de operator buiten zijn snijstation opdracht geeft aan de robot, d.m.v. het bedienen van een bedieningskast, dat het betreffende snijstation vrij is.



Figuur 10: Lichtsluis.

In figuur 4 van bijlage 3a is ook de rails van de bovenloopkraan te zien (rood gemarkeerd). Dit is de rails waar in een later stadium een bovenkraan aan komt te hangen wat als hulpmiddel dient voor de operator bij het inleggen en uitnemen van de profielen.

In figuur 5 t/m 7 van bijlage 3a is de opstelling te zien zoals dat hij ontworpen en hierboven beschreven is. Ook is het bereik te zien van de robot over de snijtafels, figuur 6. Ook is het vooraanzicht van de snijrobotopstelling, figuur 7.

5.1.2 Snijtafel

Vervolgens de snijtafel. De snijtafel wordt geheel vanaf het begin ontworpen. De eisen die gesteld zijn aan de snijtafel zijn terug te vinden in het PvE (Programma van Eisen) onder kopje 3. De tafels dienen als oplegging voor de mallen en zijn universeel voor elke mal die ontworpen wordt voor de snijrobot. De snijtafel wordt opgebouwd in 3 stappen zoals te zien is in figuur 8 t/m 10 van bijlage 3b. Stap 1 is het basis frame van de tafel bestaande uit kokerprofielen. In stap 2 is te zien waar de mallen op komen te rusten, namelijk het topdek (de bovenzijde van de tafel) bestaande uit voornamelijk kokerprofielen. In stap 2 is ook te zien waar de afvallades op komen te rusten, namelijk het tussendeck (de 24 horizontale kokerprofielen van stap 1). Stap 3 is het afwerken van de tafel d.m.v. plaatwerk aan de onder- en buitenzijden. Aan de voorzijde zijn ook de uitsparingen in het plaatwerk zichtbaar waar de afvallades in komen.

Er zijn vijf lades per tafel. Deze afvallades, te zien in figuur 11 van bijlage 3b, vangen het afval wat ontstaat bij het plasmasnijden op en kunnen vervolgens uitgenomen worden om leeg geschikt te worden. De lades worden gelagerd met kogelpotten, hiernaast te zien in figuur 11. De kogelpotten worden bevestigd op de platen van het tussendeck uit stap 2 van de snijtafel. Op deze manier ondervindt de operator vrijwel geen wrijving bij het uitnemen van een volle lade. De lades zijn van de onderzijde waterdicht. Het is dus mogelijk om een bodempje water in de afvallades te doen. Dit omdat op deze manier het hete afval van het plasmasnijden direct afgekoeld wordt en niet weg kan ketsen op de bodem van de lade. Aan de achterzijde van de lade zit een schuine plaat die ervoor zorgt dat het legen van de lade eenvoudiger verloopt. Hetzelfde effect is ook te merken bij een kruiwagen, het afval blijft op deze manier niet in de dode hoek hangen.



Figuur 11: Kogelpot, KR-S-25

Het legen van de afvallades gaat m.b.v. een daarvoor ontworpen afvalwagen, te zien in figuur 12 van bijlage 3b, in een oud-ijzerbak. Deze wagen wordt voor de snijtafel gereden om vervolgens de lades op te schuiven. Aan de voorzijde van de snijtafel zitten zes aanslagen voor het recht positioneren van de afvalwagens. Op de afvalwagens zitten ook dezelfde kogelpotten waardoor de wrijving minimaal blijft. De lades worden bevestigd m.b.v. twee stangen die door de gaten van de afvallades gestoken worden. De stangen steken door een kokerprofiel en maakt de lade dus niet, niet waterdicht. Wanneer de lades bevestigd zitten aan het kleine frame kan dit frame kiepen t.o.v. het basis frame en het afval uit de lades glijden. Deze stand is te zien in figuur 13 van bijlage 3b. Het kiepen kan bij weinig gewicht, wanneer er weinig afval in de lades zit, d.m.v. de twee handvaten handmatig gebeuren. Bij veel gewicht, wanneer er veel afval in de lades zit, kunnen de lades m.b.v. het hijsorgankel worden door een bovenkraan of ander hefmechanisme.

De mallen worden d.m.v. drie snelspanners en vijf aanslagen ingespannen op de snijtafel. De snelspanners drukken de mal tegen de aanslagen aan zodat de mal te allen tijde op dezelfde positie gepositioneerd is. De snelspanners drukken de mal ook vast zodat deze niet kan verschuiven door stoten tijdens en inleggen of uithalen van de profielen. Deze snelspanners worden ook gebruikt bij het inspannen van de profielen op de mallen.



Figuur 12: Snelspanner, 5130-M

Een totaalplaatje van de snijtafel met alle onderdelen en specificaties hiervan is te vinden in bijlage 3b, figuur 14 en tabel 12 t/m 15.

5.1.3 Snijmallen

In totaal worden er in het begin zes mallen ontworpen, elke mal voor een ander product. De eisen die gesteld zijn aan de snijmallen zijn terug te vinden in het PvE onder kopje 4. Het basis frame van de zes mallen zijn gelijk aan elkaar en passen allemaal op de snijtafel zoals hierboven ontworpen. Vijf van deze mallen zijn voor profielen van de binnenladerpallets. De zesde mal wordt gemaakt voor het snijden van standaard plaatwerk. In bijlage 3c figuur 15 t/m 19 zijn de profielen afgebeeld die gesneden moeten worden. De snijwerkzaamheden zoals deze verricht moeten worden door de plasmasnijrobot zijn in deze figuren zichtbaar.

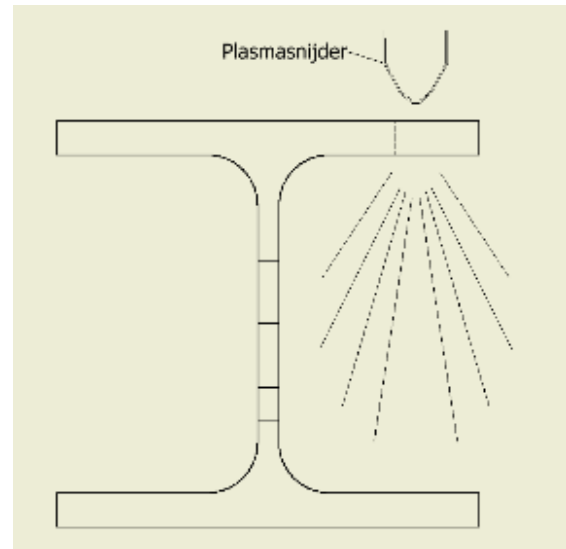
Het frame wat ontworpen is voor de mallen bestaat uit kokerprofielen en is voor de eerste vijf nagenoeg gelijk. De buitenafmetingen, wat van belang is bij het inspannen op de snijtafel, is voor elke mal precies gelijk. Dit frame is te zien in bijlage 3c figuur 20. Op dit frame worden aanslagen en snelspanner toegevoegd wat van elk snijdeel ander afmetingen en afstanden vraagt. Vandaar dat er voor elk snijdeel een aparte mal ontworpen moet worden. Wel is er gebruik gemaakt van dezelfde onderdelen wat de eenheid deels behoudt.

Voor het inspannen van de profielen zijn net als bij de snijtafel gebruik gemaakt van snelspanners i.c.m. aanslagen. Er is een tijdbesparende oplossing voor het één voor één inspannen van de snijdelen ontworpen. Er wordt gebruik gemaakt van een uniek ontworpen verlengstuk voor de snelspanner waarmee meerdere profielen met één snelspanner, dus met één handeling, ingespannen kunnen worden. Dit verlengstuk is te zien in figuur 21 van bijlage 3c. In dit geval worden er met het verlengstuk vier snijdelen ingespannen. Het verlengstuk kan de axiale beweging van de snelspanner overnemen doordat de snelspanner tegen drukpunt van de snelspanner drukt. De vier spanners die ontstaan zijn met elkaar verbonden via een massieve as die axiaal en roterend door de naadloze buizen kan glijden. Deze, in dit geval, vijf naadloze buizen worden bevestigd aan het frame van de snijmal. De roterende beweging van het verlengstuk dient voor het na beneden wegvallen van het verlengstuk. Dit omdat het verlengstuk op deze manier niet in de weg zit bij het inleggen en uithalen van de snijdelen. Dit voorkomt dat de zware profielen tegen het verlengstuk aan kunnen stoten en vervolgens krom raakt. Omdat de naadloze buizen als geleiding dient voor het verlengstuk is dit een slijtagedeelte en komt er bij elke buis een smeernippel om de slijtage te verminderen.

De snijdelen worden tegen aanslagen ingespannen. De aanslagen worden gelast op het frame zoals te zien is in figuur 22 van bijlage 3c. Gebruikelijk voor de snijmallen worden er per snijdeel twee aanslagen gebruikt in de zo genoemde x-richting en één in de y-richting. Voor de z-richting wordt de oplegging op het frame van de snijmal gebruikt. Op deze manier is het snijdeel in alle drie de dimensies exact gepositioneerd en worden de snijdelen ingespannen d.m.v. het verlengstuk wat hierboven beschreven staat.

Voor twee van de vijf snijmallen is het noodzaak om een extra onderdeel toe te voegen, namelijk een afscherming die voorkomt dat het afval op het profiel terecht komt. Zoals bij het snijden van de buitenflens van H-profielen zoals te zien is in figuur 13. De afscherming die hier voor ontworpen is, is te zien in figuur 23 van bijlage 3c. Er zijn twee afschermingen te zien in dit figuur. De eerste afscherming, bij het snijdeel, wordt tussen de twee buitenflenzen onder een hoek van 45° geplaatst waar het afval op terecht komt i.p.v. op het snijdeel. De tweede afscherming zorgt ervoor dat het weerkaatste afval niet buiten de mal kan komen maar terecht komt in de afvallades.

De totaalplaatjes van de zes snijmallen en alle onderdelen en specificaties hiervan zijn te vinden in bijlage 3c, figuur 24 t/m 29 en tabel 16.



Figuur 13: Het snijden van de buitenflens van een H-profiel.

5.1.4 Gebruikers ergonomie

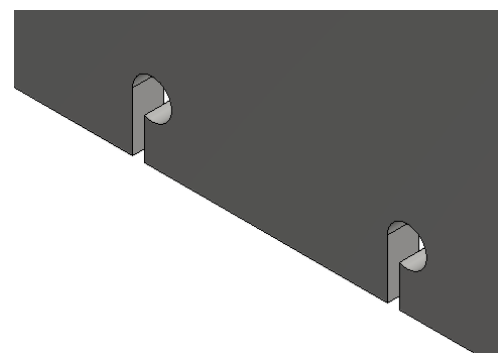
De operator moet verschillende handelingen verrichten tijdens de productie aan de snijrobot. Het uithalen en het in- en omleggen van de profielen, het legen van de afvallades en het inspannen van de profielen behoort tot de operator zijn taak. Deze handelingen zijn opgesomd en onderzocht op de gebruikersergonomie van de operator in bijlage 3d, tabel 17. In bijlage 3d, figuur 30 zijn de richtlijnen voor een ergonomisch verantwoorde arbeidshandelingen te zien. Uit het onderzoek is gebleken dat de handelingen die de operator moet verrichten binnen de richtlijnen van de ergonomisch verantwoorde arbeidshandelingen vallen. Het legen van de afvalwaggen mag niet handmatig gebeuren, er is hiervoor een hijs oog toegevoegd om dit machinaal te doen. Ook het tillen van de profielen mag niet handmatig gebeuren, er is hiervoor een bovenloopkraan in beide snijstations opgehangen.

De afvalproductie is op twee manieren in kaart gebracht. Eén keer theoretisch en één keer praktisch, zoals te zien in bijlage 3d, tabel 18. Te zien is dat bij deze vijf profielen dagelijks één afvallade vol komt wanneer de productie continu loopt. Praktisch is dit vele malen minder omdat niet al het afval in één afvallade terecht komt maar verdeeld wordt in vijf afvallades. De formules die gebruikt zijn bij het berekenen van de afvalproductie zijn terug te vinden in bijlage 3d, vergelijking 1 t/m 4.

Van deze handelingen is een functieanalyse gemaakt waar duidelijk op te zien is wat de taken en handelingen zijn van de operator en de snijrobot gedurende de productie, zie figuur 31 van bijlage 3d.

5.1.5 Constructie berekeningen

De plasmasnijrobot heeft ook nadelen ten opzichte van het ponsen van de gaten voor de boutverbinding. Eén hiervan is het insnijden vanuit de zijkant van het materiaal wat de constructie mogelijk minder sterk maakt. Een voorbeeld is hiernaast te zien in figuur 14. Om dit te onderzoeken zijn verschillende berekeningen uitgevoerd, via formuleberekeningen en via het CAD-programma. Zowel voor een H-profiel en een U-profiel. In bijlage 3e, vergelijking 5 t/m 10, tabel 19 en 20 en figuur 32 t/m 35 zijn de berekeningen en gegevens van de H-profielen te vinden.



Figuur 14: Insnijden vanuit de zijkant van het materiaal bij het snijden van de gaten van $\varnothing 10\text{mm}$

De conclusie die getrokken wordt uit deze berekeningen is dat het geen verschil maakt in de doorbuiging van de dwarsliggers met als gevolg dat de palletbodem geen stijfheid verliest. De insnijdingen van het plasmasnijden hebben voor de H -profielen geen invloed. De conclusie is hiernaast te zien in tabel 2. Ook voor de U-profielen zijn deze berekeningen uitgevoerd. De berekeningen worden op dezelfde manier verricht als die

van de H-profielen. De gegevens van de U-profielen zijn te zien in bijlage 3e, tabel 21 en 22. De verdeelde belasting wordt bij de U-profielen gedeeld door 2 t.o.v. de H-profielen. Dit komt omdat de U-profielen ten alle tijden met een set van twee bij elkaar in de palletbodem zit. De conclusie van de constructie berekeningen van de U-profielen is terug te zien in tabel 3. Ook bij de U-profielen is te zien dat de sterkte niet verdwijnt wanneer er een snede ontstaat door het plasmasnijden.

In enkele gevallen wordt de doorbuiging zelfs lager. Dit kan als oorzaak hebben dat de V-tjes voor het verzinken veranderen naar C-tjes. Deze verandering in doorbuiging is verwaarloosbaar en theoretisch onderbouwd.

5.2 Lasrobot

Voor de lasrobot is bij Blue Workx nog niets fysieks aanwezig. Het gehele ontwerp voor de lasrobot moet van nul ontworpen worden. In deze paragraaf worden de ontwerpen van een mogelijke lasrobot uitgewerkt.

5.2.1 Lasrobotopstelling

De functies die onderzocht zijn in hoofdstuk 4 staan los van de opstelling van de robot. Deze functies geven geen belemmeringen in het ontwerp van de lasrobotopstelling.

Het ontwerp wat er nu ligt is te zien in bijlage 4a, figuur 36. In totaal twee lasstations, links voor een palletbodem en rechts voor een kopschot. Op de track van ± 20 meter komt één galg met daar aan de lasrobot, zie figuur 37 van bijlage 4a voor deze samenstelling. De galg met daarop de lasrobot, de lasbron, de lasdraad en het reinigingssysteem kunnen langs beide stations rijden. In beide lasstations zijn manipulators geplaatst waar de producten mee gedraaid kunnen worden voor het beter bereiken van moeilijk bereikbaar te leggen lasnaden.

Berekende doorbuiging voor H-profielen					
	Formuleberekeningen		CAD-programma		Eenheid
	Oplegging	Inklemming	Oplegging	Inklemming	
Ponsen	0,8064	0,1613	0,8812	0,1866	mm
Plasma	0,789	0,1578	0,8807	0,1866	mm

Tabel 3: Conclusie van de constructie berekeningen van de H-profielen.

Berekende doorbuiging voor U-profielen					
	Formuleberekeningen		CAD-programma		Eenheid
	Oplegging	Inklemming	Oplegging	Inklemming	
Ponsen	0,6219	0,1244	0,6724	0,1479	mm
Plasma	0,6281	0,1256	0,6736	0,1479	mm

Tabel 2: Conclusie van de constructie berekeningen van de U-profielen.

6. Programmeerfase

Nadat de snijtafels en snijmallen uit de productiefase zijn gekomen is er kunnen starten met het programmeren van de snijrobot. Dit programmeren gaat via het teach pendant aan de robot. Hiervoor moet de robot online, dat wil zeggen rechtstreeks aan de robot, geprogrammeerd worden. Er is onderzocht of dat het programmeren offline kan gebeuren, maar tevergeefs.

6.1 Creëren van programma's

Voorafgaande aan het programmeren is er contact geweest met Rolan Robotics, de leverancier van de plasmasnijrobot, om informatie te verkrijgen m.b.t. het programmeren. Hieruit is een cursusboek van Rolan Robotics gekomen die als handleiding fungeert tijdens het programmeren. In de bronvermelding is de link te vinden naar dit cursusboek. De juiste instellingen voor een ideale sneden met een minimale slak zijn eigenhandig achterhaald d.m.v. eenvoudige testen.

Het creëren van programma's gaat voornamelijk met het ingeven van punten (P), lijnen (L), cirkels (C) en I/O signalen⁽²⁾ (AS). Deze functies worden in de ruimtelijke omgeving ingeslagen in de robot waarna een programma ontstaat die deze functies achtereenvolgend uitvoert. Een voorbeeld van een mogelijk programma is hiernaast te zien in figuur 15. In de eerste kolom is de waarde te zien die bij elke stap oploopt, het zogenoemde "linenumber". Kolom 2 geeft aan wat voor functie het betreft. Kolom 3 is de snelheid waarmee de robot naar de volgende functie beweegt. Staat er een percentage dan is dit de verhoudingssnelheid waarbij 100% de maximale snelheid van de robot is. Staat er een waarde in centimeters dan is het in dit geval 100cm/min. Kolom 4 geeft aan welk assenstelsel gebruikt is. BASE staat voor het bekende XYZ assenstelsel ofwel het cartesian coördinaten systeem. Een andere optie is dat er staat T.BASE, dit staat voor het bewegen vanuit de assen afzonderlijk van elkaar. Kolom 5 staat voor welk mechanisme aangestuurd wordt. In het geval van de plasmasnijrobot bestaat er maar één mechanisme, de robot. Wanneer er manipulators aanwezig zijn, zijn dit nieuwe mechanismes en komt er wanneer deze aangestuurd worden M2 of M3 te staan.

001	P	90% N	BASE	M1
002	P	75%	BASE	M1
003	P	50%	BASE	M1
004	P	50% N	BASE	M1
	AS	200A,23.0V, 60cm		
005*	L	100cm	BASE	M1
006*	L	100cm	BASE	M1
007*	L	100cm	BASE	M1
008*	C1	100cm	BASE	M1
009*	C2	100cm	BASE	M1
	AS	180A, 20.0V, 60cm		
010*	L	100cm	BASE	M1
		etc.		

Figuur 15: Voorbeeld van een mogelijk programma.

Het opslaan van de programma's gaat eenvoudig en vrijwel gelijk aan Windows. Een voormalig overzicht van de geprogrammeerde programma's is te zien in bijlage 5a tabel 23. Een opgeslagen programma krijgt een naam en een nummer tussen de 001 en 999. Er kunnen dus 999 programma's in de robot opgeslagen worden. Het is zo verdeeld dat snijstation 1 de nummers 100 t/m 199 en snijstation 2 de nummers 200 t/m 299 krijgen. De programma's kunnen gekopieerd en vervolgens 180° gedraaid en geplakt worden, dit is bekend van Windows. Hierdoor hoeft het programma niet twee keer gecreëerd te worden zoals in de vorige alinea beschreven. Voor dit kopiëren is het wel noodzakelijk dat de twee snijtafel hetzelfde t.o.v. de snijrobot staan. Elke millimeter afwijking die hier inzit heeft consequenties bij het snijden na het kopiëren van het programma.

⁽²⁾: I/O signalen zijn de signalen die gebruikt worden voor het in- en uitschakelen van de plasmasnijder.

6.2 Instellingen

Tijdens het programmeren zijn er verschillende instellingen mogelijk voor het plasmasnijden. Zo kan de stroomsterkte, voortloopsnelheid, toortsafstand en de luchtdruk geregeld worden. Al deze instellingen hebben invloed op de hoeveelheid warmte in het materiaal. Het kan zelfs zo zijn dat wanneer twee sneden kort bij elkaar een andere instelling behoeven omdat het materiaal voorverwarmd is door de eerste sneden. Dit verschijnsel is zichtbaar bij het snijden van bijvoorbeeld gaten of andere uitsparingen. Ook voor elke materiaaldikte zijn andere instellingen vereist. In tabel 24 van bijlage 5b zijn deze instellingen terug te vinden. Kolom 4 van deze tabel geeft aan welk mondstuk (tip) het meest geschikt is en moet handmatig verwisseld worden. Al deze instellingen hebben invloed op verschillende aspecten. Bijvoorbeeld de kwaliteit van de snede, de hoeveelheid slak, de hoeveelheid slijtage aan de elektrode en de doorlooptijd. Het is dus van belang om de juiste combinatie instellingen te vinden waardoor deze vier aspecten optimaal zijn.

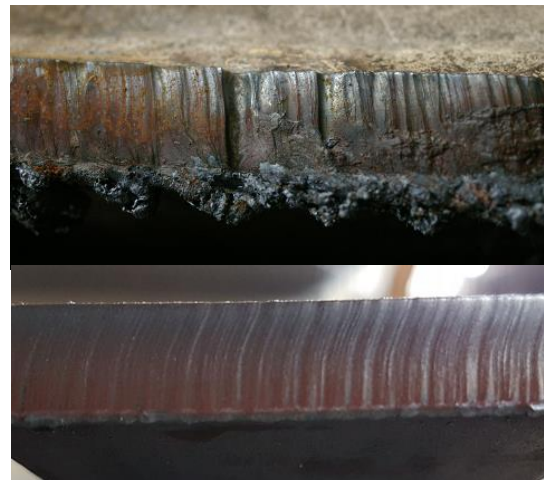
7. Testfase

In de testfase worden er testen uitgevoerd met de geprogrammeerde programma's. Hiervan uitgaande wordt het programma van eisen nogmaals bekeken en nagelopen of dat de plasmasnijrobot hieraan voldoet.

7.1 Doelstelling

7.1.1 Kwaliteit

De kwaliteit van de producten is door het gebruik te maken van de plasmasnijrobot gewaarborgd. De profielen worden telkens op dezelfde manier en positie ingespannen met de eerder beschreven mallen. Hierdoor is er geen afwijking in de kwaliteit mogelijk mits de operator de profielen correct inspannt. Enkel de afwijking is het profiel zelf en de afwijking van de robot zijn behouden. De afwijking in het profiel is wisselend en kan een onnauwkeurigheid hebben 2 á 3 mm. De robot heeft een herhalingsnauwkeurigheid van $\pm 0,08$ mm wat voldoende is om de profielen op 0,5 mm nauwkeurig te snijden wat als eis gesteld wordt in het programma van eisen.

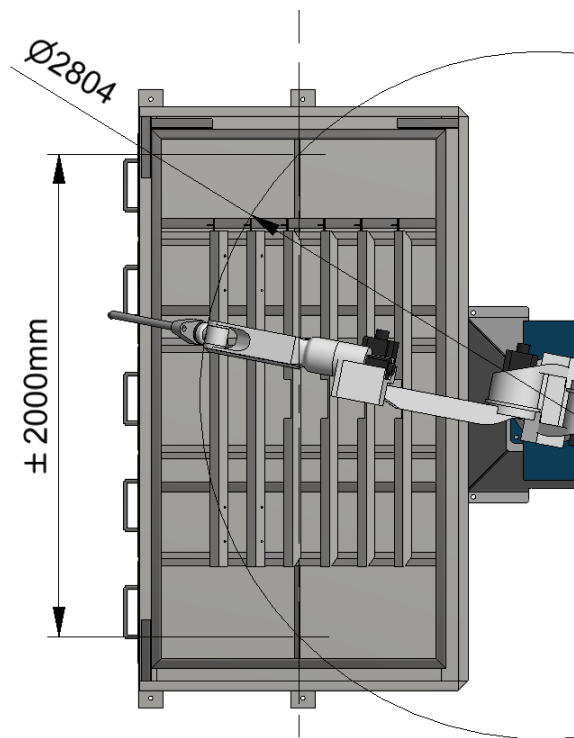


Figuur 16: De snijvlakken van een handplasmasnijder (boven) en een plasmasnijrobot (beneden).

De kwaliteit van de sneden zijn ook verbeterd. De snijvlakken zijn vele malen vlakker en de ruwheid is afgenomen, te zien in figuur 16. Verder is de robot ook nauwkeuriger in het maken van een rechte lijn of rondgaande beweging t.o.v. een persoon. Het reduceren van de kwaliteit is dus door de komst van de plasmasnijrobot gewaarborgd.

7.1.2 Flexibiliteit

Hierin speelt het bereik van de robot een belangrijke rol. Profiellengtes van 1 t/m 1,5 meter moeten gesneden kunnen worden vooraf als eis gesteld. Omdat de robot een maximaal bereik heeft van 2,8 meter als diameter geeft dit een bereik van ± 2 meter over het hart van de snijtafels, zie figuur 17 hiernaast. Hierdoor kunnen de profiellengtes die gegeven zijn als eis eenvoudig bereikt worden. De lengte van de toorts en de hoek waaronder de toorts staat zijn bij beide bereiken niet meegenomen.



Figuur 17: Het bereik van de robot arm over de snijtafels.

7.1.3 Continuïteit

De continuïteit moet met 20% toenemen. Dit is behaald doordat de operator 40% van zijn tijd bezig is met de robot en 60% met ander werk. De robot produceert 100% van zijn tijd. Er is hierin dus een winst behaald in continuïteit omdat er op deze manier meer uren ontstaan. Een andere winst zit in het doorlopen tijdens pauzes en aan het einde van een dag. De robot loopt vier maal per dag nogmaals beide stations geheel onbemand af. Dit zijn zo'n 20 minuten winst in continuïteit per dag.

7.1.4 Doorlooptijd

Pas in de testfase is het duidelijk wat daadwerkelijke de winst in doorlooptijd per product. In bijlage 5c tabel 25 t/m 28 en vergelijkingen 11 en 12 zijn de doorlooptijden van de handmatige en de geautomatiseerde situaties zichtbaar. De geautomatiseerde bewerkingen voor de hoekprofielen zijn tot op heden nog onbekend. Dit komt omdat de mallen voor de hoekprofielen niet in productie zijn gegaan omdat hier ten eerste weinig winst op te behalen valt. De bewerkingen aan de hoekprofielen zijn enkel 30 en 80 seconden. Dit is te zien in tabel 26 van bijlage 5c. De robot kan dit niet in deze tijd realiseren. Ten tweede binnen een periode van ongeveer 6 maanden worden deze hoekprofielen vervangen door H-profielen.

De conclusie die uit dit onderzoek getrokken kan worden, te zien in bijlage 5a tabel 29, is dat er een winst behaald is van eenmaal 71%, eenmaal 124% en eenmaal 87% (respectievelijk, het tussen H-profiel, het kops H-profiel en het U-profiel) wanneer er gekeken wordt naar de gehele productie van de dwarsliggers. Wanneer alleen gekeken wordt naar de bewerkingen aan de dwarsliggers zijn dit winstmarges van eenmaal 111%, eenmaal 205%, eenmaal 115%. Dit verschil komt omdat het zagen buiten beschouwing wordt gelaten, hiervoor wordt de plasmasnijrobot niet gebruikt. De hoofdreden is dat de nauwkeurigheid van de lengte van de dwarsliggers hierdoor afneemt. Ten slotte loopt de snijrobot nagenoeg onbemand. De operator moet enkel de handelingen verrichten die bij de ergonomie beschreven staan. Omdat deze handelingen 40% van de snijtijd is heeft de operator 60% meer continuïteit en kan in deze tijd nog andere opdrachten verrichten in de werkplaats terwijl de snijrobot zijn werk doet.

7.2 Te snijden materiaal

De opsomming van de profielen uit het programma van eisen kunnen alle 6 met de plasmasnijrobot gesneden worden. Wel zullen hier (wanneer noodzakelijk) nieuwe mallen voor moeten ontworpen worden.

De plasmasnijder kan t/m een stroomsterkte van 120A snijden. Dit is voldoende om een materiaaldikte van 60 mm te kunnen snijden. Tot op heden is deze dikte nog niet getest. Wel is met succes getest tot een materiaaldikte van 15 mm. Hierbij had de plasmasnijder nog voldoende capaciteit over om dikker materiaal te kunnen snijden.

7.3 De snijtafel

Ook aan de eisen van de snijtafel is voldaan. Zo wordt het afval opgevangen in uitneembaar, met water reinigbare en gelagerde lades. Het opvangen wordt bevorderd door schotten op de randen van de mallen te plaatsen waardoor deze eis gewaarborgd is. Alle handelingen die de operator uit moet voeren zijn ergonomisch verantwoord zoals beschreven in hoofdstuk 5. Ook aan de overige eisen van de snijtafel voldoet de huidige opstelling.

7.4 De snijmallen

De eerste eis, het snijden met een verticaal georiënteerde snede, wordt behaald door het omleggen van de profielen. Hierdoor is het mogelijk om in twee posities het profiel te snijden. Het afval komt niet op de profielen terecht door de afscherming tussen de flensen te plaatsen waardoor het afval op deze afscherming terecht komt. Aan de overige eisen van de snijmallen wordt ook voldaan.

8. Conclusie

Voor de snijrobot zijn aan alle eisen die vooraf gesteld zijn voldaan en draait nu dagelijks mee in de werkplaats van Blue Workx. Voor de lasrobot is het project nog niet afgesloten en moet nog verder ontwikkeld worden.

8.1 Snijrobot

De productie van de snijtafels en snijmallen heeft nagenoeg vlekkeloos verlopen. De montage van de snijtafel in de bestaande situatie is goed verlopen en het programmeren is dankzij het vooronderzoek bij Rolan Robotics goed verlopen. Met name in de eerste week waren er enkele kleine problemen tijdens de productie. Dit had voornamelijk als oorzaak dat de te snijden profielen een onnauwkeurigheid van wel 3mm hebben. Na maten de productie vorderde verdwenen deze problemen omdat er meer kennis opgedaan is over de onnauwkeurigheid van de profielen en op welke manier de profielen van elkaar afwijken n.a.v. de onnauwkeurigheid.

De handelingen die de operator moet uitvoeren tijdens de productie zijn ergonomisch onderbouwd. Verder zijn de aanpassingen aan de dwarsliggers n.a.v. de plasmasnijrobot correct bevonden en onderbouwd met constructieberekeningen. Verder is er een tijdswinst behaald op de bewerkingen aan de dwarsliggers van gemiddeld 144%. Ten slotte is er een continuïteitswinst van 60% voor één operator omdat de lasrobot 60% van de tijd onbemand produceert. Dit alles is in een tijdsbestek van 16 weken en een bedrag van €80.000,- gerealiseerd.

De zaken waar momenteel nog aan gewerkt worden zijn de slijtage van de elektrode en de mondstukken te minimaliseren. Verder moeten, om de afzuiging effectiever te laten functioneren, extra zijlen toegevoegd worden waardoor de dampen beter opgevangen worden. Ten slotte moet bij de snijstations een watervoorziening komen zodat de lades vanuit deze voorziening gevuld kunnen worden.

8.2 Lasrobot

Voor de lasrobot zijn geen feiten af te vinken zoals bij de snijrobot. Wel heeft Blue Workx gedurende de afstudeerperiode meer kennis genomen van de mogelijkheden binnen de wereld van de lasrobots. Dit dankzij het onderzoek in dit verslag maar ook door de bedrijfsbezoeken met Rolan Robotics aan Stracon metaalwerken in Oss en met Valk Welding aan Knapen trailers in Deurne. Blue Workx heeft momenteel het ontwerp wat in dit verslag beschreven staat goed bevonden. Momenteel zijn er voorbereidingen gaande om meerdere offerteaanvragen van verschillende lasrobotopstellingen met verschillende functies te versturen naar Rolan Robotics en Valk Welding. De volgende stap is aan Blue Workx welke offerte het meest geschikt en passend is.

9. Bronvermelding

Website Blue Workx:

<https://www.blue-workx.nl>

Website OTC:

http://www.rolan-robotics.nl/pg-1043-7-106605/pagina/rolan_robotics_-_specialist_in_robotsystemen_voor_industriële_toepassingen.html

Robotic arm, AX-MV6:

[http://www.rolan-robotics.nl/content/1043/download/clnt/10292_AX-V6 \(L\).V16.G3.pdf](http://www.rolan-robotics.nl/content/1043/download/clnt/10292_AX-V6 (L).V16.G3.pdf)

Power source, D-12000:

<http://www.otc-daihen.de/index.php?id=1720&lang=002>

Cutting torch, CTPW-1201:

<http://www.thermacut.cz/images/allwebs/Download/catalogpdf/DAIHEN-OTC/Thermacut-catalog-CTPW-1201-CTZW-1201.pdf>

Website Valk Welding:

<https://www.valkwelding.com/nl>

Website Destaco:

<https://www.destaco.com>

Snelspanner, 5130-M:

<https://www.destaco.com/catalog/5130-M>

Websites verantwoorde ergonomie:

<http://www.ergonomiesite.be/en-1005-3-maximale-krachten/>

<https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/tillen-en-dragen/vraag-en-antwoord/hoeveel-mag-een-werknemer-tillen>

Link cursusboek Rolan Robotics:

https://drive.google.com/file/d/1ylaI9Ms4wdnEXE182mEYvyCJkFff_ZzF/view