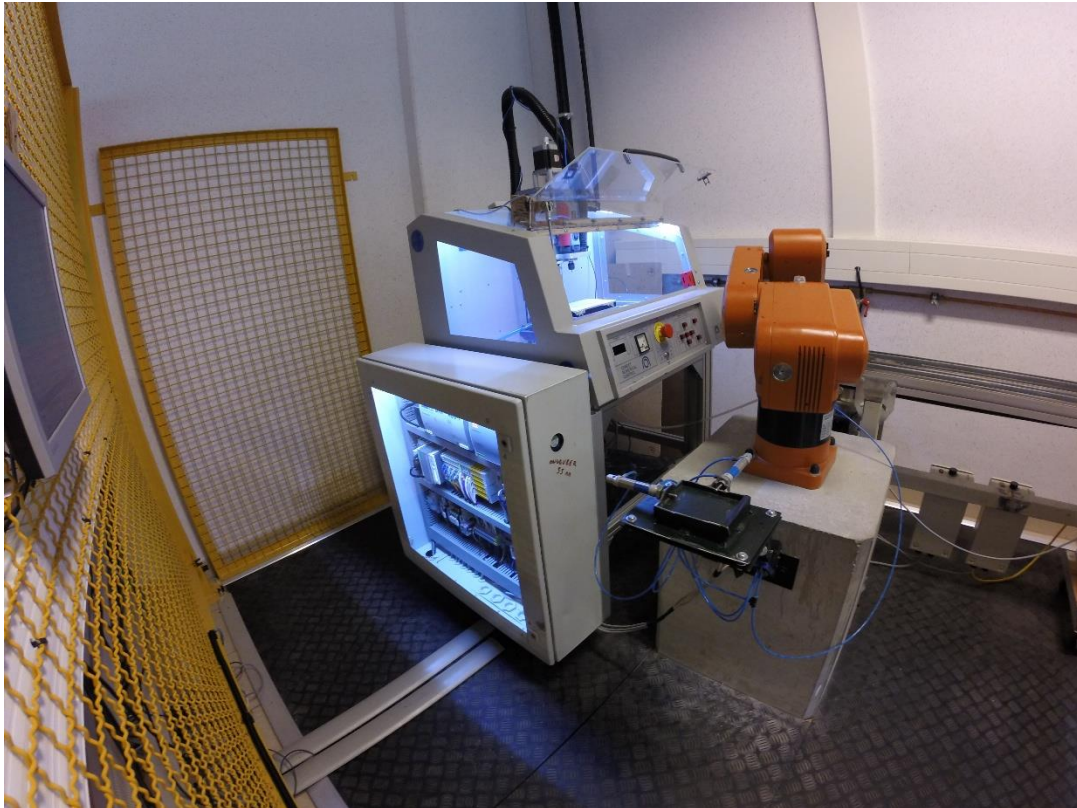




## Professionele Bachelor Elektromechanica Onderhoudstechnologie



## UITBREIDING ROBOTCEL PXL-TECH

Jan Goffin

Promotoren:

Gwen Vanheusden  
Ilona Stouten

Hogeschool PXL  
Hogeschool PXL

De eindverantwoordelijkheid voor deze scriptie rust volledig bij de student zelf. Ook na scriptie- en procesbegeleiding valt het niet uit te sluiten dat de scriptie nog onjuistheden en/of onvolledigheden bevat, die wél bij de eindevaluatie in rekening werden gebracht, maar in de finale versie niet meer werden aangepast.

## i. Samenvatting

Deze bachelorproef beschrijft de uitbreiding van een reeds aanwezige didactische robotopstelling in hogeschool PXL. Er wordt uitgezocht hoe er op een efficiënte en duurzame manier een CNC-machine kan worden toegevoegd aan de opstelling. Deze proef is tot stand gekomen doordat er steeds meer noodzaak is om de opleiding dichterbij de industrie te brengen, zodat de stap naar het “echte” werk verkleind wordt.

Eerst is er een analyse gemaakt van de aanwezige en benodigde materialen. Op basis daarvan zijn bepaalde onderdelen aangepast, sommige volledig hergebruikt, andere besteld en sommige van nul opgebouwd.

De CNC-machine is mechanisch volledig opgebouwd met zeer lage toleranties. De grootste afwijking is 0.016 mm op een afstand van 10 mm. Om deze machine aan te sturen is een volledig nieuwe elektrische kast en PLC-opstelling gebouwd. Deze zijn volledig operationeel en in staat autonoom te werken. Er zijn ook enkele aanpassingen gebeurd aan de robot, voornamelijk aan de grijper, om ervoor te zorgen dat deze vlot kan samenwerken met de nieuwe machine.

De didactische opstelling is dus succesvol uitgebreid en kan door toekomstige studenten worden gebruikt om een voorsmaakje te krijgen van een echte opstelling, zij het wel op een kleinere schaal dan in de industrie.

## ii. Summary

This paper summarizes the expansion of a didactic setup of a robotic production line at PXL University College. It is a study into an efficient and durable solution to implement a CNC-router into the didactic setup. This project was started after it became clear that the gap between a school and real world setup needed to be bridged, in order to better prepare future students for their jobs in the industry.

At first there has been an analysis of the parts that were already present and the parts that were still required. From this starting point some parts have been adjusted, some reused, some ordered and some built from the ground up.

The CNC-router was mechanically built up with very low tolerances. The largest deviation is 0.016 mm on a distance of 10 mm. To control this machine a new electric cabinet and PLC-setup have been implemented. This setup is fully operational and capable of working completely autonomously. There have been a few adjustments to the robot, mostly to the gripper, to make sure it is compatible with the new router.

All in all the didactic setup has been successfully expanded and will be able to be used by future students to get a taste of a real life setup, though on a smaller scale than in the industry.

### iii. Dankwoord

Graag had ik de mensen die me hebben gesteund en geholpen tijdens dit project nog via deze weg willen bedanken

Allereerst wil ik graag mijn promotoren, Gwen Vanheusden en Ilona Stouten, bedanken. Niet alleen voor hun steun en begeleiding tijdens dit project, maar ook voor de steun tijdens de voorbije jaren. Zo ben ik zeer dankbaar voor het enorme vertrouwen en de grote vrijheid die zij me toekenden bij deze uitbreiding.

Verder had ik graag de lectoren Andy Camps, Wim Vandormael en Jan Van Hecke bedankt. Zij hebben mij in hun respectievelijke domeinen allen gesteund bij het ontwikkelen en opbouwen van verschillende onderdelen.

Vervolgens nog dank aan Jeroen Thimpont, zowel als goede vriend alsook tussenpersoon bij PEC Products, voor alle hulp bij het ontwerp van meerdere stukken.

Ook dank aan mijn familie, met name mijn vriendin Margo en mijn ouders, voor de steun en toeverlaat, alsook het nalezen van deze scriptie.

Tot slot ook dank aan SML en alle andere bedrijven, dankzij hun gerecupereerde onderdelen hebben we heel wat budget overgehouden voor andere zaken. Zonder dit soort giften zou er heel wat minder didactisch materiaal voorhanden zijn.

iv. Inhoudsopgave

## Inhoud

i.	Samenvatting.....	
ii.	Summary.....	
iii.	Dankwoord .....	
iv.	Inhoudsopgave.....	
v.	Figurenlijst .....	
1.	Inleiding.....	1
2.	Methode.....	2
3.	Literatuurstudie .....	3
3.1.	Wet van Bernoulli en principe van Venturi.....	3
3.2.	Hardwareconfiguratie PLC voor NCI .....	5
3.3.1.	Verificatie Licentie .....	5
3.3.2.	Toevoegen van de assen .....	5
3.3.3.	Toevoegen NC Channel .....	7
3.3.4.	Instellen NC Channel.....	7
3.3.	Softwareconfiguratie PLC.....	9
3.3.1.	Bedieningspaneel: CNC machine .....	9
3.3.2.	Bedieningspaneel: Robotsturing.....	11
3.3.3.	Bedieningspaneel: Sensoren .....	12
3.4.	Softwareconfiguratie Robot .....	13
4.	Resultaten.....	14
4.1.	Duurzaamheid .....	14
4.2.	Tafel voor CNC-machine .....	14
4.3.	Elektrische kast.....	15
4.4.	Stappenmotor Z-as .....	18
4.5.	Eindschakelaars .....	20
4.6.	Kalibratie machine.....	21
4.7.	Pneumatische onderdelen .....	23
4.6.1.	Robotgrijper.....	23
4.6.2.	Blokjesklem.....	25
4.6.3.	Vacuümtafel .....	26
4.6.4.	Pneumatische cilinder deur CNC-machine .....	27
4.6.5.	Stofzuiger.....	28
4.8.	Freemotor.....	29

4.9.	PLC-Programma .....	31
4.10.	Robot-programma .....	32
5.	Conclusie .....	35
vi.	Bibliografie.....	36
vii.	Bijlage .....	37
	Bijlage 1: [PLC Programma] .....	37

v. Figurenlijst

Figuur 1: Principe van Bernouilli [1].....	3
Figuur 2: Venturi ventiel [3] .....	3
Figuur 3: "Choose Target" Twincat System Manager .....	5
Figuur 4:"Broadcast Search" Twincat System Manager.....	6
Figuur 5: "Scan Devices" Twincat System Manager.....	6
Figuur 6: "Append Channel" Twincat System Manager.....	7
Figuur 7: "Axis Assignment" Twincat System Manager .....	8
Figuur 8: "MDI" Twincat System Manager .....	8
Figuur 9: Visualisatie PLC.....	9
Figuur 10: Robotsturing visualisatie .....	11
Figuur 11: Sensoren Visualisatie.....	12
Figuur 12: In/Outputs robotsturing .....	13
Figuur 13: Tafel CNC Machine .....	14
Figuur 14: Elektrische kast .....	15
Figuur 15: Verduideling elektrische kast.....	16
Figuur 16: Stappenmotor Z-as .....	18
Figuur 17: Eindeloopschakelaars .....	20
Figuur 18: Stifthouder .....	23
Figuur 19: Vacuümgreijper.....	24
Figuur 20: Blokjesklem .....	25
Figuur 21: Vacuumtafel .....	26
Figuur 22: Deurcilinder .....	27
Figuur 23: Freesmotor .....	29
Figuur 24: Opname blokje .....	32
Figuur 25: Blokjesklem .....	33
Figuur 26: Schrijven op blokje .....	33
Figuur 27: Aanvoer CNC-machine.....	34
Figuur 28: Plaatsing uitgaande band .....	34



## 1. Inleiding

Het departement TECH van de Hogeschool PXL biedt verschillende technologische opleidingen aan, waaronder Elektromechanica. Elektromechanica heeft twee afstudeerrichtingen: klimatisering en onderhoudstechnologie. Het is voor deze laatste afstudeerrichting dat de lessen Robotica worden ingericht. De studenten in deze afstudeerrichting zullen later in contact komen met deels of zelfs volledig geautomatiseerde processen. Zodoende is het belangrijk om hen hier goed op voor te bereiden en dat is wat de lessen robotica doen.

Het uiteindelijke doel van deze bachelorproef is om een reeds aanwezige didactische opstellingen van het labo robotica uit te breiden. Zodoende wordt er een realistischer beeld gevormd van mogelijke opstellingen in de industrie en zullen toekomstige studenten hier in staat zijn om vakoverschrijdende opdrachten uit te voeren.

De concrete doelen van dit project zijn om een CNC-machine op te bouwen, deze te integreren in de reeds bestaande robotcel en hierna het elektrisch en elektronisch gedeelte te herbekijken. Er zal een nieuwe elektrische kast worden opgebouwd waarin ook de reeds bestaande PLC-opstelling en robotklemmen in dienen verwerkt te worden.

Om deze doelen tot een goed eind te brengen dient er eerst in kaart gebracht te worden wat reeds aanwezig is, wat dient aangepast te worden en wat er dient bijbesteld te worden.

Vervolgens worden er offertes opgevraagd om uiteindelijk tot de bestellingen over te gaan. Eens de bestellingen geplaatst zijn dienen er ook nog enkele onderdelen zelf gemaakt te worden, onder andere een steun om de CNC-machine op te plaatsen en een nieuwe grijper voor de robot. Eens alle onderdelen er zijn, kan alles aangesloten worden op de elektrische kast en kan er aan de programmatie begonnen worden. Bij de programmatie zal de PLC-opstelling alsook de robotsturing worden herbekeken en geherprogrammeerd.

Uiteindelijk is het natuurlijk de bedoeling dat het systeem volautomatisch kan werken met een minimale input van de gebruiker, maar het moet ook eenvoudig te programmeren blijven door de toekomstige gebruikers.

In het kader van duurzaamheid wordt het merendeel van de onderdelen gerecupereerd bij bedrijven of van vroegere projecten, zo recyclen we zoveel mogelijk en verkleinen we de impact op zowel het budget als het milieu. Er zullen natuurlijk steeds onderdelen zijn die nieuw moeten aangekocht worden, maar er dient toch steeds worden nagedacht hoe het duurzamer kan.

## 2. Methode

De bedoeling van deze bachelorproef is om een bestaande robotcel uit te breiden, zodat deze een realistischer beeld geeft van de werkelijkheid in de industrie. Er wordt een CNC-machine toegevoegd, die door PLC-sturing zal bediend worden. Deze wordt tevens gekoppeld aan de robotsturing om de samenwerking van de componenten te vereenvoudigen.

Om de CNC-machine aan de praat te krijgen dienen er zowel elektrische als mechanische aanpassingen te gebeuren. Het merendeel van de aanpak wordt gedictieerd door het reeds aanwezige materiaal en de beschikbare ruimte in de robotcel. Zo is de behuizing van de CNC-machine reeds aanwezig, alsook de sledes en twee stappenmotoren. De keuzevrijheid van de overige onderdelen is hierdoor beperkt, maar anderzijds ook vereenvoudigd.

Er wordt een analyse gemaakt van de benodigde specificaties aan de hand van opmetingen en andere vereisten. Aan de hand van deze analyse worden de benodigde onderdelen gedimensioneerd en nadien gebouwd of aangekocht.

Na de montage worden alle onderdelen getest op goede werking, gekalibreerd om afwijkingen op te vangen en vervolgens geprogrammeerd om het proces automatisch en vooral veilig te kunnen laten verlopen.

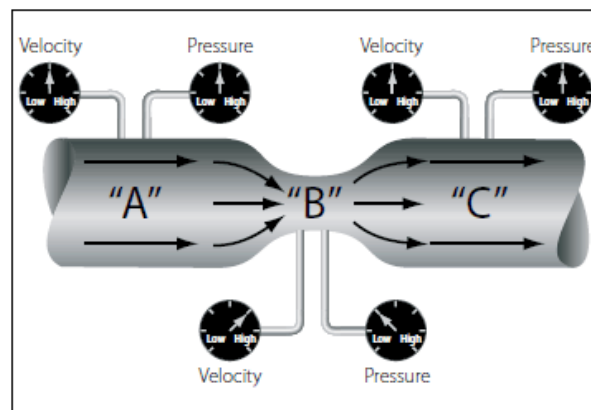
Nadien wordt de gehele opstelling getest en wordt er een beknopte handleiding voorzien, zodat de toekomstige gebruikers er ook mee aan de slag kunnen.

### 3. Literatuurstudie

#### 3.1. Wet van Bernoulli en principe van Venturi

Verschillende onderdelen van de opstelling worden gestuurd via pneumatische onderdelen. Om beter te begrijpen hoe deze precies werken en waar er bij het aansluiten aan moet gedacht worden speelt de wet van Bernoulli een grote rol.

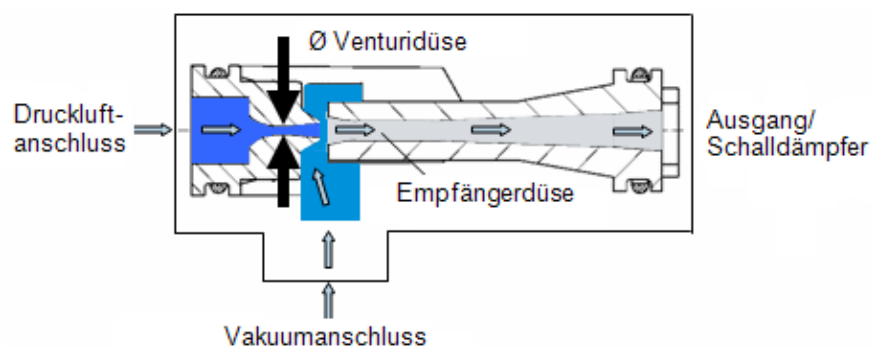
“De wet van Bernoulli leert ons dat er een verhouding is tussen de druk en snelheid waarmee een gas zich voortbeweegt in een buis. Zoals op onderstaande afbeelding (Figuur 1) te zien is, heerst er in punt A een bepaalde druk en snelheid van het gas. In punt B gaat ditzelfde gas door een vernauwing in de buis, waardoor de snelheid verhoogt en de druk verlaagt. In punt C komt het gas weer in een breder stuk van de bus, wat er weer voor zorgt dat de druk verhoogt en de snelheid verlaagt. Dit principe wordt het Venturi effect genoemd [2].”



Figuur 1: Principe van Bernoulli [1]

In dit project wordt op meerdere plaatsen gebruik gemaakt van het principe van Bernoulli, onder andere bij de vacuümrijper, de vacuümtafel en ook het stofafvoersysteem.

In het geval van een vacuümgenerator wordt er met behulp van het principe van Bernoulli een Venturi ventiel gebruikt. Een Venturi ventiel is eigenlijk niets meer dan een buis, met een vernauwing en daarna een verbreding. Net na de vernauwing is er een extra aansluitpunt voorzien, waar het vacuüm gecreëerd wordt. Dit wordt verduidelijkt met onderstaande tekening (Figuur 2):



Figuur 2: Venturi ventiel [3]

Op bovenstaande figuur (Figuur 2) zit links de aansluiting op het persluchtcircuit voor de ingaande lucht. Rechts zit de uitlaat, meestal uitgevoerd met een akoestische demping om het geluid te beperken. Onderaan zit de vacuümaansluiting.

De lucht beweegt zich in deze tekening dus van links naar rechts. Net voor de vacuümaansluiting is er een vernauwing ingebouwd, die ervoor zorgt dat de druk verlaagt en de snelheid verhoogt. Door deze verhoogde snelheid en verlaagde druk, wordt er lucht aangezogen via de vacuümaansluiting. Indien dit dus wordt aangesloten op een vacuümtafel of grijper, zal deze voorwerpen kunnen vastklemmen.

Een groot voordeel van dergelijke vacuümgeneratoren is het compacte en simpele ontwerp, waar weinig mee kan fout lopen. Voor kleine vacuümbenodigdheden, zoals bij ons het geval is, is dit een geschikte oplossing. Voor grote vacuümbenodigdheden kan beter geopteerd worden voor een mechanische vacuümgenerator. Deze zijn efficiënter maar ook aanzienlijk duurder.

Bij het stofafvoersysteem maken we ook gebruik van het principe van Venturi, we gaan namelijk de binnenkomende lucht uit een relatief grote buis door een zeer kleine opening laten ontsnappen, zodat de lucht met hoge snelheid stofdeeltjes kan afvoeren.

## 3.2. Hardwareconfiguratie PLC voor NCI

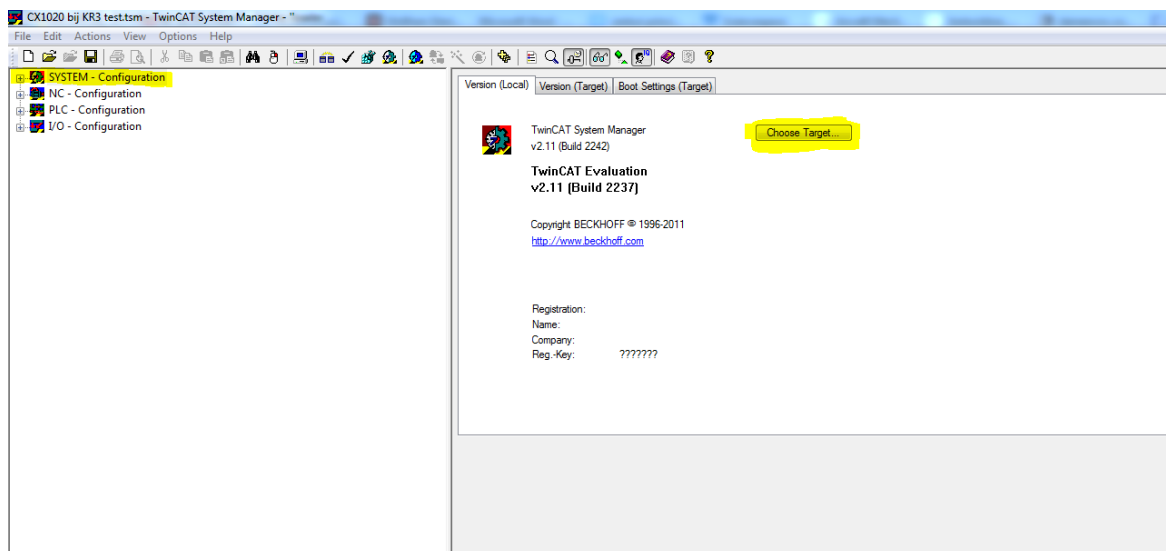
Om de CNC-machine te kunnen gebruiken, dienen de stappenmotoren gekoppeld te worden aan elkaar en dienen deze beheerd te worden door de PLC. Dit wordt met een speciaal programma gedaan, een NCI-programma. Vermits er met Beckhoff PLC-materiaal gewerkt wordt, wordt ook de volledige configuratie via hun software, Twincat, gedaan.

### 3.3.1. Verificatie Licentie

De eerste stap bij het configureren van dit systeem is nakijken of de PLC de juiste licenties heeft. Er is namelijk een NCI licentie nodig om het systeem te kunnen laten werken. Om na te gaan of de nodige licenties aanwezig zijn, dient men verbonden te zijn met de PLC. Vervolgens gaat men naar de rechterkant van de taakbalk, klikt men op het icoon van Twincat (rechtermuisknop) en vervolgens op "properties". Daar zou "TwinCAT NC I" moeten staan. Indien dit niet het geval is dient er contact opgenomen te worden met Bechhoff Automation. Indien de licentie in orde is, kan er worden overgegaan tot de effectieve configuratie.

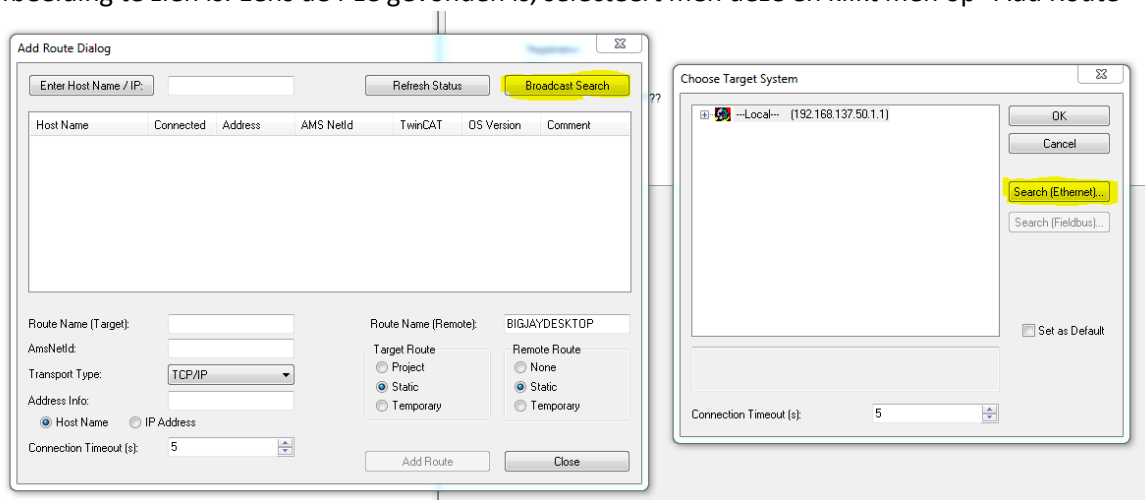
### 3.3.2. Toevoegen van de assen

Om de verschillende assen toe te voegen, dient men uiteraard verbonden te zijn met de PLC. Vervolgens opent men Twincat System Manager, het programma waarmee de configuratie zal uitgevoerd worden. Eens System Manager geopend is, klikt men op "SYSTEM – configuration" en vervolgens op "Choose Target..." zoals op onderstaande afbeelding te zien is.



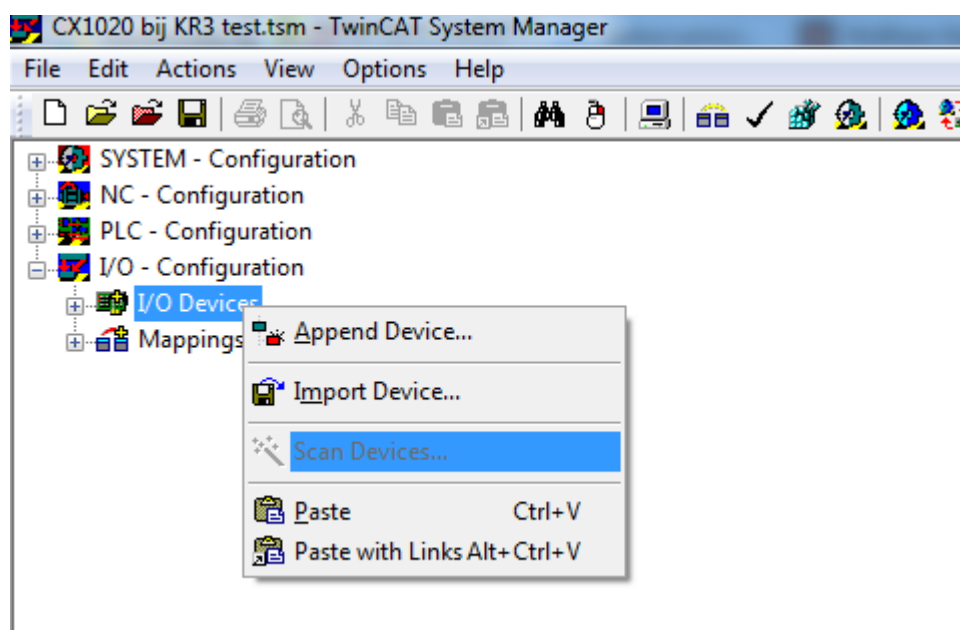
Figuur 3: "Choose Target" Twincat System Manager

Daarna klikt men op “Search (ethernet)...” en dan op “Broadcast Search” zoals op onderstaande afbeelding te zien is. Eens de PLC gevonden is, selecteert men deze en klikt men op “Add Route”



Figuur 4: "Broadcast Search" TwinCAT System Manager

Eens de verbinding gemaakt is, wordt er naar “I/O – Configuration” genavigeerd op het hoofdscherm. Dit klikt men open, waarna er op “I/O Devices” wordt geklikt (rechtermuisknop). Dit wordt verduidelijkt op onderstaande afbeelding.



Figuur 5: "Scan Devices" TwinCAT System Manager

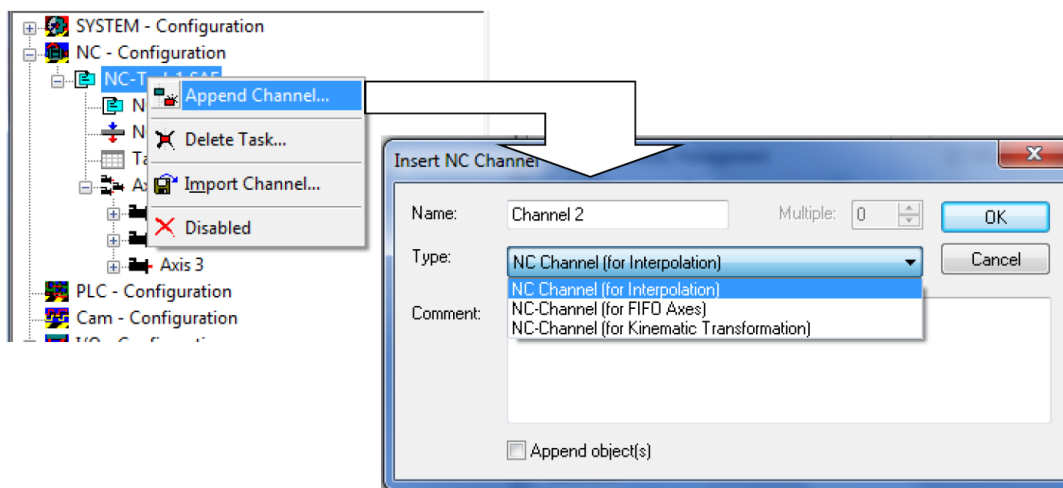
Indien de juiste PLC verbonden is gaat het system automatisch voorstellen om de verschillende assen toe te voegen.

Nu kunnen de assen handmatig ingesteld en aangestuurd worden.

### 3.3.3. Toevoegen NC Channel

Nu de assen geconfigureerd zijn, kunnen deze samengevoegd worden tot een NC-channel. Dit betekent dat de drie assen gelijktijdig door de PLC worden aangestuurd, aan de hand van G-codes die door de gebruiker worden ingegeven.

Hiervoor dient men naar het hoofdmenu, "NC-Configuration" te navigeren. Dan klikt men (rechtermuisknop) op "NC-Task 1 SAF" en vervolgens op "Append Channel". Als laatste kiest men welk soort kanaal het betreft, in ons geval een "NC Channel (for Interpolation)" en klikt men op OK. Op onderstaande afbeelding wordt dit verduidelijkt.



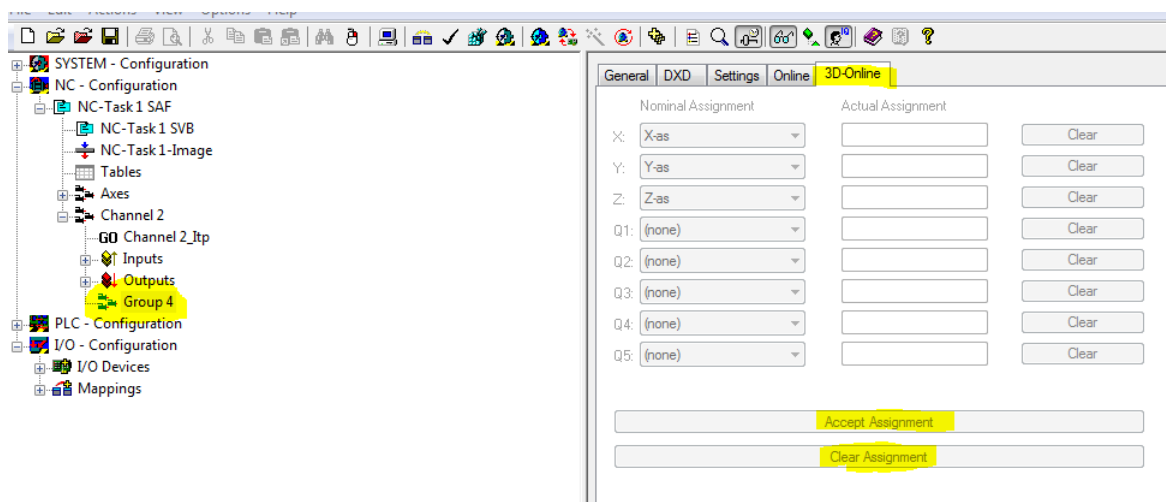
Figuur 6: "Append Channel" Twincat System Manager

### 3.3.4. Instellen NC Channel

Als de configuratie correct verlopen is, staat nu onder "NC-Configuration" en "NC-Task 1 SAF" een nieuwe groep, namelijk "Channel X" (X is het nummer dat werd toegekend aan het kanaal). Om dit kanaal te kunnen aansturen, dient men op "Channel X" te klikken, en vervolgens in de rechterside op "Override". Hier ziet men twee waarden: "Axis Override" en "Spindle Override". Deze worden normaal door het PLC-programma aangestuurd in automatische modus, maar om het kanaal te kunnen testen dienen deze handmatig op 100% gezet te worden. Hiermee wordt de controle over de assen overgedragen aan het kanaal.

Vervolgens moeten de assen nog aan het kanaal worden toegevoegd. Eens de assen zijn toegevoegd aan het kanaal kunnen ze niet meer handmatig bediend kunnen worden, maar enkel met G-codes. Men moet dus zeker zorgen dat de assen gekalibreerd zijn alvorens aan deze instelling te beginnen. Het is natuurlijk mogelijk om de assen uit de groep te verwijderen, om zo nog handmatige aanpassingen te doen indien nodig.

Om de assen toe te voegen, opent men "Channel X" en navigeert men naar "Group 4". Hier klikt men dan op de tab 3D-Online, waar alle assen zichtbaar zijn. Indien ze gekoppeld moeten worden, moet er op "Accept Assignment" geklikt worden. Indien de assen ontkoppeld moeten worden dient er op "Clear" of "Clear Assignment" geklikt te worden. Het verschil tussen deze twee is dat "Clear" een individuele as ontkoppelt, de andere ontkoppelt alle assen gelijktijdig. Onderstaande foto verduidelijkt deze instelling (Figuur 7):

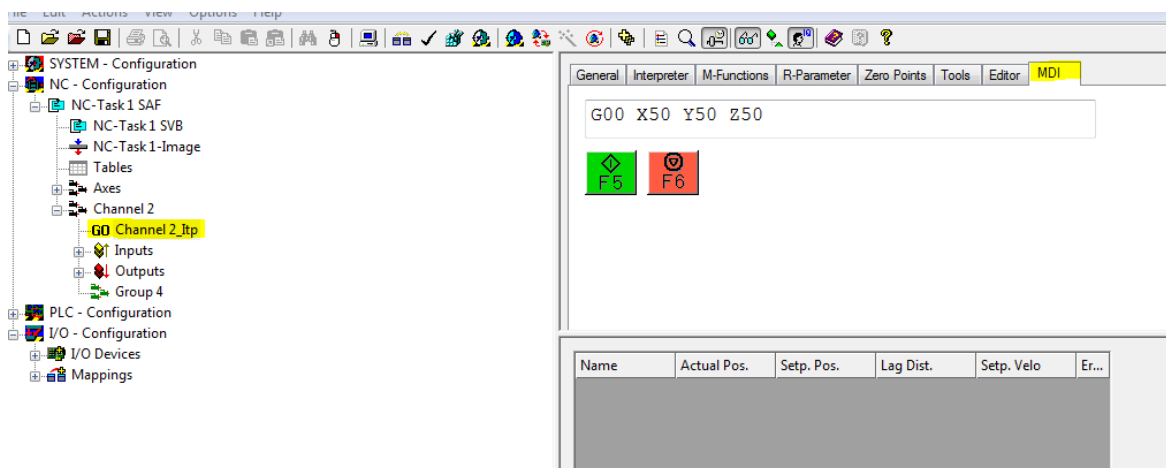


Figuur 7: "Axis Assignment" Twincat System Manager

Nu de assen gekoppeld zijn, kan het systeem getest worden. Hiervoor navigeert men naar "Channel X\_Itp" en vervolgens naar de rechterside "MDI."

In deze tab kunnen er G-codes per lijn worden ingegeven en uitgevoerd. Dit is een zeer eenvoudige methode om te testen of het systeem operationeel is. Eens het systeem getest is, kan er naar de "Editor" tab worden overgegaan. Hier kan een volledig NC-programma worden opgeladen om dan automatisch te laten uitvoeren. Het veiligste is om het programma rechtstreeks op de PLC op te laden, zodoende is er na stroompannes en dergelijke geen gevaar op verlies van gegevens, maar kan het programma heel eenvoudig en zelfs automatisch opnieuw worden opgeroepen.

Onderstaande afbeelding (Figuur 8) is hiervan een voorbeeld.



Figuur 8: "MDI" Twincat System Manager

Hiermee is de hardwareconfiguratie voltooid. Nu bestaat de mogelijkheid om deze configuratie te koppelen aan het PLC-programma, waardoor er geen interactie meer nodig is, maar het systeem volledig door de robot kan worden aangestuurd.

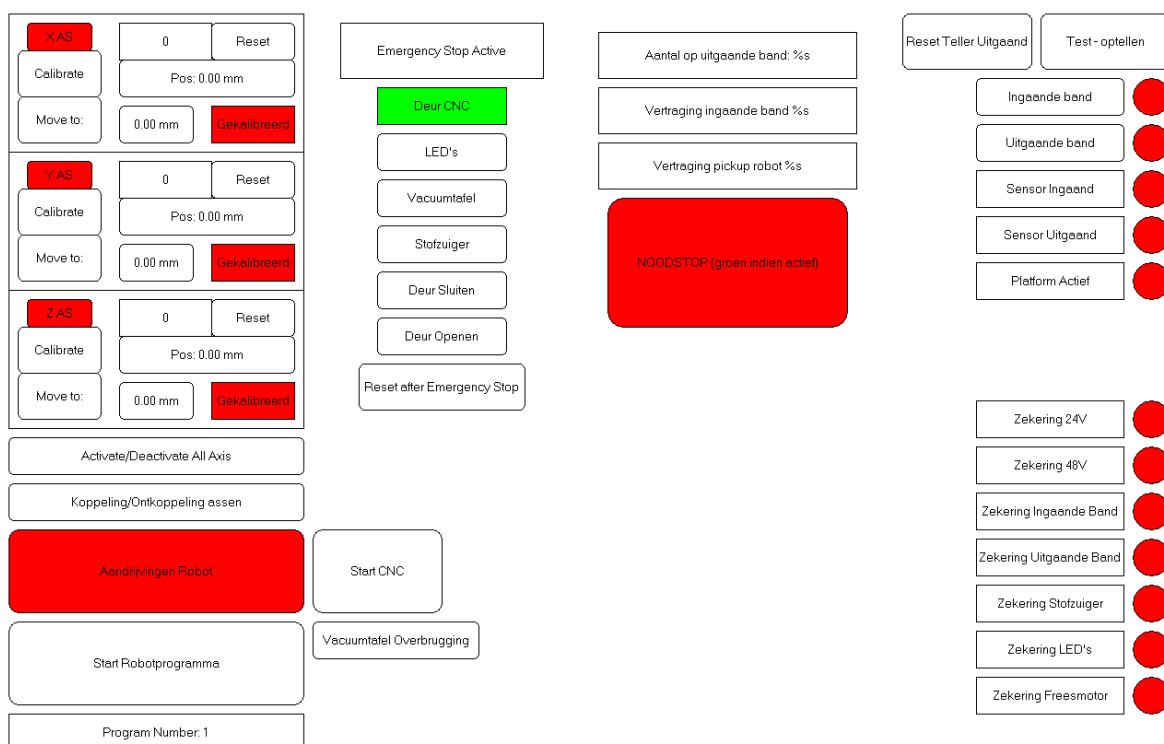


### 3.3. Softwareconfiguratie PLC

Het volledige programma is als bijlage toegevoegd ter referentie. De eindgebruiker gaat niet in contact komen met de programmering van de PLC. Dit is vooraf volledig afgerond, er dient enkel via het extern scherm en de muis bediend te worden. Bij problemen of na stroomuitval kan het zijn dat de software opnieuw moet geüpload worden, maar dit dient dan te gebeuren door de docent.

#### 3.3.1. Bedieningspaneel: CNC machine

Voor de gebruiker is het op twee manieren mogelijk om de PLC aan te sturen. Ofwel rechtstreeks via het scherm, wat vooral voor testopstellingen en diagnose zal dienen. Ofwel via de in- en outputs van de robotsturing. Zo kan men de nodige sturingen integreren in het robotprogramma en kan er dus volautomatisch gewerkt worden zonder externe interactie. Op onderstaande afbeelding (Figuur 9) is het bedieningspaneel te zien:



Figuur 9: Visualisatie PLC

Elke as kan via dit paneel apart in- en uitgeschakeld, gekalibreerd en bewogen worden. Dit is vooral handig bij het manueel bepalen van het werkstuk, zo kan er tot op 0.01 mm nauwkeurig bewogen worden. Er is ook de mogelijkheid om via een paneel op de CNC-machine zelf handmatig de verschillende assen te bedienen.

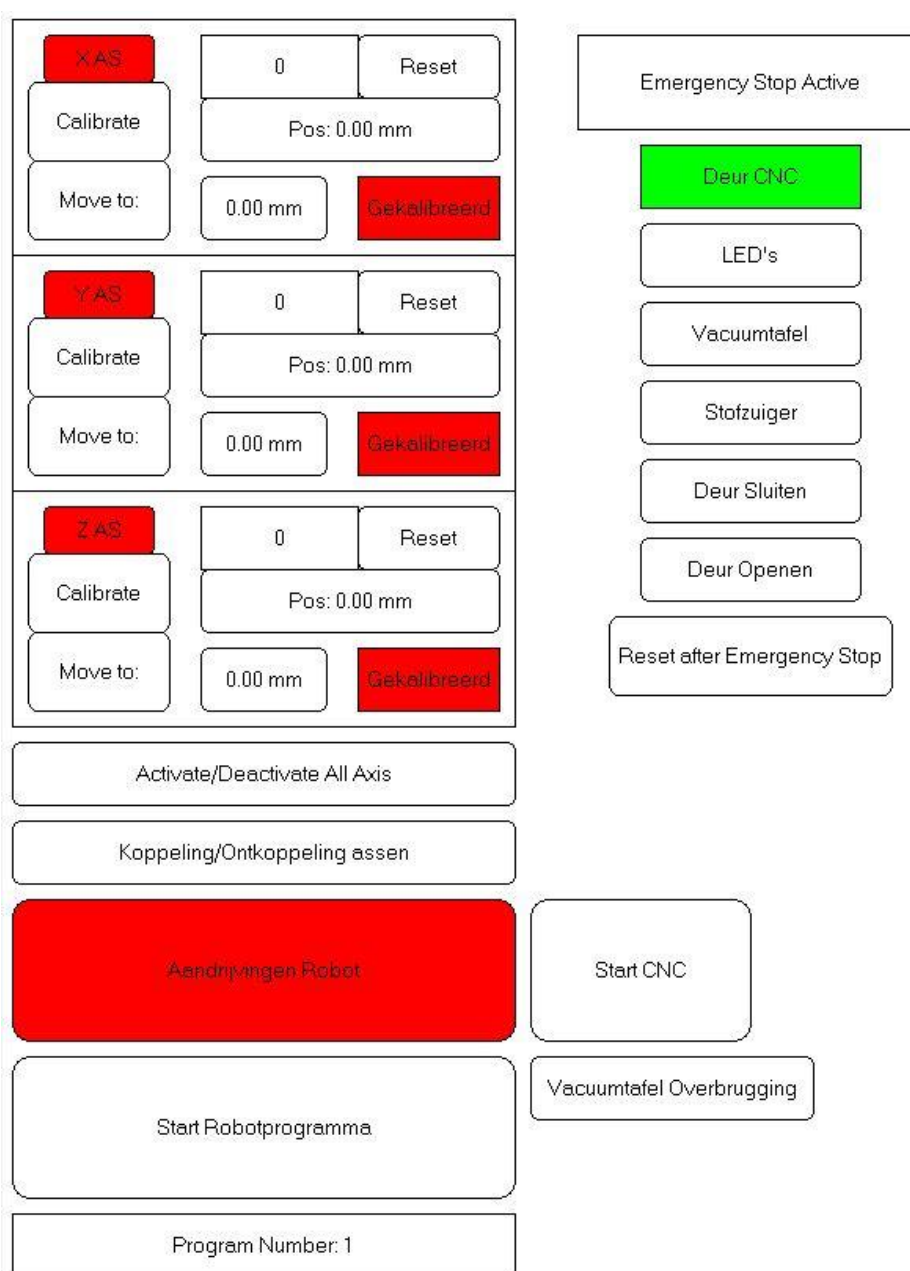
Om de CNC-machine in automatische modus te laten werken, dienen alle assen aan te staan, gekalibreerd en gekoppeld te zijn. De eenvoudigste methode om dit te bereiken, is op de schakelaar "Activate/Deactivate All Axis" te klikken. Deze licht groen op indien de assen actief zijn. Eens ze actief zijn wordt er gecontroleerd of alle assen gekalibreerd zijn, indien nodig worden deze automatisch gekalibreerd. Om de assen dan te koppelen aan het CNC-programma, dient er ofwel op de schakelaar "Couple/Decouple All Axis" geklikt te worden, ofwel dient er vanuit de robot een impuls gegeven te worden om het CNC-programma te starten. Indien er vanuit de robot een signaal gestuurd wordt, zal er namelijk automatisch gecontroleerd of de assen gekoppeld zijn, indien dit niet het geval is worden ze gekoppeld alvorens het programma te starten. Er kan niet automatisch gezorgd worden dat de assen actief zijn, aangezien dit een veiligheidsrisico zou zijn. Zo kan men nog steeds manueel de assen activeren of deactiveren in geval van problemen of bij testcyclussen.

Men kan ook de deur openen of sluiten, de vacuümtafel activeren (de robotsturing heeft hierbij wel voorrang), de LED-verlichting in- of uitschakelen door op de desbetreffende knoppen te drukken.

### 3.3.2. Bedieningspaneel: Robotsturing

Vanwege veiligheidsoverwegingen is er in automatische modus een vrijgave nodig vanuit de PLC naar de robot toe. Deze wordt deels automatisch gegeven van zodra er geen foutmeldingen zijn of de noodstop niet actief is, maar ook deels handmatig door de gebruiker. De aandrijvingen van de robot moeten worden ingeschakeld met de schakelaar “Aandrijvingen Robot.” Indien deze actief zijn, wordt de schakelaar groen. Verder kan het robotprogramma ook gestart worden door op “Start Robotprogramma” te klikken. Eens het programma loopt, kan dit enkel worden onderbroken door een noodstop of via de afstandsbediening van de robot.

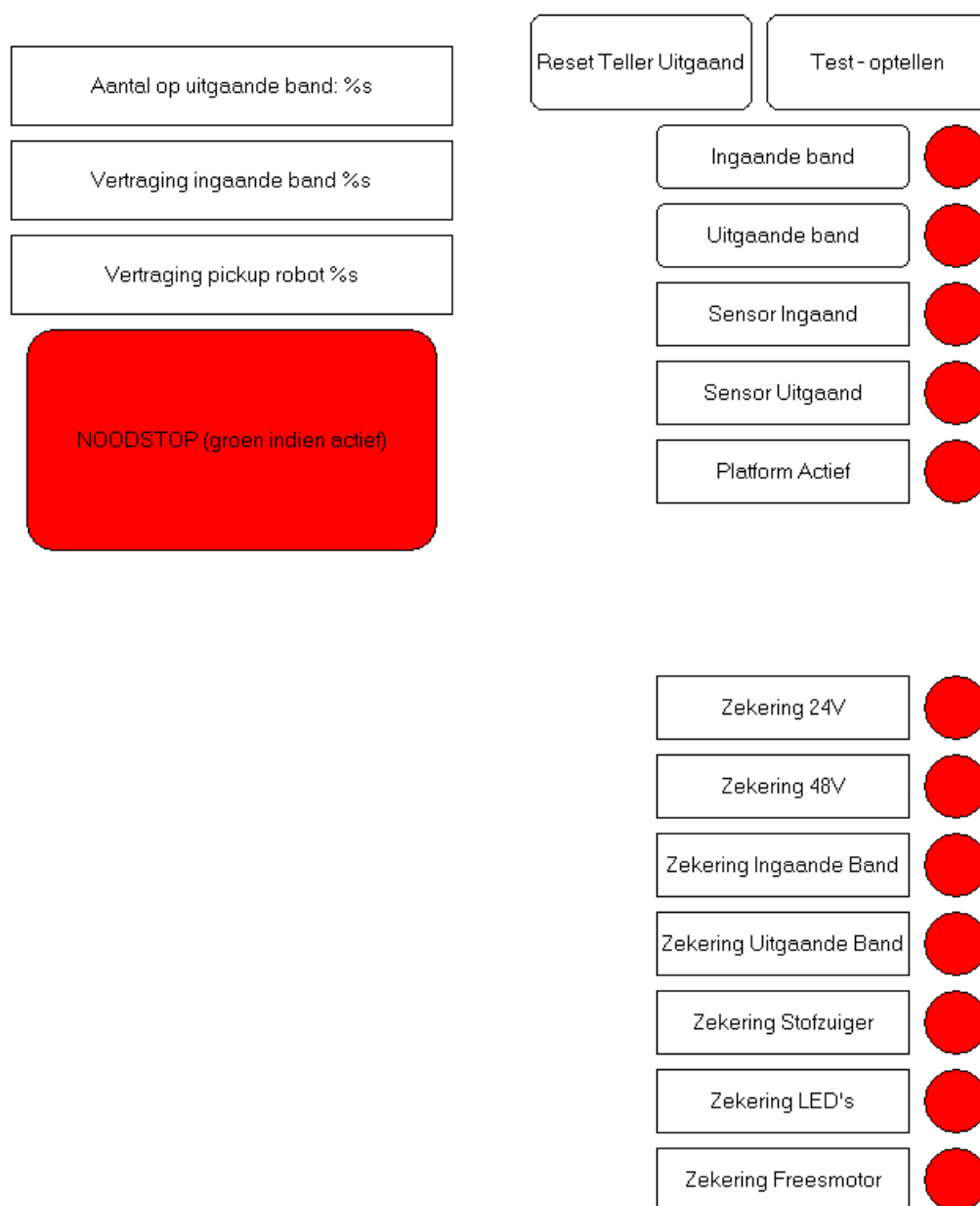
Er is ook een mogelijkheid voorzien om met subprogramma's te werken, onderaan is er te zien welk subprogramma momenteel zou worden opgeroepen. Dit hangt af van de huidige positie van de robot en welke onderdelen van de machine reeds in gebruik zijn.



Figuur 10: Robotsturing visualisatie

## 3.3.3. Bedieningspaneel: Sensoren

Uiterst rechts op onderstaande afbeelding (Figuur 11) zijn alle binnenkomende sensoren weergegeven. Hierdoor is het zeer eenvoudig om op te volgen of er problemen zijn met bepaalde onderdelen en kunnen deze snel verholpen worden. Via de schakelaar “Ingaande band” of “Uitgaande band” kunnen de respectievelijke lopende banden ook kortstondig manueel worden ingeschakeld, dit vooral voor testdoeleinden. Er kan ook een grotere of kleinere vertraging van de opname van de blokjes worden ingesteld door de “Vertraging ...” aan te passen.



Figuur 11: Sensoren Visualisatie

## 3.4. Softwareconfiguratie Robot

Via de teach-in procedure kunnen ook inputs worden ingelezen en outputs worden aangestuurd. Hieronder volgt een korte omschrijving van alle aanwezige in- en outputs, welk soort signaal er nodig of aanwezig is en hoe dit best kan aangestuurd worden. Om de CNC-machine veilig en efficiënt te kunnen laten samenwerken met de robot zijn er enkele uitbreidingen gebeurd van de in- en outputkanalen. Zodoende zijn er nu 12 inputs en 12 outputs verbonden tussen de PLC en robotsturing. Op onderstaande afbeelding (Figuur 12) is een lijst te zien van alle aanwezige in- en outputs en hun benodigde signalen.

INPUTS			OUTPUTS		
Nr	Functie	Type	Nr	Functie	Type
1	NOODSTOP	CONST	1	Deurslot	CONST
2	DeurNietVerg	CONST	2	MoveEnableOut	CONST
3	DeurInSlot	CONST	3		
4	MatNietBediend	CONST	4	BandUitgaand	PULSE
5	MoveEnableInputPLC	CONST	5	BandIngaand	CONST
6	Programmanr Geldig	CONST	6	Aandrijvingen Klaar	CONST
7	Aandrijvingen Inschakelen	PULSE	7	Platform Actief	CONST
8	Robotprogramma Start	PULSE	8	Programmanummer Aanvraag	PULSE
17	CNC Cyclus Klaar	CONST	9	Vacuumgripper ON	CONST
18	Opname Ingaande Band	CONST	10	Vacuumgripper OFF	CONST
19	Vrijgave CNC Machine	CONST	17	Vacuumtafel	CONST
20			18	Start CNC	PULSE
21	Programmanummer	CONST	19	Robot in CNC	CONST
22	Programmanummer	CONST	20	Robot niet in beweging	CONST
23	Programmanummer	CONST			
24	Programmanummer	CONST			

*Figuur 12: In/Outputs robotsturing*

## 4. Resultaten

In dit onderdeel van de paper wordt er besproken hoe elk onderdeel van de machine tot stand is gekomen. Er wordt ook kort geschetst hoe het PLC-programma is opgebouwd.

### 4.1. Duurzaamheid

Gedurende dit project is er op elk moment rekening gehouden met de duurzaamheid. Er wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van gerecycleerde onderdelen en machines. Slechts een klein aandeel van de onderdelen is nieuw aangekocht. Zo zijn de volledige behuizing van de CNC-machine, alsook de sledes, elektrische kast en onderdelen voor de tafel allemaal gerecupereerd.

Joanna Stanecka heeft op enkele onderdelen een duurzaamheidsanalyse uitgevoerd, waaruit bleek dat deze beter uit staal zouden gemaakt worden. Hierbij werd echter geen rekening gehouden met het feit dat deze onderdelen voor ons gratis beschikbaar waren in aluminium profielen, wat ertoe geleid heeft om deze toch uit aluminium te maken.

### 4.2. Tafel voor CNC-machine

Er werd beslist om de tafel uit ITEM-profielen te maken. Dit zijn aluminium profielen met langs 2 of 4 zijden een T-gleuf. Zodoende kan men er eenvoudig extra onderdelen aan bevestigen en de constructie uitbreiden of aanpassen. Deze beslissing is hoofdzakelijk gemaakt omwille van het feit dat deze profielen reeds aanwezig waren en hiervoor ook uitermate geschikt zijn. Het blijft namelijk een didactische opstelling die steeds in verandering is, dus dient er eenvoudig aan gewerkt te kunnen worden. Zelfs tijdens het project bleek dit zeer nuttig, vermits er nog enkele aanpassingen zijn doorgevoerd na het opbouwen.



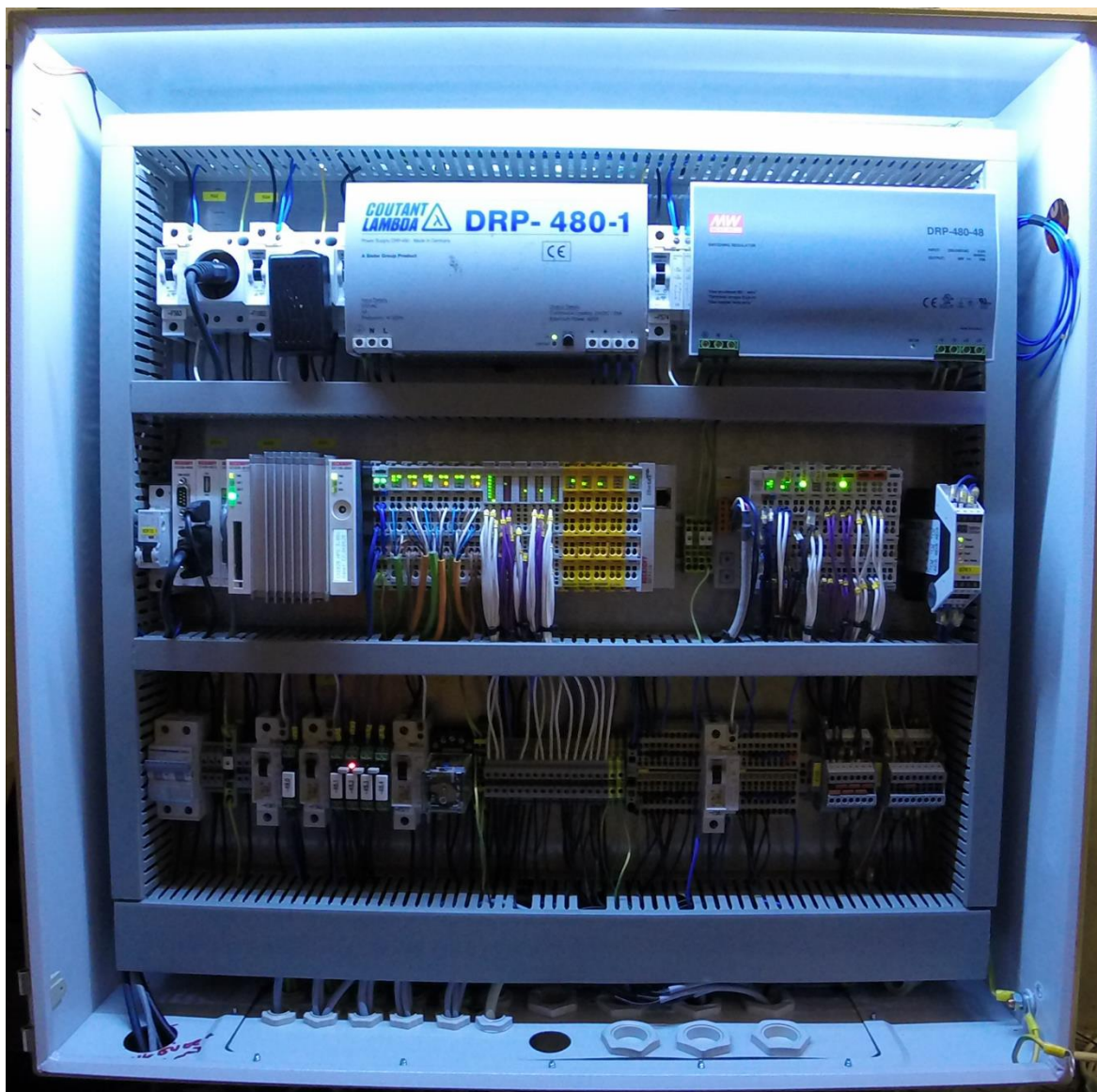
*Figuur 13: Tafel CNC Machine*

De grootste moeilijkheid bleek om deze tafel zo compact mogelijk te maken, maar er toch een grote elektrische kast en een stofzuiger aan te bevestigen. Uiteindelijk is er een extra kader gemaakt uit ITEM profielen dat rechtstreeks op de elektrische kast gemonteerd wordt. Daarna wordt dit met behulp van vier winkelprofielen aan de zijkant van de tafel gemonteerd. Als er dus op termijn een grotere elektrische kast dient voorzien te worden, kan de huidige eenvoudig gedemonteerd worden om plaats te maken voor de nieuwe.

#### 4.3. Elektrische kast

Onderstaande foto (Figuur 14) geeft de afgewerkte elektrische kast weer. Deze kast is gerecupereerd uit een productielijn en past perfect binnen dit project. Alle benodigde onderdelen passen er eenvoudig in, er zitten zelfs een paar extra relais in om het geheel "future-proof" te maken.

De plaatsing van de DIN-rails en kabelgoten is grotendeels onveranderd gebleven ten opzichte van de originele staat, enkel de rail met de PLC is verplaatst vanwege het afwijkende ontwerp van de PLC.



Figuur 14: Elektrische kast

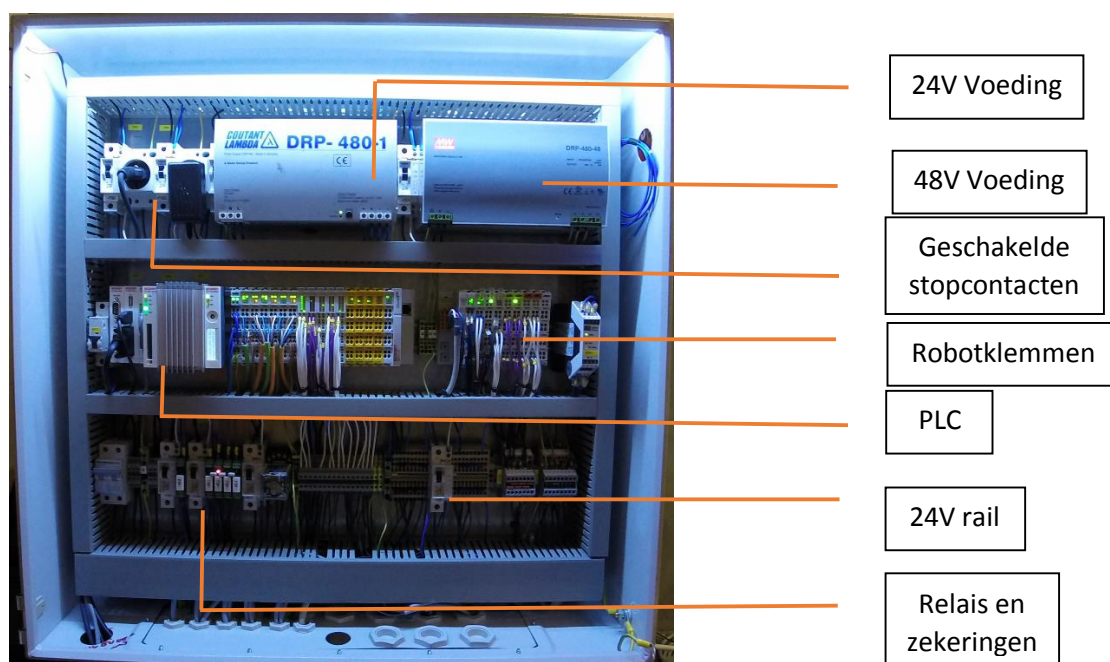
In de kast zitten helemaal bovenaan twee voedingsbronnen. Eén op 24V DC, de andere op 48V DC. De voeding van 24V wordt gebruikt om de PLC, relais, klemmen van de robot, schakelaars, sensoren, ... te voeden. Deze spanning is een zeer veelgebruikte spanning in de industrie, bijna alle PLC's en andere sturingen werken op 24V. De voeding van 48V wordt uitsluitend gebruikt om de stappenmotoren van de CNC-machine aan te sturen. Als deze op vol vermogen draaien hebben ze ongeveer 15A nodig, wat behoorlijk veel is. Daarom is ook besloten ze op een aparte voeding te plaatsen.

Verder zitten er nog twee geschakelde stopcontacten op de bovenste rail. Het ene dient om de freesmotor aan te sturen. De frees is een onderdeel dat, indien nodig, zeer eenvoudig kan vervangen worden. Dat is ook de reden waarom we met een stopcontact werken, zodat er bij enige problemen snel een nieuw toestel kan geplaatst worden zonder de draden te moeten blootleggen en dergelijke. Het andere stopcontact wordt gebruikt om de LED's in de kast te voeden. Deze hebben een tweevoudige functie; enerzijds worden ze gebruikt als werklucht, indien er reparaties of aanpassingen gebeuren in de kast is het enorm handig als er verlichting voorzien is. Anderzijds wordt de kast hiermee ook decoratief verlicht. De deur heeft een plexiglazen ruit, dus er kan ten allen tijde naar de inhoud gekeken worden. Dit is belangrijk, aangezien het een didactische opstelling is en er dus veilig moet naar kunnen gekeken worden. Zo hoeft de deur niet meer geopend te worden, wat het risico op elektrocutie natuurlijk aanzienlijk doet dalen.

De rail in het midden van de kast bevat alle "slimme" elektronica. Links bevindt zich de PLC, dewelke alles buiten de robot aanstuurt. Rechts zitten de klemmen die via ProfiBus verbonden zijn aan de robot. Deze worden gebruikt om de veiligheidssturing te voorzien en ook om de communicatie tussen robot en PLC mogelijk te maken.

De onderste rail bevat alle "domme" elektronica. De relais en dergelijke zijn hier gemonteerd. Ook zit hier helemaal links de binnenkomende lijn. Rechts is er een verdeelrail voor alle 24V circuits.

Zoals hierboven vermeld werd is de deur aangepast met een plexiglazen raam. Zodoende kan men eenvoudig in de kast kijken en volgen wat er zich daar allemaal afspeelt, zonder enig gevaar. De kast kan zo volledig gesloten blijven. Onderstaande foto verduidelijkt deze opbouw (Figuur 15)



Figuur 15: Verduidelijking elektrische kast



Om snel duidelijk te maken welke draad wat doet, hebben we een tweevoudig systeem toegepast om dit te verduidelijken. Enerzijds een kleurcodering afhankelijk van de spanning en anderzijds een nummering afhankelijk van de plaats van aansluiting. Verder is er ook bij de 24V circuits nog een onderscheid tussen “domme” draden die enkel stroom leveren en “slimme” draden die gebruikt worden om de in- en outputs van de PLC met alle onderdelen te verbinden.

Deze kleurcodering werkt als volgt:

- 230V AC (netspanning): alle zwarte draden. Deze zijn gemarkeerd met L, N en de desbetreffende bestemming.
- 48V DC: alle bruine draden
- 24V DC: alle blauwe, witte en paarse draden.
  - o Blauwe: “domme” draden om spanning te voorzien waar nodig
  - o Witte: “slimme” draden die de inputs van de PLC verbinden met hun sensoren
  - o Paarse: “slimme” draden die de outputs van de PLC verbinden met hun relais en dergelijke.

Indien er in de toekomst aanpassingen dienen te gebeuren is het dus behoorlijk eenvoudig om te zorgen dat de juiste draden worden veranderd, verwijderd of toegevoegd.

Als laatste zijn er op alle belangrijke punten nog zekeringen aangebracht:

- Eerst komt de hoofdleiding binnen op een C16 zekering, een tweepolige automaat. Als er dan iets misgaat zal niet het hele hoofdcircuit van het lokaal uitvallen.
- Per voeding is er ook een zekering voorzien, afhankelijk van de benodigde stroomsterkte.
- Verder is elk extern aangesloten toestel (freesmotor, LED's, stofzuiger, ...) ook via een zekering geschakeld.
- Als laatste zijn er nog beveiligingen op het 24V circuit, deze zorgen ervoor dat de PLC normaal altijd spanning blijft behouden. Zo kan ten allen tijde de veiligheid in de gaten worden gehouden.

Elk van deze zekeringen heeft een hulpcontact dat rechtstreeks in contact staat met de PLC. Zo krijgt deze de PLC onmiddellijk een signaal indien er een zekering uitschakelt.

#### 4.4. Stappenmotor Z-as

De dimensionering van de stappenmotor is grotendeels gebeurd aan de hand van de benodigde afmetingen en de keuze werd nog eenvoudiger gemaakt doordat we alle PLC-ervante onderdelen van één bepaalde leverancier wilden bestellen. Hierdoor is de kans op problemen door incompatibiliteit veel kleiner en binnen de hogeschool wordt reeds vooral met Beckhoff gewerkt, dus was dit een logische keuze.

Er is gekozen voor een stappenmotor met externe encoder, zodoende hebben we een dubbele (en dus meer nauwkeurige) positiebepaling en is er ook minder kans op ongelukken door defecten. Zodra één van de twee positiebepalingen ermee ophoudt stopt de motor met werken en wordt de machine automatisch stilgelegd. Dit is tevens verwerkt in het PLC-programma, van zodra er een foutmelding is wordt het systeem gecontroleerd tot stilstand gebracht.

De grote struikelblokken bij deze stappenmotor waren de relatief lange levertijd, maar vooral de afmetingen. Aangezien deze motor aanzienlijk groter was dan de andere twee reeds aanwezige stappenmotoren konden we niet dezelfde bevestiging of koppeling gebruiken. De bevestiging werd opgelost door vier afstandsbussen te maken uit een aluminium staaf. Deze zijn op maat gesneden en geboord in een draaibank, deels door studenten Ontwerp en Ontwikkeling en deels door mezelf. Hierdoor verkregen we de benodigde afstand maar vooral de benodigde ruimte voor de koppeling.



*Figuur 16: Stappenmotor Z-as*

De koppeling werd aangekocht bij een specifieke CNC-onderdelen leverancier (Damen CNC) en was dus reeds correct gedimensioneerd. Aangezien de motor een nominaal koppel van 5 Nm heeft [4] werd er gekozen om een koppeling met nominale overbrengen van 12.5 Nm te gebruiken. Zo is er een veiligheidsfactor van 2,5, wat zeker voldoet in deze opstelling. Er moest enkel in één koppelingshelft schroefdraad getapt worden om deze te kunnen bevestigen op de Z-as van de machine. Hier liepen we weer tegen een moeilijkheid aan, er was namelijk iets misgelopen bij het uitboren van deze koppeling, waardoor er een radiale slag op zat van 1.5 mm. Voor een precisietoestel is dit onaanvaardbaar, dus hebben we deze nogmaals besteld en schroefdraad getapt. Gelukkig heeft Damen CNC een zeer korte levertijd en konden we twee dagen later alweer aan de slag.

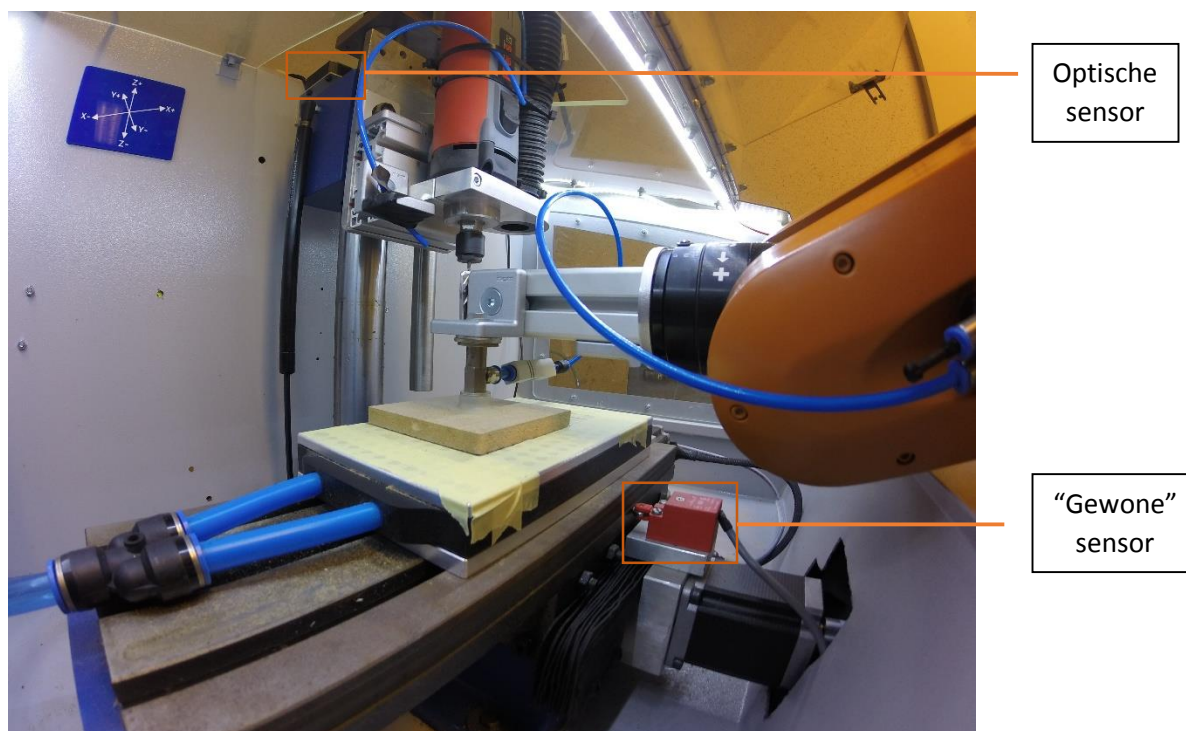
Eens de motor correct gemonteerd is, dient men te meten welke afstand er wordt afgelegd per rotatie van de as. Zodoende kan de as gekalibreerd worden, wat natuurlijk essentieel is bij precisiemachines.

#### 4.5. Eindschakelaars

Om een CNC-machine telkens dezelfde instellingen te kunnen laten behouden, ook na stroompannes en dergelijke, moet deze steeds op dezelfde manier gekalibreerd kunnen worden. Beckhoff voorziet gelukkig softwarematige eindschakelaars, die door de constructeur van de betreffende machine dienen te worden aangestuurd door een hardwarematige schakelaar. Zodoende zal steeds hetzelfde nulpunt gehanteerd worden bij de kalibratie. De overige instellingen (maximale snelheid, versnelling, afstand per rotatie, ...) worden opgeslagen in de controller op een geheugen dat zelfs zonder spanning zijn gegevens bewaart.

Normaal worden er als eindschakelaar steeds NC (normaal gesloten) schakelaars gebruikt om veiligheidsredenen. Zo voorkomt men dat bij bv. kabelbreuk de machine de eindpositie niet kan bepalen en er dus schade kan optreden. Bij deze machine zijn ook alle eindschakelaars van het type NC om het risico op beschadiging van de machine te beperken.

Deze eindschakelaars waren reeds voorzien op de behuizing van de machine, helaas was er één defect. Deze hebben we uiteindelijk vervangen door een optisch exemplaar, vermits we deze nog op voorraad hadden en een nieuwe eindloopschakelaar een behoorlijke investering is. Qua ruimte kwam het ook beter uit om met een optische sensor te werken.



*Figuur 17: Eindloopschakelaars*

Deze sensoren zijn fysiek bevestigd aan de machine en kunnen dus niet van plaats veranderen. Ze sturen een elektrisch signaal naar de PLC dat vervolgens door het programma wordt doorgestuurd naar de motorcontroller.

Eens deze schakelaars aangesloten en getest zijn kan er gekalibreerd worden. Dit is een belangrijke stap in het proces, aangezien we zo kunnen garanderen dat een bewerking die meermaals wordt uitgevoerd ook steeds binnen bepaalde toleranties zal vallen.

#### 4.6. Kalibratie machine

Als alle motoren en eindschakelaars aangesloten zijn kan de machine gekalibreerd worden. Dit is een behoorlijk eenvoudige handeling, maar wel uitermate belangrijk. De kalibratie gaat als volgt;

- Indien de as reeds tegen de eindeloopschakelaar staat zal deze zich een vooraf bepaalde afstand weg bewegen van de schakelaar. Als deze zich niet tegen de eindeloopschakelaar bevindt gaat het systeem automatisch verder met de volgende stap.
- Vervolgens gaat de as zich richting de schakelaar bewegen tegen een vooraf bepaalde snelheid. Deze dient steeds dezelfde te zijn om afwijkingen te voorkomen.
- Eens de as tot aan de eindschakelaar bewogen heeft, krijgt de PLC hiervan een signaal. Deze legt dan de motor stil en stelt het huidige punt in als nulpunt.

Nu is de machine softwarematig gekalibreerd, maar nog niet hardware matig. Met hardware matige kalibratie bedoelen we het vastleggen van de afgelegde afstand per rotatie, dit wordt meestal in mm/° of mm/stap uitgedrukt, aangezien een stappenmotor een vooraf bepaald aantal stappen per omwenteling (360°) uitvoert.

Om de machine hardware matig te kalibreren laten we deze zich eerst softwarematig kalibreren met behulp van de eindeloopschakelaars. Daarna hebben we een meetklok (bij voorkeur een digitale) en een meetstatief nodig. Deze installeren we zodat de meetklok in het verlengde van de te meten as ligt en de slede nét raakt.

Eens de meetklok bevestigd is, gaan we de CNC machine de opdracht geven om de op te meten as 10 mm te laten afleggen. We kunnen op de meetklok aflezen hoe groot de effectief afgelegde afstand is en hiermee de Scaling Factor (SF) herberekenen.

$SF = \text{afstand per omwenteling} / \text{aantal stappen} \times 4$

Deze herberekende waarde wordt ingegeven in System Manager, waarna de configuratie geactiveerd wordt en er weer opnieuw wordt begonnen. Zo controleren we of de herberekening correct verlopen is, maar zo kunnen we ook afrondingsfouten corrigeren. Indien de gemeten waarden overeen komen met de ingegeven waarden (binnen tolerantie) is de kalibratie bijna voltooid. Nu moet deze meting nogmaals worden uitgevoerd, maar dan wanneer de as in de andere richting beweegt. Zo kan de speling op de as worden gemeten.

In het geval van onze CNC-machine zijn de toleranties zéér goed:

Afwijkingen op een afgelegde afstand van 10 mm:

X-as: 0.016 mm  
Y-as: 0.002 mm  
Z-as: 0.0012 mm

Speling op de as:

Bij alle assen minder dan 0.001 mm

Zeker gezien de toepassing van deze machine zijn deze toleranties uitstekend. Het zal moeilijk zijn om deze nog kleiner te maken, aangezien door afrondingsfouten in de software het helaas niet mogelijk is om nog nauwkeuriger te gaan kalibreren.

De overige specificaties zijn als volgt:

Maximale werkbereik:

- X-richting : 120 mm
- Y-richting: 100mm
- Z-richting: 91mm

Deze maxima zijn softwarematig vastgelegd in de stappenmotordrivers, zo kunnen deze waardes (na kallibratie) nooit overschreden worden. Van zodra de assen opgestart worden zullen deze zich automatisch kalibreren, waardoor er dus enkel mits zeer bewuste aanpassingen een overschrijding van de maxima kan gebeuren. Sowieso is het niet de bedoeling dat deze worden aangepast in de huidige opstelling.

Maximale snelheden:

- X-richting : 9.5 mm/s
- Y-richting: 9.5 mm/s
- Z-richting: 6 mm/s

Ook deze maxima liggen vast in de drivers en dienen niet veranderd te worden. Al deze snelheden kunnen door de stappenmotoren op 0.2 seconden behaald worden, wat ervoor zorgt dat de machine behoorlijk snel reageert.

#### 4.7. Pneumatische onderdelen

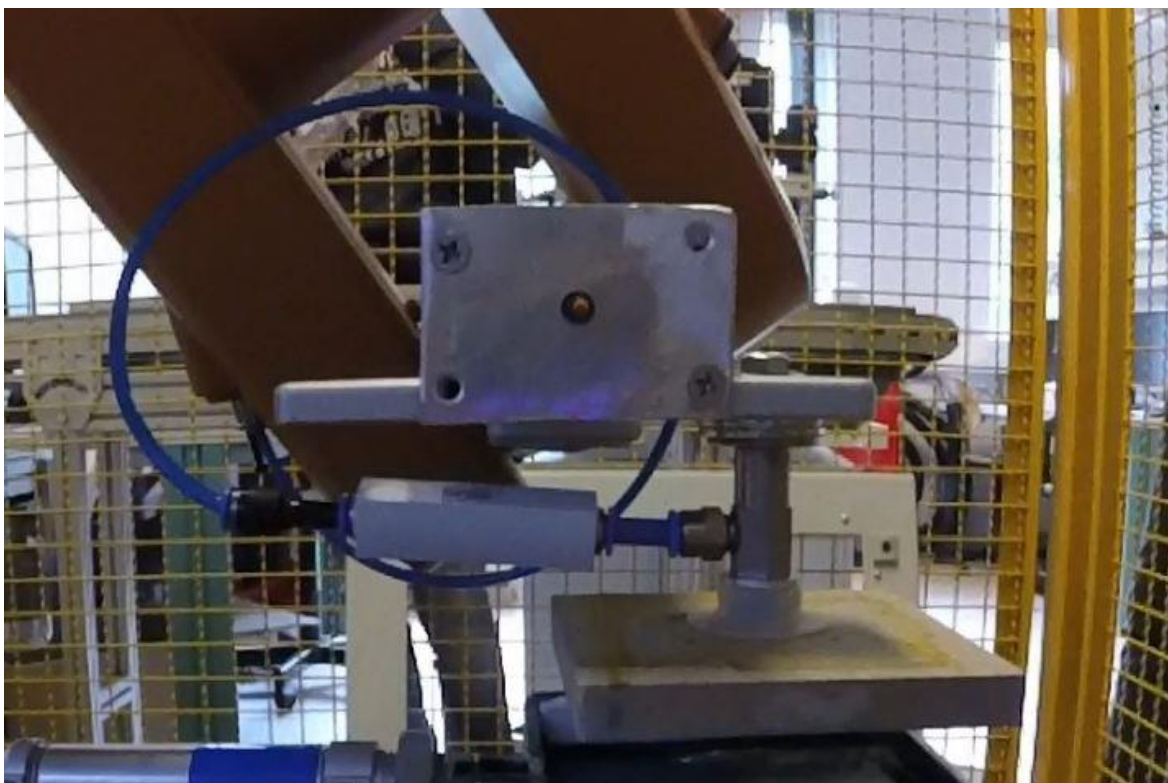
Aangezien in de industrie nog steeds heel veel gebeurt met behulp van perslucht en dit ook een zeer universeel toepasbare technologie is, is een groot deel van de robotcel uitgevoerd met pneumatische onderdelen. Zo is er een vacuümgreijper voorzien aan de robot, een vacuümtafel in de CNC-machine, verschillende pneumatische cilinders, ...

In dit onderdeel gaan we deze stuk voor stuk bekijken.

##### 4.6.1. Robotgreijper

De reeds aanwezige greijper is om twee redenen niet meer bruikbaar door de toevoeging van de CNC-machine, hij is enerzijds te groot om te kunnen manoeuvreren en anderzijds is het omslachtig om van de greijper naar de stift te wisselen. Het belangrijkste aan de nieuwe greijper is dat hij multifunctioneel is, een simpel ontwerp heeft en eenvoudig te onderhouden is.

Eerst werd er gedacht aan een tweepunts pneumatische greijper, maar alle beschikbare modellen waren te groot om in de CNC machine te passen. Er zou dus zelf een greijper moeten ontwikkeld worden. Na alle beschikbare materialen naast elkaar te leggen, is er besloten om een greijper te maken uit een klein ITEM-profiel. Hierin is een gat geboord dat net groot genoeg is om een stift te bevatten, waarachter een veer zit. Zodoende zal de stiftpunt niet meer worden ingedrukt zoals bij de vorige versie wel het geval was. De stift zelf is ook eenvoudig te vervangen door het losdraaien van twee schroeven.



*Figuur 18: Stifthouder*

Verder moest er ofwel een tweepuntsgrijper ofwel een vacuüm-grijper voorzien worden. Er werd voor de vacuüm-grijper gekozen om meerdere redenen. Een vacuüm-grijper is eenvoudig en goedkoop te vervangen bij defecten, en is ook minder gevoelig aan misbruik, wat natuurlijk altijd een vereiste is indien iets gebruikt wordt als didactische opstelling. Deze vacuüm-grijper wordt rechtstreeks door de robot aangestuurd, de PLC staat hier volledig buiten.



*Figuur 19: Vacuüm-grijper*

Zoals op de foto's duidelijk te zien is, is er aan de andere kant van de gripper nog plaats om een uitbreiding te monteren.



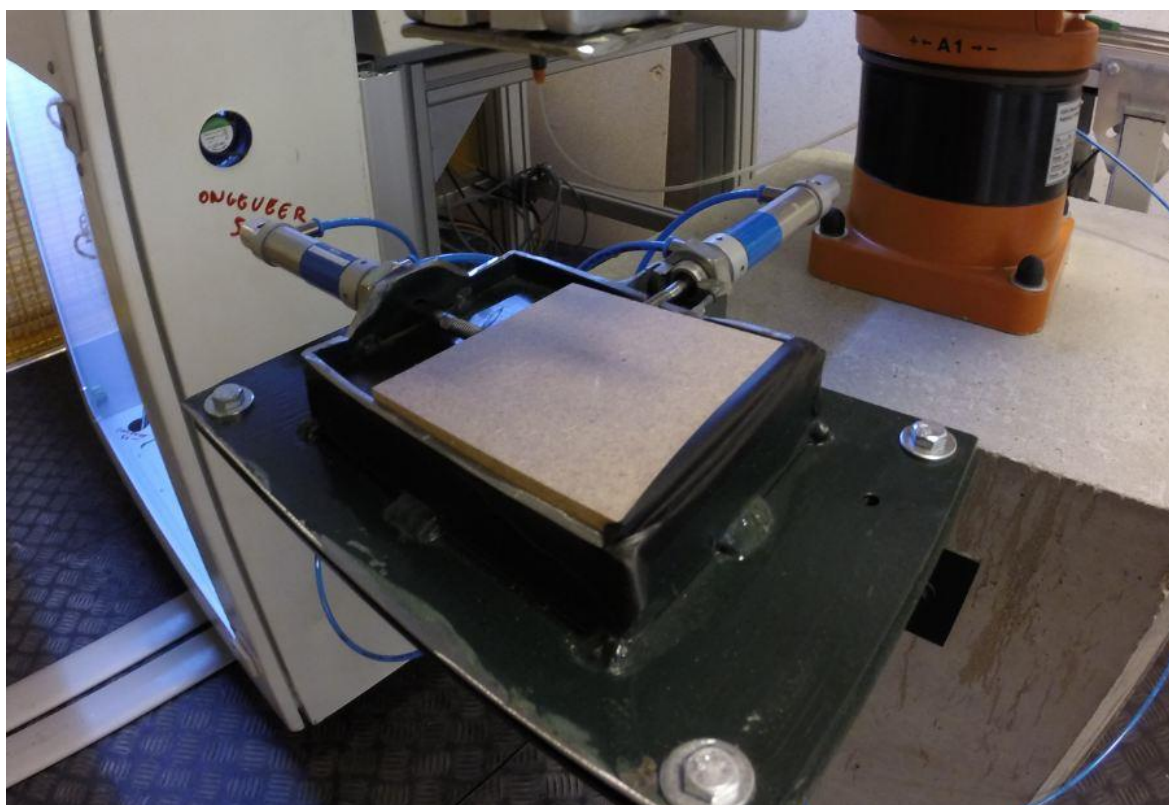
#### 4.6.2. Blokjesklem

De blokjesklem heb ik vorig jaar reeds ontworpen als extra opdracht bij het vak Robotica. Deze wordt hier opnieuw opgenomen aangezien er een kleine aanpassing aan gebeurd is en ook nog steeds een belangrijke rol speelt.

Bij het ontwerp van deze klem draaide het weer om dezelfde dingen; eenvoud en duurzaamheid. Er werden alleen gerecycleerde onderdelen gebruikt die nog volop voorradig zijn in de hogeschool, bij defect kan dit dus snel verholpen worden.

Uiteindelijk is het een relatief simpel plaatstalen kader, gemonteerd op twee stalen balken die aan de voet van de robot hangen. In dit kader zitten twee pneumatische cilinders die door de PLC gestuurd worden.

Het principe is dat de robot een blokje opneemt op de lopende band en vervolgens in de klem plaatst. Zo wordt het blokje altijd op exact dezelfde plaats gelegd, wat de nauwkeurigheid verhoogt bij invoer in de CNC machine. Eens het blokje geklemd is, wordt de grijper van de robot gedraaid om de stift te kunnen gebruiken. Met deze stift kan er naar hartenlust getekend worden op het blokje, met minimale kans op beschadiging van de stift dankzij de verende ophanging. Eens er een tekening gemaakt is, wordt de grijper nogmaals gedraaid om de vacuüm-grijper boven het blokje te plaatsen. De robot neemt het blokje op en verplaatst het dan naar de CNC machine.

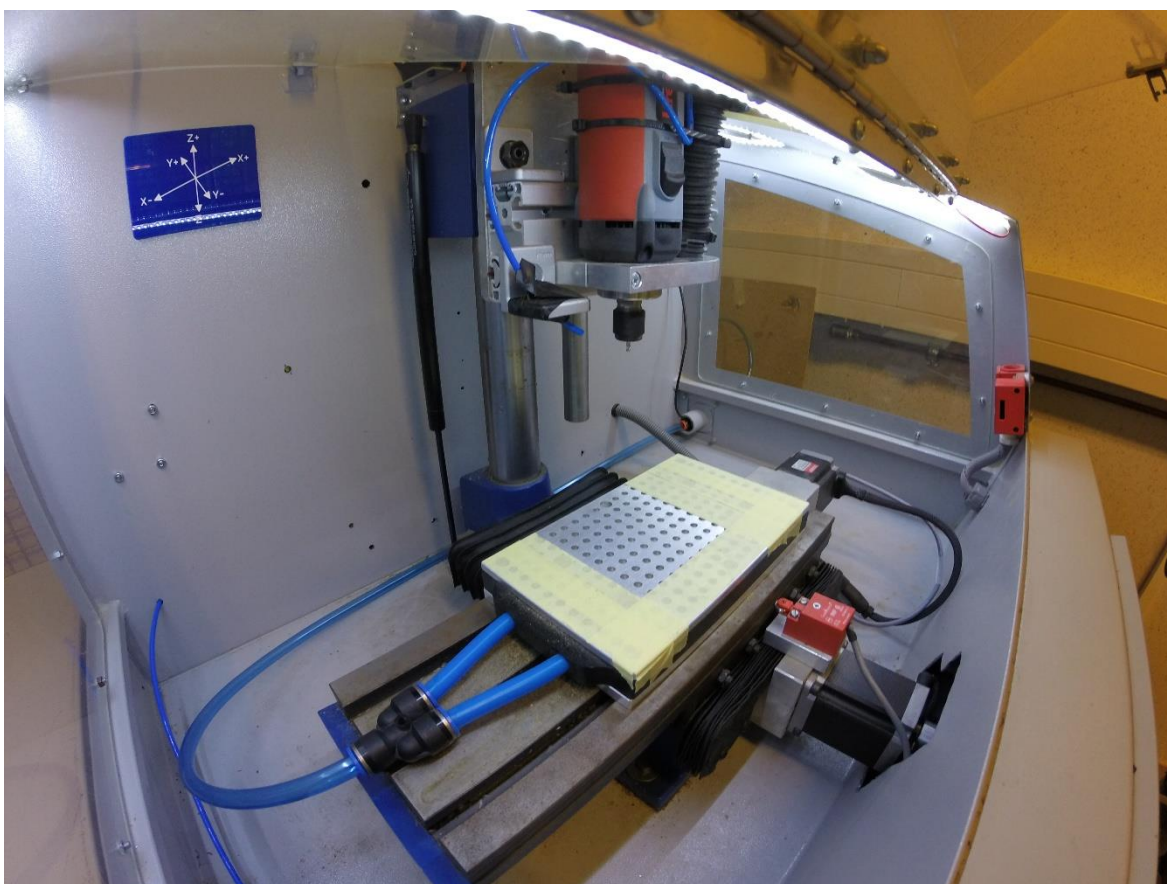


*Figuur 20: Blokjesklem*

#### 4.6.3. Vacuümtafel

Eens het blokje in de CNC-machine gebracht wordt, kan het “geklemd” worden op een vacuümtafel. Deze is bevestigd op de sledes. Het voordeel van een vacuümtafel is dat deze zeer universeel is, alle vlakke voorwerpen die er op passen kunnen er zeer snel en eenvoudig op geklemd worden. Het enige nadeel is dat de niet gebruikte gaatjes wel afgedekt moeten worden, anders is de kracht van het vacuüm in de overige gaatjes niet meer sterk genoeg om het blokje op zijn plaats te houden tijdens het frezen.

Op onderstaande foto (Figuur 21) zijn duidelijk de gaatjes te zien waarmee het blokje wordt vastgezogen. Deze vacuümtafel staat rechtstreeks in verbinding met een vacuümgenerator, die volgens het principe van een Venturi-ventiel werkt (zie literatuurstudie).

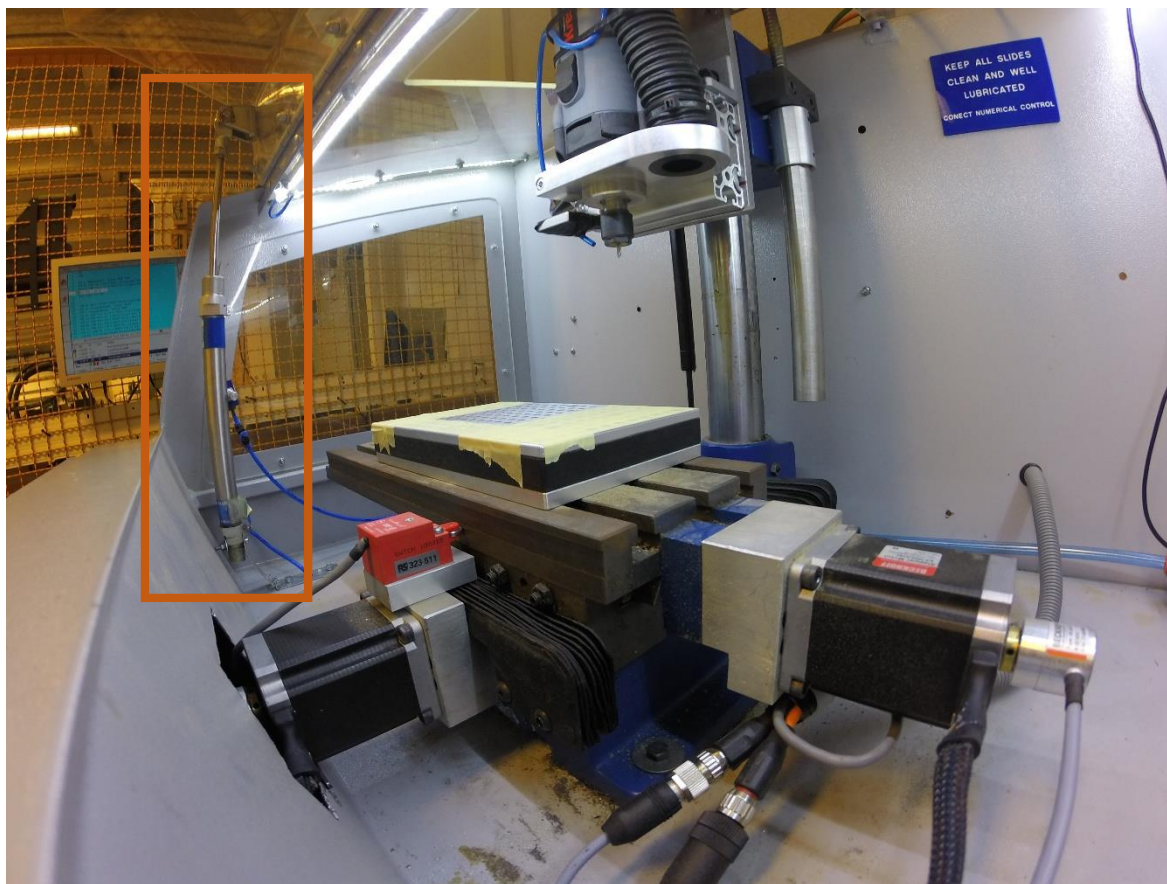


*Figuur 21: Vacuümtafel*

Er werd geopteerd voor een vacuümtafel omdat deze universeel inzetbaar is, een geringe inbouwhoogte heeft en geen bewegende onderdelen. Indien we het blokje zouden klemmen met pneumatische cilinders had hiervoor een volledig klemsysteem gebouwd moeten worden, waarvoor eigenlijk amper plaats is in de machine.

#### 4.6.4. Pneumatische cilinder deur CNC-machine

Eens het blokje op de vacuumentafel ligt beweegt de robot zich uit de CNC-machine. Vervolgens dient de deur te sluiten, dit wordt gedaan met behulp van een dubbelwerkende pneumatische cilinder. Er zijn tevens twee eindelooppcontacten aangebracht, zodat er steeds met 100% zekerheid kan gezegd worden in welke toestand de deur zich bevindt.



*Figuur 22: Deurcilinder*

Deze cilinder is rechtstreeks aan de plexiglazen deur bevestigd enerzijds en anderzijds via een scharnier aan de basis van de CNC-machine. Zodoende kan deze vrij bewegen, anders loopt men het risico dat de deur volledig scheefgeduwd wordt en dus vervormt.

Een struikelblok bij deze cilinder was het feit dat de deur eigenlijk te ver openging. Daardoor had de cilinder enorm veel moeite om de deur vlot te sluiten, zonder dicht te slaan. Hiervoor werd er een mechanische stop gemonteerd, zodoende kan de deur niet meer te ver opengaan. Zo was er ineens ook plaats om het eindelooppcontact te monteren.

#### 4.6.5. Stofzuiger

Bij verspanende bewerkingen, zoals frezen, komen er altijd stofdeeltjes en/of spanen vrij tijdens de bewerking. Om te voorkomen dat de machine regelmatig moet stilgelegd worden om een reiniging te kunnen ondergaan, wordt er steeds een stofafzuiging voorzien. In dit geval is er een wandgemonteerde stofzuiger aangekocht en aan de tafel bevestigd. Deze hangt rechtstreeks aan de frees, dus is normaal uitermate geschikt om aan stofbeperking te doen. Hij wordt ook via de PLC gestuurd, dus start automatisch voor het frezen kan beginnen.

Helaas werd bij het testen duidelijk dat indien de freesrichting in de richting van de stofafzuigmond viel, er nog stof achterbleef in de gefreesde patronen. Hier hebben we alweer eenzelfde benadering toegepast; eenvoudig. Aan de andere kant van de frees werd er een klein luchtbuisje bevestigd. Dit blaast recht op de freeskop en in de richting van de stofafzuiging. Zodoende wordt het resterende vuil weggeblazen en direct opgezogen.

Hierna is het testen hervat en was het probleem volledig verholpen. Zo worden ineens twee problemen opgelost, zowel de stofbeperking alsook de koeling van de frees zelf.

Indien de robotcel niet in werking is, kan de stofzuiger ook zeer eenvoudig worden losgekoppeld, om andere schoonmaaktaken te kunnen vervullen. Zo is het in de toekomst eenvoudiger om onderhoud uit te voeren en ook bij aanpassingen is dit handig.

#### 4.8. Freesmotor

Er kan natuurlijk niet gefreesd worden zonder motor. Initieel was het plan om een reeds aanwezige motor met bijbehorende snelspanner te gebruiken, maar dit bleek niet haalbaar te zijn. Deze motor werkt op 130V DC, wat een zeer uitzonderlijke spanning is. Een voeding hiervoor zou al snel €800 of meer kosten, wat dus niet rendabel is, vermits een nieuwe freesmotor voor ongeveer €200 kan gekocht worden. Maar alvorens deze te liquideren werd besloten hem te testen op een beschikbare voeding, van 48V DC. Hiermee werden acceptabele resultaten geboekt.

Vervolgens dienden we de snelspanner nog aan te kopen, de originele zat niet meer bij het toestel. Na onderzoek bleek deze ook behoorlijk duur te zijn, minimaal €400, dus werd besloten om het hele systeem te vervangen.

Na navraag te doen bij verschillende leveranciers, is de Kress freesmotor eruitgekomen als overwinnaar. Het is een zeer compact, robuust, gebruiksvriendelijk en relatief goedkoop toestel. De snelheidssturing is ook elektronisch, dus kan men zeker zijn van een constante snelheid. Qua bevestiging heeft deze ook een standaardmaat (43 mm), dus indien deze ooit vervangen moet worden kan de steun waarschijnlijk zelfs behouden blijven.



*Figuur 23: Freesmotor*

Deze freesmotor dient natuurlijk ook bevestigd te worden. Hiervoor was gelukkig ook een adapter beschikbaar, met bijbehorende stofafzuigadapter. Het enige nadeel hieraan is dat de oude frees veel verder uitstak, en dus recht boven de sledes uitkwam. Het nieuwe model zou hier niet geraken.

Opnieuw werd hier een eenvoudige en duurzame oplossing op gevonden, een stuk aluminium plaat en een ITEM-profiel met twee L-steunen later stond de frees wel op de juiste plek. Gezien het probleem van de stofafzuiging was het opportuun om hier ineens een luchtslang aan te hangen om het stof weg te blazen. Zo moest er niet in de originele steun geboord worden.

#### 4.9. PLC-Programma

Om al deze onderdelen vlot te laten samenwerken, dienen ze natuurlijk gecontroleerd en aangestuurd te worden door een PLC (of andere centrale sturing). Hier werd opnieuw gekozen voor Beckhoff, aangezien alle overige onderdelen reeds bij hun aangekocht waren en er binnen PXL vooral met Beckhoff gewerkt wordt.

Aangezien de PLC ook de CNC-machine aanstuurt, moet het een model zijn dat hier enerzijds krachtig genoeg voor is en anderzijds ook de nodige licenties heeft om dit te mogen doen. Er werd daarom geopteerd om een CX-1020 te gebruiken.

Het was de eerste keer dat er een drie-assige CNC opstelling gemaakt werd binnen hogeschool PXL, dus werd er bij het instellen hulp ingeroepen van de dienst na verkoop van Beckhoff Automation. Deze hebben een beknopte handleiding [5] doorgestuurd aan de hand waarvan de configuratie tot een goed einde is gebracht.

Verder beheert dit programma ook de veiligheidsaspecten van de CNC-machine, worden de in- en uitgaande transportbanden aangestuurd, alle pneumatische onderdelen en alle sensoren zijn hier ook in verwerkt.

Aan de PLC hangt een toegewijd scherm, toetsenbord en muis. Hiermee kunnen bepaalde instellingen gewijzigd worden en kan het NC-programma ingeladen en gestart worden. Verder worden hier alle sensoren op weergegeven, zodat er altijd een visuele controle is of alle stappen van het proces goed doorlopen worden. Eventuele foutmeldingen worden ook op dit scherm weergegeven.

Een groot struikelblok is wel dat de effectieve programmatie van het CNC-toestel (via G-codes) rechtstreeks op de PLC dient te gebeuren, dat wil zeggen via de System Manager. Het gevaar hierbij is dat de gebruiker een fout maakt en de hele configuratie in de war stuurt. Er zal dus steeds een lector aanwezig moeten zijn indien er aanpassingen gebeuren, alsook een beveiliging op de PLC en een back-up van alle nodige programma's.

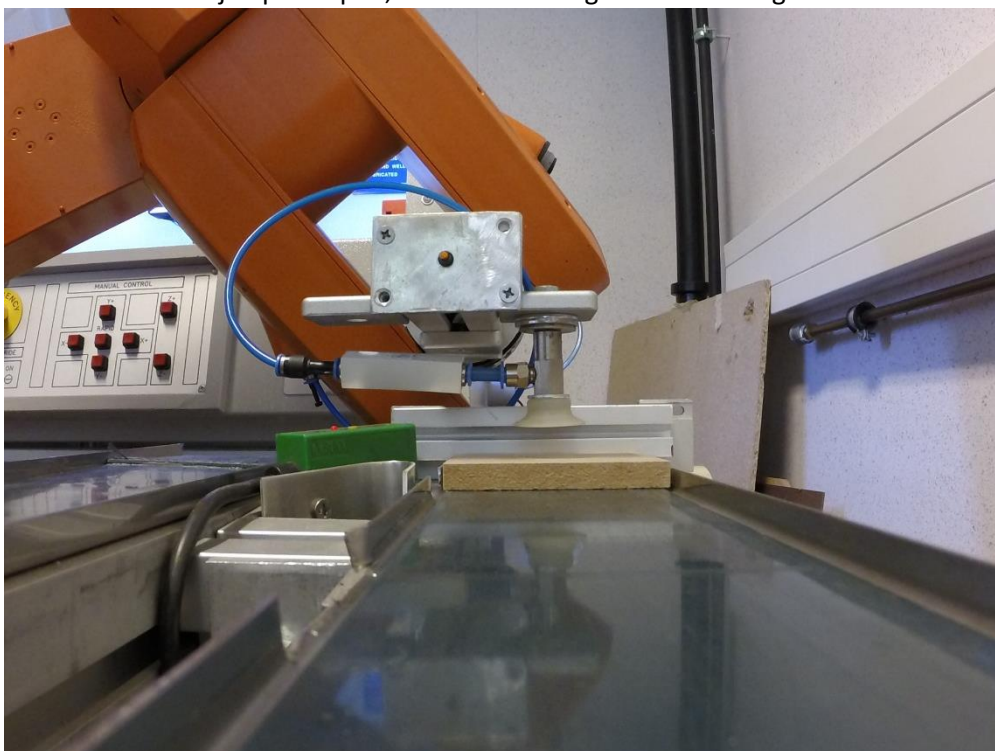
De volledige programmatie bevindt zich in de bijlage.

#### 4.10. Robot-programma

De programmatie van de robot gebeurt volledig door een “teach-in” procedure. Dit wil zeggen dat de programmeur handmatig de robot naar een bepaalde positie brengt, deze opslaat met een bepaalde bewegingsparameter en naar de volgende positie brengt om het proces opnieuw te beginnen. Via deze programmatie kunnen ook de outputs van de robot gestuurd worden. Met deze outputs worden onder meer signalen gegeven aan de PLC om aan te geven in welke positie deze zich bevindt en wat deze van plan is. Er komen ook inputs binnen vanuit de PLC, om zeker te zijn dat bv. de deur van de CNC-machine volledig geopend is alvorens deze te betreden.

Hier schuilt ook weer het gevaar dat in de toekomst geen rekening gehouden wordt met de veiligheidsinputs vanuit de PLC en er zo beschadigingen kunnen optreden. Om dit te voorkomen dient het programma steeds door de lector gecontroleerd te worden alvorens het systeem in automatische stand geplaatst wordt, maar dat is nu ook reeds het geval.

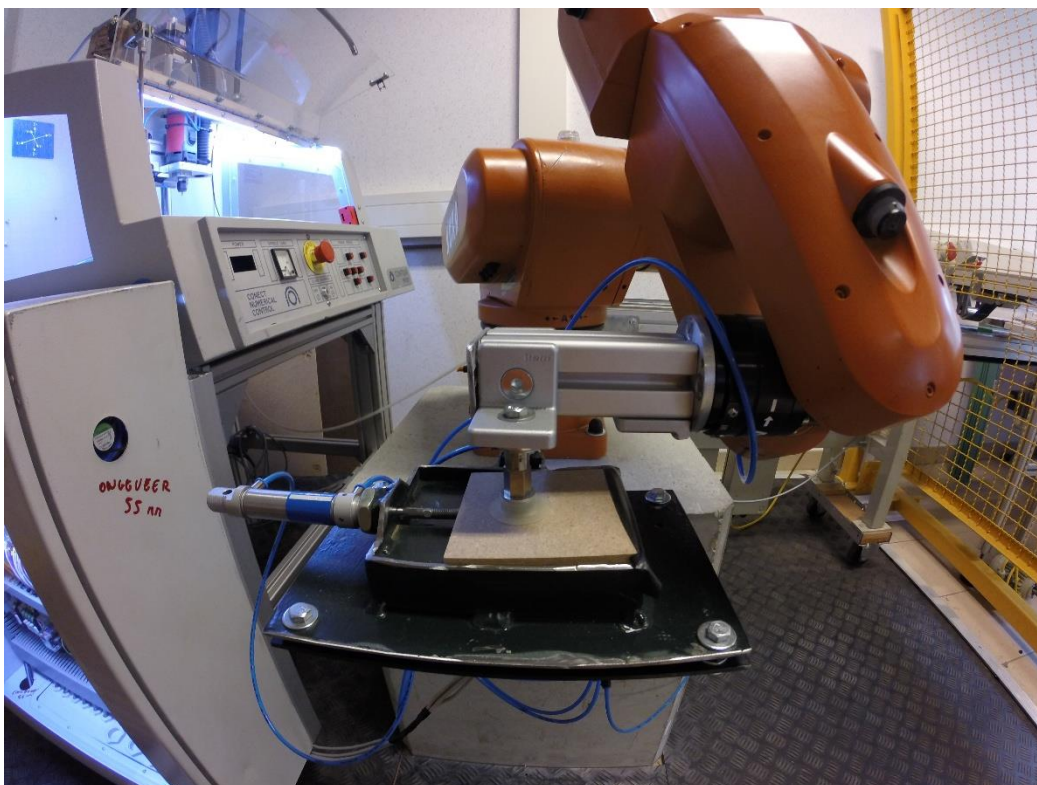
Het voorbeeldprogramma dat standaard in de robot zit zal klaarstaan aan de ingaande lopende band om een blokje op te rapen, zodra de PLC zegt dat dit klaarligt.



*Figuur 24: Opname blokje*

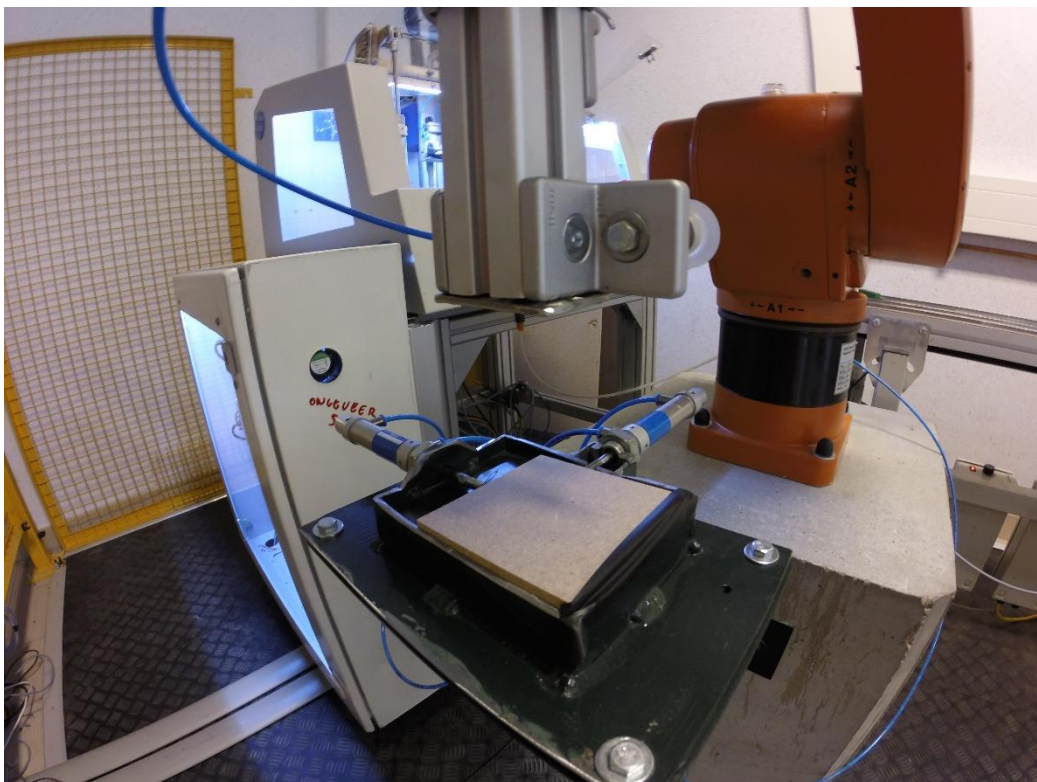


Vervolgens brengt de robot het blokje naar de klem



*Figuur 25: Blokjesklem*

In de klem wordt er op het blokje getekend



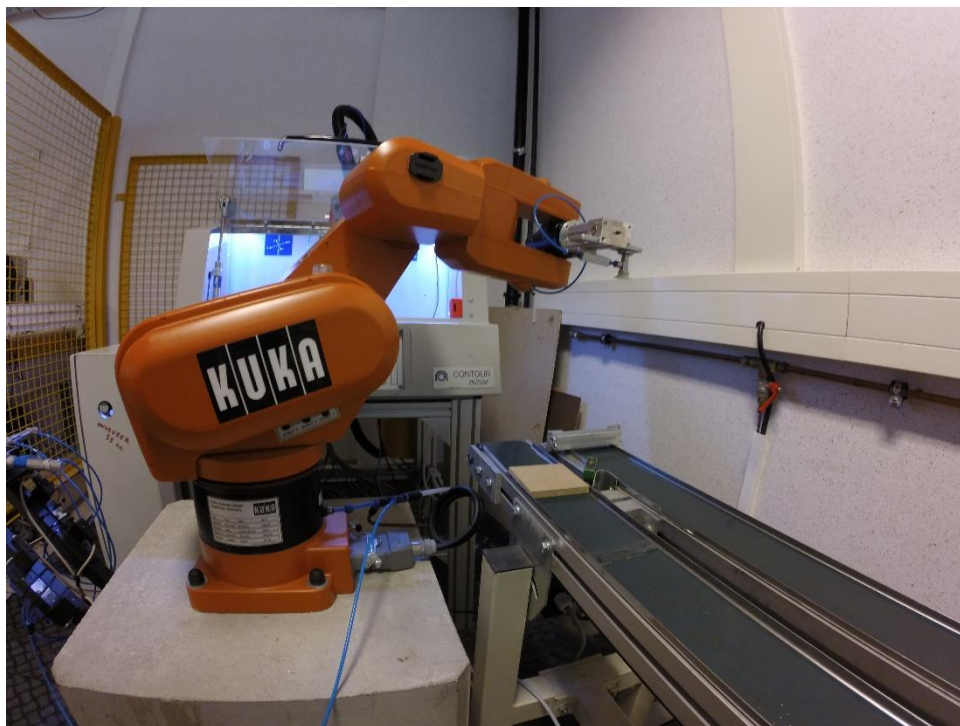
*Figuur 26: Schrijven op blokje*

Waarna het blokje wordt opgenomen en in de CNC-machine geplaatst.



*Figuur 27: Aanvoer CNC-machine*

Eens de robot op veilige afstand is, sluit de CNC-machine en begint deze aan zijn cyclus. Na afronding pikt de robot het blokje op en plaatst dit op de uitgaande band.



*Figuur 28: Plaatsing uitgaande band*

Als laatste beweegt de robot zich terug naar zijn beginstand. Zo kan er in principe eendeloos worden doorgewerkt zonder ingrijpen van buitenaf.

## 5. Conclusie

Bij de start van dit project was een volledig functionele CNC-machine vooropgesteld. Ondanks enkele tegenslagen en moeilijke situaties is dit, vooral dankzij een pragmatische aanpak van elk onderdeel, gelukt.

De tafel is zonder tegenslagen verwezenlijkt, wat niet kan gezegd worden van de elektrische kast. Door de grote omvang werd de montage hiervan bemoeilijkt, maar uiteindelijk is alles bevestigd geraakt. Alle onderdelen van de CNC-machine waren, op de stappenmotor na, zeer goed op tijd geleverd en dus gemonteerd. Na een paar moeilijke weken van bouwen, testen en programmeren was er eindelijk leven te bespeuren in de machine die al jaren stilstond.

Eens de eerste programma's geschreven en getest waren konden deze geoptimaliseerd worden. Momenteel is het mogelijk om met één druk op de knop de machine te kalibreren en in "stand-by" te zetten. Van zodra de robot het signaal geeft dat er dan een blokje klaarligt, wordt een patroon naar keuze gestart in de CNC-machine en succesvol afgewerkt. Toekomstige studenten kunnen hier nu een volautomatisch productieproces nabootsen op kleine schaal, zodat duidelijk is wat er allemaal bij komt kijken.

Naar de toekomst toe is het misschien een goed idee om aan de andere zijde van de robotgrijper nog een tweepuntsgrijper te voorzien, zo wordt de robot nog veelzijdiger. Een andere mogelijke aanpassing is het groter maken van de behuizing van de CNC-machine, zo kan het volledige bereik van de sledes gebruikt worden.

## vi. Bibliografie

- [1] „FlightLearnings.com,” [Online]. Available: <http://www.flight-mechanic.com/wp-content/uploads/2013/04/3-46.gif>. [Geopend 14 05 2015].
- [2] S. M. Blinder, „Wolfram,” [Online]. Available: <http://demonstrations.wolfram.com/TheVenturiEffect/>. [Geopend 14 05 2015].
- [3] „Festo,” [Online]. Available: [https://www.festo.com/w/rep/images/5/51/Venturid%C3%BCse\\_de.png](https://www.festo.com/w/rep/images/5/51/Venturid%C3%BCse_de.png). [Geopend 14 05 2015].
- [4] B. Automation, „Beckhoff AS10x0: Product Description,” Beckoff Automation - Infosystem.
- [5] B. Automation.

vii. Bijlage

Bijlage 1: [PLC Programma]