



JANSEN
TECHNIEK

TRANSPORTSYSTEMEN
PRODUCT HANDLING
PROCESTECHNIEK

PLC-
bestuurde
robotcel

15 december

2016

Henry van den Top
12047058
Mechatronica – 4^e jaar
Afstudeer stage - 2016

DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Voorwoord

Voor u ligt het rapport van mijn afstudeerstage. Het is het resultaat van zeventien weken informatie opdoen, toepassen en tegen dingen aanlopen.

Ik zal mijzelf even kort voorstellen. Mijn naam is Henry van den Top, ik ben 24 jaar en studeer Mechatronica aan de Haagse Hogeschool in Delft. Naast het standaard curriculum heb ik het internationale project IMEP gedaan, alsmede twee minoren in robotics en vision. Ook een bedrijfsproject bij Moog was onderdeel van mijn opleiding. Dit heeft mij een veelzijdig basis gegeven voor deze afstudeerstage en ook voor straks op de arbeidsmarkt.

Dit verslag is vooral geschreven om mijn afstudeerstage te verantwoorden richting de Haagse Hogeschool. Ik heb geprobeerd het zo te schrijven dat het gelezen kan worden door mensen met een basiskennis in de mechatronica. Sommige begrippen kunnen namelijk verwarrend zijn als men er nog nooit eerder van gehoord heeft. Maar laat u daardoor vooral niet tegenhouden om dit verslag uitgebreid te lezen.

Graag wil ik Jansen Techniek BV bedanken voor de mogelijkheid om af te studeren. In het bijzonder wil ik Marco Kamphuis, Nico Broekhuis en de jongens van Engineering bedanken voor de hulp en begeleiding die ze mij gegeven hebben. Zonder hen was ik niet zo ver gekomen als ik nu ben.

Verder wil ik Laurent Mattheys, Christophe Currivand en Jan Buit van Stäubli bedanken voor het in bruikleen geven van de testrobot en voor de zeer goede technische assistentie.

Ook wil ik dhr. Koreneef bedanken voor de feedback en begeleiding vanuit de Haagse Hogeschool.

Samenvatting

In dit verslag kunt u lezen hoe het ontwerp en de realisatie van een door een PLC bestuurd robotcel gegaan is. Het verslag begint met de inleiding, waar de lezer in grote lijnen meegenomen wordt door het verslag. Deze samenvatting zal er wat dieper op ingaan.

In de probleemstelling wordt de opdracht behandeld. Deze opdracht is de volgende:

“Jansen Techniek ziet graag een robot gerealiseerd die kratten of dozen kan beladen”.

Deze robot moet door een PLC bestuurd worden, omdat men bij Jansen geen mensen heeft die uitgebreide ervaring met robotica hebben. De koppeling van de PLC met de robotarm werd zo mijn taak. De probleemstelling en het pakket van eisen zijn samengesteld in overleg met de opdrachtgever, Jansen Techniek BV, en de klant. De eisen worden vervolgens uitgewerkt, waaruit zes concepten komen. Deze concepten worden één voor één behandeld en concept 6 wordt uitgekozen. Dit concept is gekozen omdat het de laagste cyclustijden oplevert. Dit is belangrijk omdat het niet gewenst is dat de robotcel de bottleneck in het proces is. Een productieproces is namelijk zo snel als de langzaamste schakel.

Nu het concept bekend is wordt dit ingevuld. Er wordt een robotarm gekozen, de TX90 HE van Stäubli. Deze robotarm is relatief snel, kan het benodigde gewicht tillen en is bovendien bestand tegen de omgeving waar de robotcel komt te staan, namelijk de natte voedselverwerking.

Na de keuze voor een robotarm wordt kort de koppeling van deze arm met de PLC behandeld, met daarachteraan in grote lijnen de besturing van de complete robotcel en de HMI. Tevens komt de simulatie van de robotcel ter sprake.

Vervolgens is het mechanische gedeelte aan de beurt. Het ontwerp van het frame komt grondig aan bod, met simulaties en daaruit voortvloeiende keuzes. Uiteindelijk wordt er een gefundeerde keuze gemaakt voor een stevig frame.

De machineveiligheid wordt uitgebreid behandeld in het daaropvolgende hoofdstuk. Omdat de robot zonder veiligheidsmaatregelen een gevaarlijk apparaat is dienen er veiligheidsmaatregelen in de robotcel opgenomen te worden. Relevante risico's uit de machinerichtlijn worden besproken en waar nodig ondervangen. Ook wordt een Performance Level bepaald en toegepast.

De uiteindelijke opstelling wordt gepresenteerd in de vorm van een render, omdat de opstelling in de praktijk er nog niet zo uit ziet als het ontwerp. De opstelling in zijn huidige vorm wordt ook getoond, maar dan in het hoofdstuk 'opstelling testen'. In het hoofdstuk 'Opstelling bouwen' staat een korte impressie van het bouwproces.

Aan het eind van het verslag vindt u de conclusie en aanbevelingen. Daarin is te lezen dat het project grotendeels geslaagd is. Er staat een opstelling die de basis vormt van de robotcel. Hier is nog wel werk aan te verrichten, maar de basis is er.

1 Inleiding

Aan het eind van een opleiding dient een proeve van bekwaamheid afgelegd te worden. In het geval van de opleiding HBO Mechatronica aan de Haagse Hogeschool is deze proeve van bekwaamheid een afstudeerstage met bijbehorend verslag.

Dit verslag behandelt het ontwerpen van een door een PLC bestuurd robotcel. Deze besturing is gemaakt met behulp van UniVALplc. UniVALplc is een door de fabrikant Stäubli ontworpen techniek om een verbinding op te zetten tussen hun eigen controller en een PLC. Het afstudeerproject omvat zowel de besturing als het mechanische en elektrische deel van een robotcel.

In het verslag wordt u meegenomen door het ontwerpproces. Het begint met duidelijk krijgen wat de eisen en wensen van opdrachtgever en klant zijn. Daaruit volgen eisen en concepten. De verschillende keuzes zijn onderbouwd weergegeven. Als dit behandeld is komt de koppeling van de robot met de PLC aan bod, met daarbij de besturing en de HMI. Na dit besturingsgedeelte vindt u het mechanische gedeelte. Hier wordt het ontwerp van het fysieke frame gepresenteerd. Hierna volgt het elektrische gedeelte dat zich in de besturingskast en op de opstelling bevindt. De opstelling wordt vervolgens gebouwd en getest. Deze hoofdstukken vindt u net voor de conclusie en aanbevelingen. Het verslag sluit af met verantwoording van bronnen en de bijlage.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
1 Inleiding	3
2 Projectbeschrijving	5
3 Projectgrenzen	7
4 Uitwerking eisen.....	7
5 Conceptkeuze	12
6 Keuze robotarm.....	13
7 Koppeling robotarm met PLC	20
8 Aansturing robot	23
9 Human Machine Interface.....	29
10 Ontwerp frame	38
11 Veiligheid	55
12 Uiteindelijke opstelling.....	62
13 Besturingskast	63
14 Plaatsing in bestaande omstandigheden	64
15 Opstelling bouwen	65
16 Opstelling testen	66
Conclusie en aanbevelingen	67
Bronnen	68
Bijlage	69

2 Projectbeschrijving

2.1 Probleemstelling

De opdracht aan het begin van het project was samengevat de volgende:

“Jansen Techniek ziet graag een robot gerealiseerd die kratten of dozen kan beladen”.

Het probleem waar men bij Jansen tegenaan liep was dat er wel mensen zijn die een PLC kunnen programmeren, maar geen mensen die robotarmen kunnen programmeren. Zo kwam het bedrijf bij mij uit.

Om de opdracht tot een goed einde te brengen is het onmisbaar dat de robotarm kan communiceren met de PLC. Het liefst ontwikkelt het bedrijf deze koppeling tussen de robotarm en de PLC in huis, zodat het geheel makkelijker te onderhouden is. Omdat het personeel dat er in de praktijk mee gaat werken vaak niet hoog geschoold is, moet de interface naar de eindgebruiker voor iedereen te snappen zijn. Jansen wil de interface daarnaast kunnen gebruiken om te testen. Verder is het belangrijk dat de opstelling geen bottleneck is in de efficiëntie van de totale productielijn.

Na een bezoek aan de klant was de situatie duidelijk. De klant wilde een totaaloplossing van bakjes tot pallet met één robotarm en 106 bakjes en 13 kratten per minuut. Deze aantallen komen van de bestaande inpaklijn. Deze inpaklijn bestaat uit een topsealmachine¹ met daarachter een metaaldetector en een inpakstation. Dit inpakstation wordt bemand door vijf mensen en zou door de robotarm compleet vervangen worden. De complete lijn bevindt zich in een gekoelde productiehal. De grootste verpakking die het bedrijf verwerkt weegt vijf kilogram.

2.2 Doelen

Uit deze probleemstelling zijn een aantal doelen te distilleren. Deze zijn hieronder in volgorde van belangrijkheid weergegeven.

1. Het creëren van een koppeling tussen de robotarm en de PLC
2. Het ontwerpen van een compacte opstelling voor het plaatsen van verschillende bakjes in verschillende kratten of dozen.
3. Het maken van een tweeledige interface
 - a. Jansen moet kunnen testen met deze interface
 - b. De eindgebruikers moeten makkelijk kunnen werken met de interface
4. De robotopstelling moet minstens zo snel zijn als de rest van de productielijn

2.3 Eisen

Om een goed resultaat neer te zetten is het belangrijk dat de doelen omgezet worden in eisen. Op deze manier komt een pakket van eisen tot stand. Het ontwerp van de machine gebeurt op basis van dit pakket van eisen. Het pakket van eisen is aan verandering onderhevig en wordt naarmate het project vordert bijgewerkt.

¹ Een topsealmachine, in dit geval een machine van SealPac. Deze machine sluit een bakje door er een stuk folie overheen te trekken en dit folie vast te smelten.

Sommige eisen zijn belangrijker dan andere, waardoor er een prioritering nodig is. Deze prioritering gaat op basis van de MoSCoW-methode². Dit is een methode om eisen te ordenen op belangrijkheid.

1. **Must:** Deze eisen moeten minimaal voldaan worden voor een bruikbaar eindproduct.
2. **Should:** Deze eisen zijn zeer gewenst, maar zonder is het eindproduct wel bruikbaar.
3. **Could:** Deze eisen worden alleen behandeld bij voldoende tijd.
4. **Would:** Deze eisen zijn leuk voor een vervolg van het project, maar zijn nu minder interessant.

Onderstaand de uiteindelijke eisen van het project.

Must:

- De robotarm moet met de PLC kunnen communiceren
- De machine moet minstens 5000 gram nuttige last kunnen verplaatsen. Dit is exclusief gripper.
- De machine moet kunnen werken bij temperaturen tussen 0 en 10 graden
- De machine moet hygiënisch zijn
- De machine moet waterbestendig zijn
- De machine moet makkelijk te reinigen zijn
- De opstelling moet veilig zijn
- Jansen moet de interface van de machine kunnen gebruiken om snelheid, versnelling, etc. van de robotarm uit te lezen voor testdoeleinden
- Deze interface moet te gebruiken zijn om de robot aan te sturen (posities etc.)

Should:

- De eindgebruiker moet de interface kunnen gebruiken om te kunnen wisselen tussen verschillende formaten in- en uitvoer
- De machine moet minstens 106 bakjes per minuut kunnen verwerken
- Als de machine kapot gaat, moet het verpakkingsproces handmatig overgenomen kunnen worden
- De machine moet met meerdere formaten bakjes op de invoerkant kunnen omgaan
 - Minstens bakjes van de types D24, D15 en P1
- De machine moet met meerdere formaten kratten of dozen op de uitvoerkant kunnen omgaan
 - Minstens kratten van de types CBL7 en CBL11

Could:

- Er zou een automatische krattenaanvoer aangekoppeld kunnen worden
- Er zou een automatische palletiseermachine aangekoppeld kunnen worden

Would:

- Op dit moment zijn er nog geen eisen die na het project pas interessant worden

² <https://nl.wikipedia.org/wiki/MoSCoW-methode>

3 Projectgrenzen

3.1 Lengte

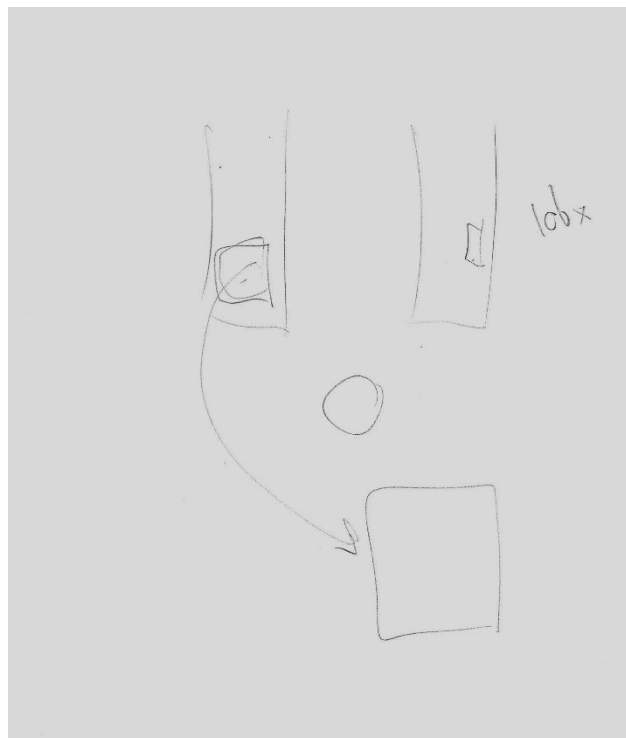
De afstudeerperiode vindt plaats van 22 augustus 2016 tot 16 december 2016. Dit komt neer op een stageduur van zeventien weken. In de planning en urenverantwoording die u in de bijlage kunt vinden is de periode verder uitgewerkt. Dit verslag dient eerder ingeleverd te zijn, namelijk 15 december 2016.

3.2 Randvoorwaarden

- De opdrachtgever is Jansen Techniek BV
- De machine wordt ontworpen voor een klant van Jansen
- De wensen van de opdrachtgever zijn leidend gedurende de stage. De wensen van de klant zijn zeker belangrijk, maar niet doorslaggevend
- De robotarm wordt geleverd door de fabrikant Stäubli

4 Uitwerking eisen

Het was al vrij snel duidelijk dat het ideaalbeeld van de klant niet haalbaar is. Eén robotarm die zowel producten in kratten als kratten op een pallet zet is niet toereikend. Daar is de cyclustijd te hoog voor. Een rotatie om de verticale as, wat in dit geval de hoofdmoot van de beweging is, duurt namelijk lang in verhouding met andere bewegingen die een robotarm kan maken. In het ideaalbeeld van de klant moet in totaal vrijwel 360 graden om de eerste as van de robot gedraaid worden. Dit is goed te zien in onderstaande afbeelding. De cirkel in het midden is de locatie van de robotarm. De linkerbaan is de krattenbaan en de rechterbaan is de baan met bakjes. De rechthoek onderin is de pallet waar de kratten op moeten komen te staan.



1 De eerste schets van de klant

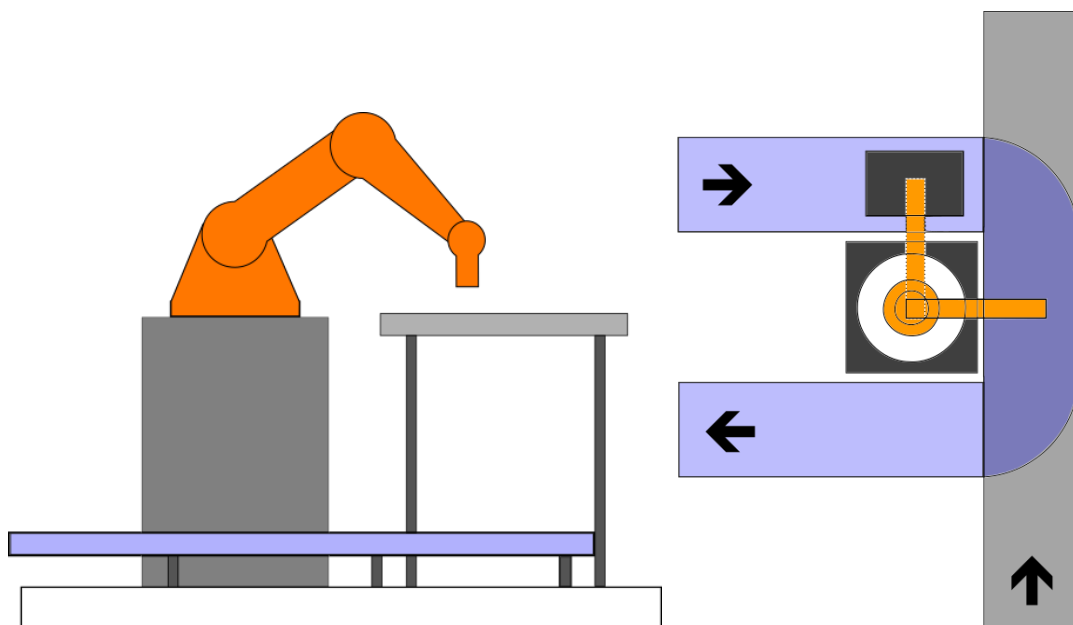
We hebben besloten het project te beperken tot het puur beladen van kratten. Op die manier kan de vereiste snelheid makkelijker gehaald worden. Het machinaal op een pallet laden van kratten is geen nieuwe bezigheid, want er zijn al een hele tijd machines voor op de markt. Voor het beladen van pallets kan dus relatief eenvoudig een losstaande oplossing gevonden worden, maar dat is iets wat buiten de scope van dit project ligt.

Zoals in de eisen te lezen is moet de inpakmachine met meerdere formaten kratten en bakjes om kunnen gaan. De kratten en bakjes komen op transportbanden aan. Hoe ze aankomen kan per klant verschillend zijn, vandaar dat er verschillende concepten zijn. Er zijn in totaal zes concepten bedacht, waarbij vaak de aanvoer en afvoer verschillend is.

De grijze baan vervoert de bakjes die ingepakt moeten worden, terwijl de blauwe baan de kratten vervoert. De robot wordt in oranje getekend en de zwarte pijlen geven de bewegingsrichting van de kratten en bakjes aan. De kratten zijn standaard CBL³-kratten en zijn donkergrijs getekend. Deze kleurstelling ziet u in alle concepttekeningen terugkomen. De kratten komen altijd short side leading aan. Dat houdt in dat de kratten die een standaardmaat van 600x400 mm hebben, in hun lengterichting aankomen, met de 400 mm kant (short side) eerst. De lengte en breedte van CBL-kratten zijn altijd 600x400 mm, maar de hoogte kan verschillen. Zo zijn er bijvoorbeeld CBL7 en CBL11 kratten, waarbij het toegevoegde getal de diepte van de krat in centimeters aangeeft.

4.1 Concept 1

Het eerste concept gaat uit van een krattenaan- en afvoer die haaks op de bakjesaanvoer staat. Dat betekent dat de krattenbaan onder de bakjes door kan, wat ruimtebesparend kan zijn. Doordat de krattenbaan onder de bakjes doorgaat is deze lager dan de bakjes. Dit betekent dat de robotarm meer afstand moet afleggen, wat zorgt voor een langere cyclus per bakje.



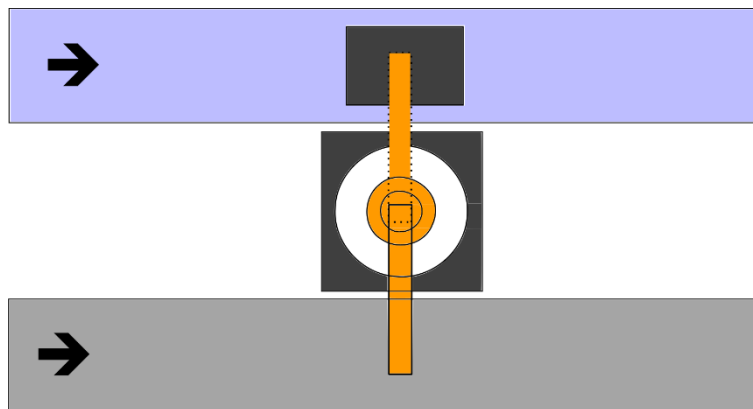
2 Zijaanzicht en bovenaanzicht concept 1

³ Centraal Bureau Levensmiddelenhandel. Het CBL behartigt volgens hun eigen website de collectieve belangen van de supermarktbranche en food service bedrijven.

Zoals te zien in bovenstaande afbeelding, zijn er twee banen. De robot pakt de bakjes op en zet ze in de krat. De robot moet hier 90 graden om zijn verticale as draaien, wat zorgt voor extra verwerkingstijd. Het kan in deze opstelling gebeuren dat de kratten niet snel genoeg wisselen of onder de baan vastlopen. Dit concept gaat wel efficiënt met de aanwezige ruimte om.

4.2 Concept 2

Dit concept werkt met twee parallelle banen op gelijke hoogte. Dit heeft als voordeel ten opzichte van concept 1 dat er geen hoogteverschil zit tussen de beide banen, waardoor de verwerkingstijd omlaag gaat. Wel moet de robot in dit geval 180 graden draaien over zijn verticale as, wat er voor zorgt dat de verwerkingstijd per pakketje toeneemt.

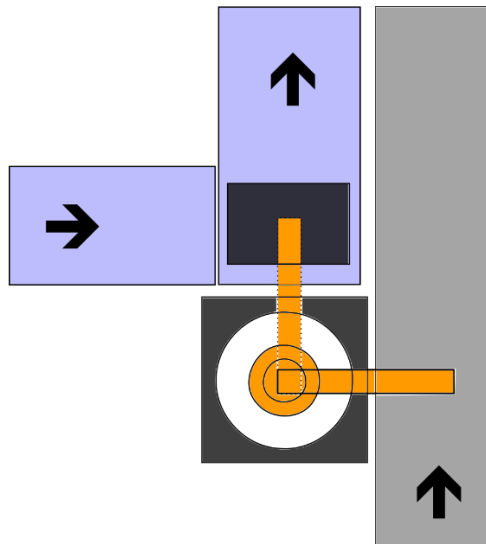


3 Bovenanzicht concept 2

Als er 106 bakjes per minuut langs gaan komen, kan dat waarschijnlijk wel, maar dan moet er voorgeformeerd worden. Dat houdt in dat de bakjes in een bepaalde formatie gezet worden, die in zijn geheel opgetild wordt. Dit heeft als voordeel dat er meerdere bakjes tegelijk gepakt kunnen worden. Het formeren moet wel perfect gaan, omdat het proces anders vast kan lopen.

4.3 Concept 3

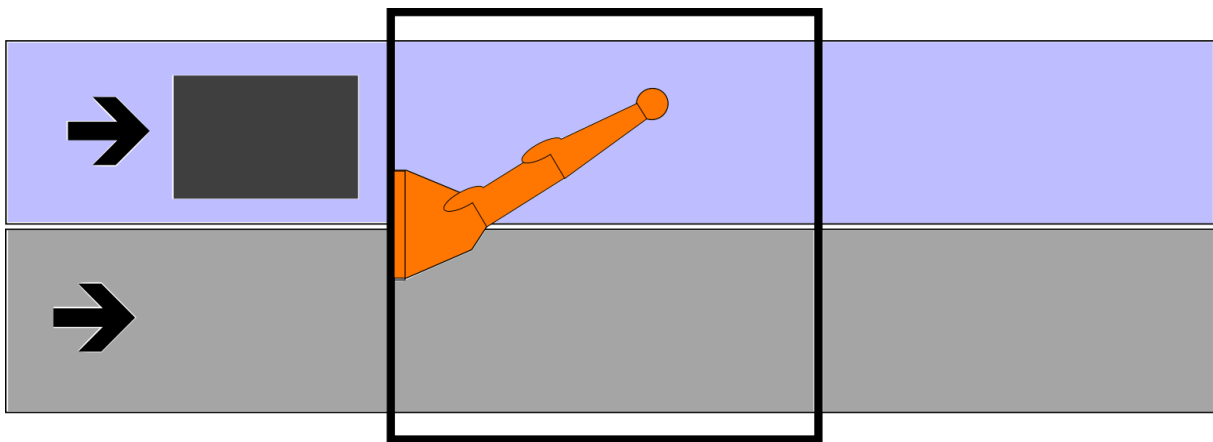
Concept 3 is een verbeterde versie van concept 1. Bij dit concept loopt de krattenbaan niet onder de bakjesbaan door, maar buigt hij eerder af en gaat hij verder op een haakse baan. De krattenbanen hebben in dit geval gripbanden voor een snelle wisseling van de kratten. De robot moet nog steeds 90 graden draaien, wat weer snelheidsverlies gaat opleveren.



4 Bovenanzicht concept 3

4.4 Concept 4

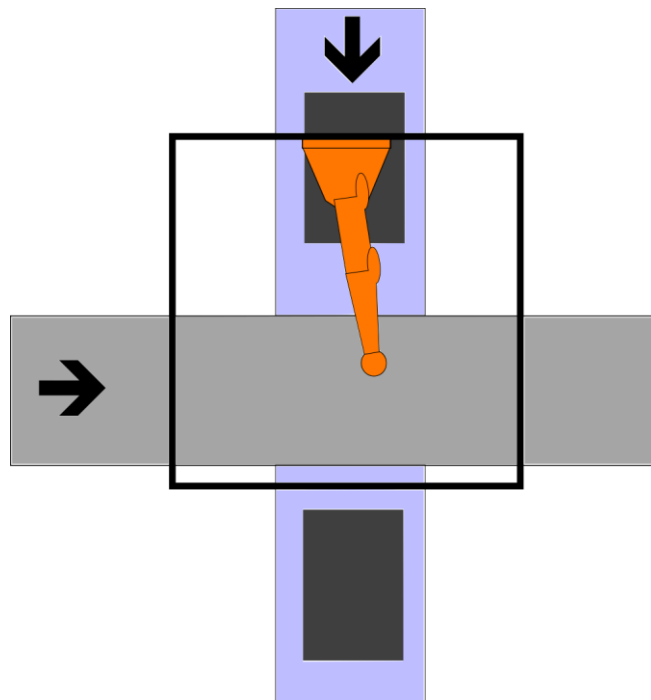
Tot nu toe stond de robot in alle concepten op de grond. In de rest van de concepten hangt de robot aan de wand of aan het dak van de opstelling. In concept 4 hangt de robot aan de wand van de opstelling. Dit betekent dat er minder beweging van de robot nodig is om een bakje over dezelfde afstand te verplaatsen. Dat zorgt op zijn beurt weer voor een snellere verwerking. De manier waarop de robot opgehangen is neemt wel meer ruimte in op de lijn.



5 Bovenanzicht concept 4

4.5 Concept 5

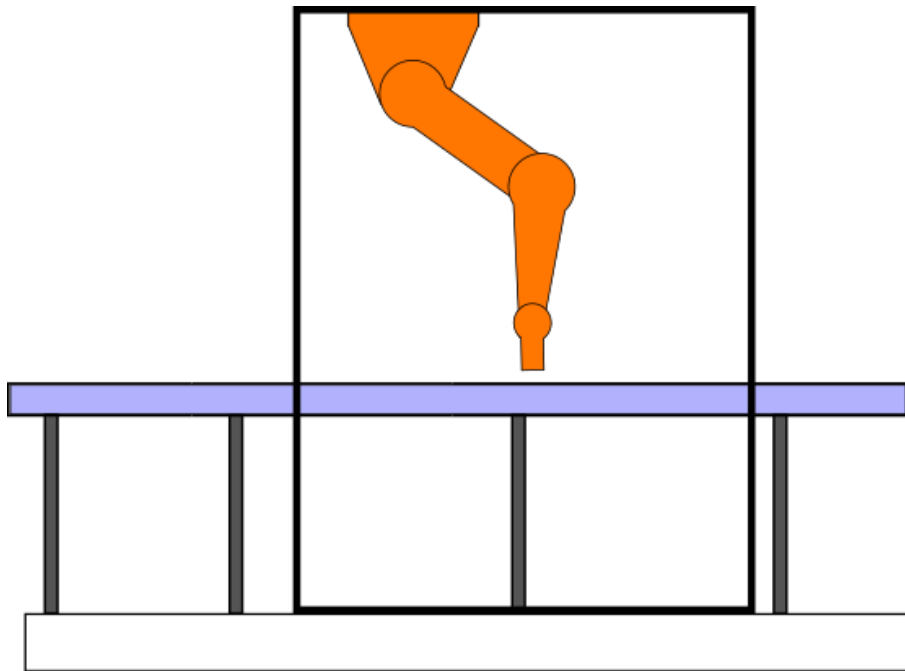
Dit concept is een variant op concept 4. De krattenbaan komt onder de bakjesbaan door, waardoor er weer efficiënt met de ruimte omgegaan wordt. De robot hangt boven de banen, in het verlengde van de krattenbaan. Het nadeel van dit concept is dat de banen niet op gelijke hoogte zitten, zodat er een vrij grote verticale afstand afgelegd moet worden.



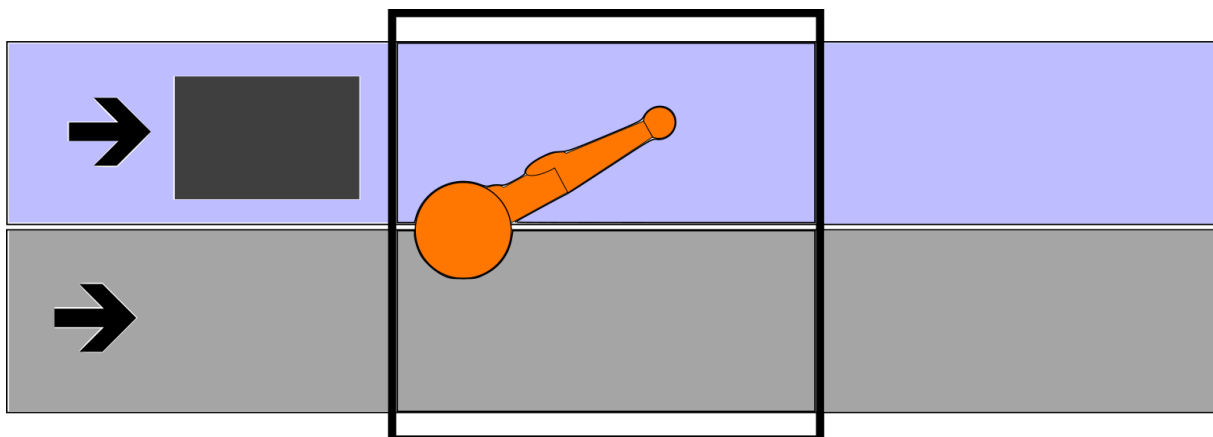
6 Bovenaanzicht concept 5

4.6 Concept 6

Bij het zesde en laatste concept hangt de robot aan het dak van de constructie. Dit zorgt ervoor dat de robotarm relatief weinig beweging hoeft te maken om toch een behoorlijk bereik te hebben. Daardoor is de machine sneller dan de andere concepten. Bij dit concept zijn de banen parallel aangelegd. Omdat de arm aan het dak hangt, wordt er een relatief klein stuk baan gebruikt voor het inpakken. De opstelling is wel wat hoger, maar hoogte is meestal geen probleem bij dit soort machines, omdat ze in grote fabriekshallen staan.



7 Zijaanzicht concept 6



8 Bovenaanzicht concept 6

5 Conceptkeuze

Er is gekozen voor concept 6, en wel om de volgende redenen:

1. Snelheid, en in het verlengde daarvan cyclustijd
2. Ruimtegebruik
3. De afweging tussen veiligheid en gebruiksgemak

5.1 Snelheid

Zoals al eerder gezegd is, is een productieproces zo snel als de langzaamste schakel. De wens van de klant is het inpakken van 106 bakjes per minuut. Dit komt neer op 0.566 seconden per bakje, als er één bakje tegelijk wordt ingepakt. Als er wordt voorgeformeerd mag er langer over een cyclus

gedaan worden. Wel is duidelijk dat er een snelle robot nodig is. Over de keuze voor een robotarm meer in het vervolg.

Het type opstelling kan ook veel doen om de snelheid te verhogen. Als de robot veel afstand moet afleggen zal de cyclustijd hoger zijn dan wanneer de robot een korte afstand moet afleggen. Dit is in de uitwerking van de eisen aan de orde gekomen. De snelste opstelling is concept 6, omdat de robot daar de minste afstand af hoeft te leggen. Hoe meer afstand de robot moet afleggen, hoe langer de cyclustijd is. Concept 4 komt in de buurt, maar daar moet de robot meer afstand afleggen omdat er aan de rand van het werkbereik van de robot wordt gewerkt.

5.2 Ruimtegebruik

Niet alle productieprocessen zijn even ruim opgezet. Dat houdt in dat de robot voor die toepassingen zo compact mogelijk moet zijn. De meeste fabriekshallen zijn behoorlijk hoog, zodat de hoogte in bouwen geen probleem is. Vloeroppervlak op de lijn is vaak wel van belang. Ook hier is concept 6 de best optie. Dit concept heeft de kleinste vloeroppervlakte nodig om zijn werk te doen.

5.3 Veiligheid en gebruikersgemak

Normaalgesproken staan er legio veiligheidsmaatregelen om een werkende robotarm heen. Lichtschermen, hekken met sensoren op de deuren, veiligheidshalve gelimiteerde snelheid etc. De robotarm komt in een omgeving te werken waar mensen op korte afstand werken. Deze mensen hebben vaak geen verstand van robotica en veiligheidseisen. Dat is ze verder niet aan te rekenen, maar het betekent wel dat daar bij het ontwerp rekening mee gehouden moet worden. Als er een hek om de opstelling komt is het ruimtegebruik weer niet ideaal.

Concept 6 is opgebouwd in een frame, dat afgeschermd kan worden. Eventueel kan het gecombineerd worden met een kap over de aanvoer en afvoer, zodat niemand zijn vingers in het werkgebied van de robot kan krijgen. Het zorgt dat de ruimte op de lijn nog steeds beperkt is, maar het geheel wel veilig is. Dit is de beste combinatie tussen veiligheid en gebruikersgemak.

6 Keuze robotarm

De keuze voor het type robotarm hangt af van een aantal factoren:

- Beschikbare ruimte
- Te verplaatsen gewicht
- Hygiëne
- Snelheid
- Temperatuurbestendigheid
- Communicatie met een PLC

Voor de klant waar het ontwerp in eerste instantie voor gemaakt wordt is ruimte niet een doorslaggevende factor, maar omdat het ontwerp door Jansen vaker gebruikt gaat worden is het van belang dat de machine zo compact mogelijk ontworpen wordt.

De genoemde documentatie in dit hoofdstuk, inclusief de CAD-bestanden van de robotarm, is van de website van Stäubli gehaald.

6.1 Gewicht

Het te verplaatsen gewicht is zeker wel van belang, omdat dat direct invloed heeft op de grootte en het gewicht van de arm. In het assortiment van Stäubli is het zo dat grotere zwaardere armen meer gewicht kunnen verplaatsen, maar trager zijn. Stäubli's lichtere robots kunnen minder gewicht verplaatsen, maar zijn weer een stuk sneller.

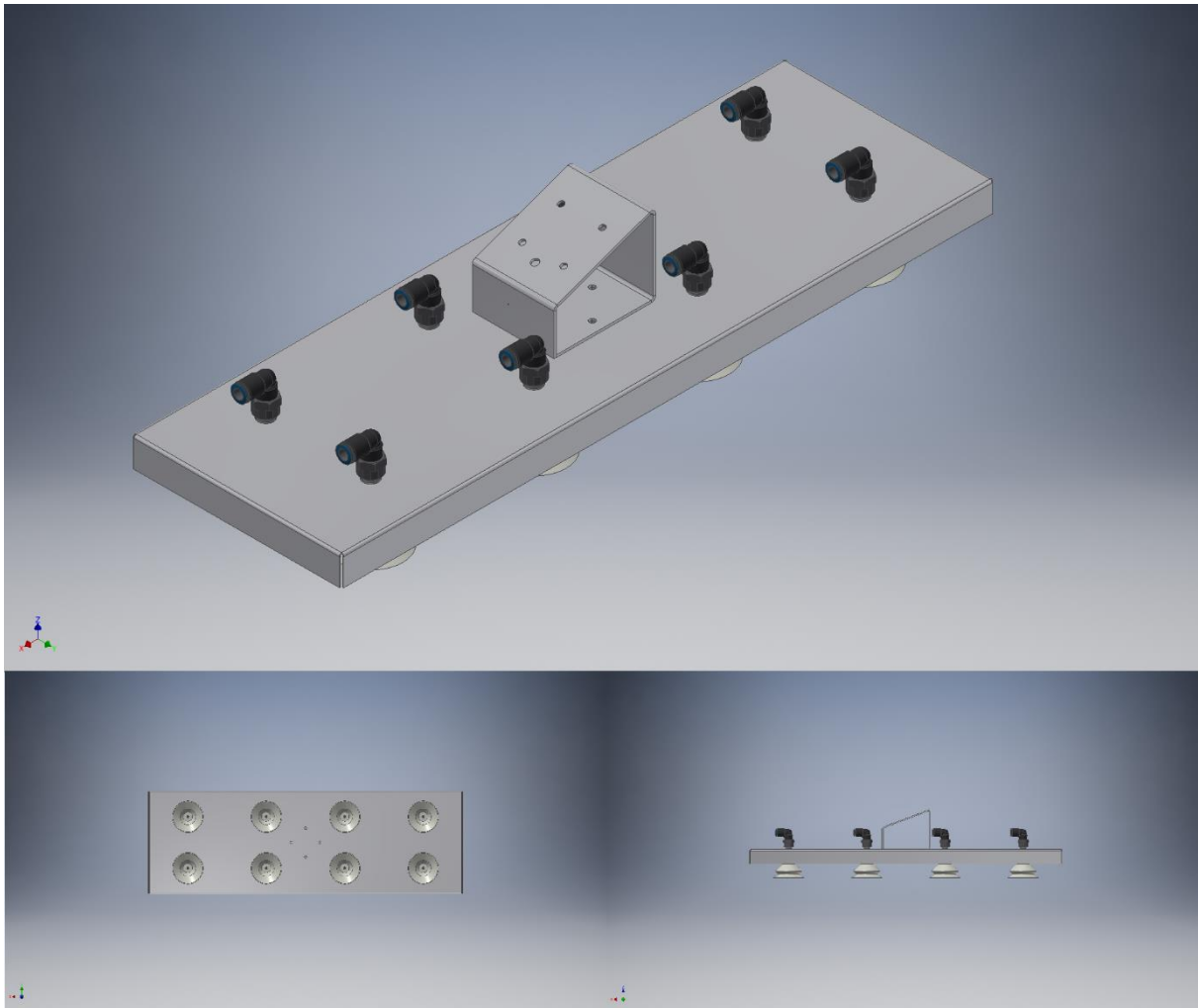
Hier moet dus een gefundeerde keuze uit gemaakt worden. Bij het berekenen van het gewicht dat de robot verplaatst wordt rekening gehouden met de volgende onderdelen:

- Zuignappen
- Bevestiging van de zuignappen
- Bevestigingsmateriaal
- Pneumatiekkoppelingen en –leidingen

Omdat er verschillende soorten bakjes verplaatst moeten worden, zijn er verschillende grippers nodig. De opstelling komt na een topsealmachine te staan die dertien slagen per minuut maakt, waarmee dertien standaard kratten gevuld kunnen worden. Dat betekent dat er sowieso voorgeformeerd moet worden, omdat anders geen enkele robotarm van Stäubli gebruikt kan worden. Maar daarover later meer. Hieronder ziet u de verschillende bakjes die verplaatst moeten worden.

Bakjes	Afmetingen (lxbxd)	Gewicht per bakje (kg)	Aantal per krat	Aantal per slag bij 26 slagen per minuut	Gewicht per slag (kg)	Aantal zuignappen
P1	18x10x4	0.250	10	5	1.250	10
D24	18x14x5	0.600	8	4	2.400	8
D15	26x18x5	1	4	2	2	8

Voor de D24 en D15 bakjes kan dezelfde gripper gebruikt worden. Deze gripper heeft acht zuignappen, zoals te zien is in de afbeelding op pagina 15. De afmetingen van een D24 bakje zijn ongeveer de helft van de afmetingen van een D15 bakje. Dat betekent dat dezelfde zuignappenconfiguratie gebruikt kan worden. Deze configuratie is 'Tooltip D' genoemd.

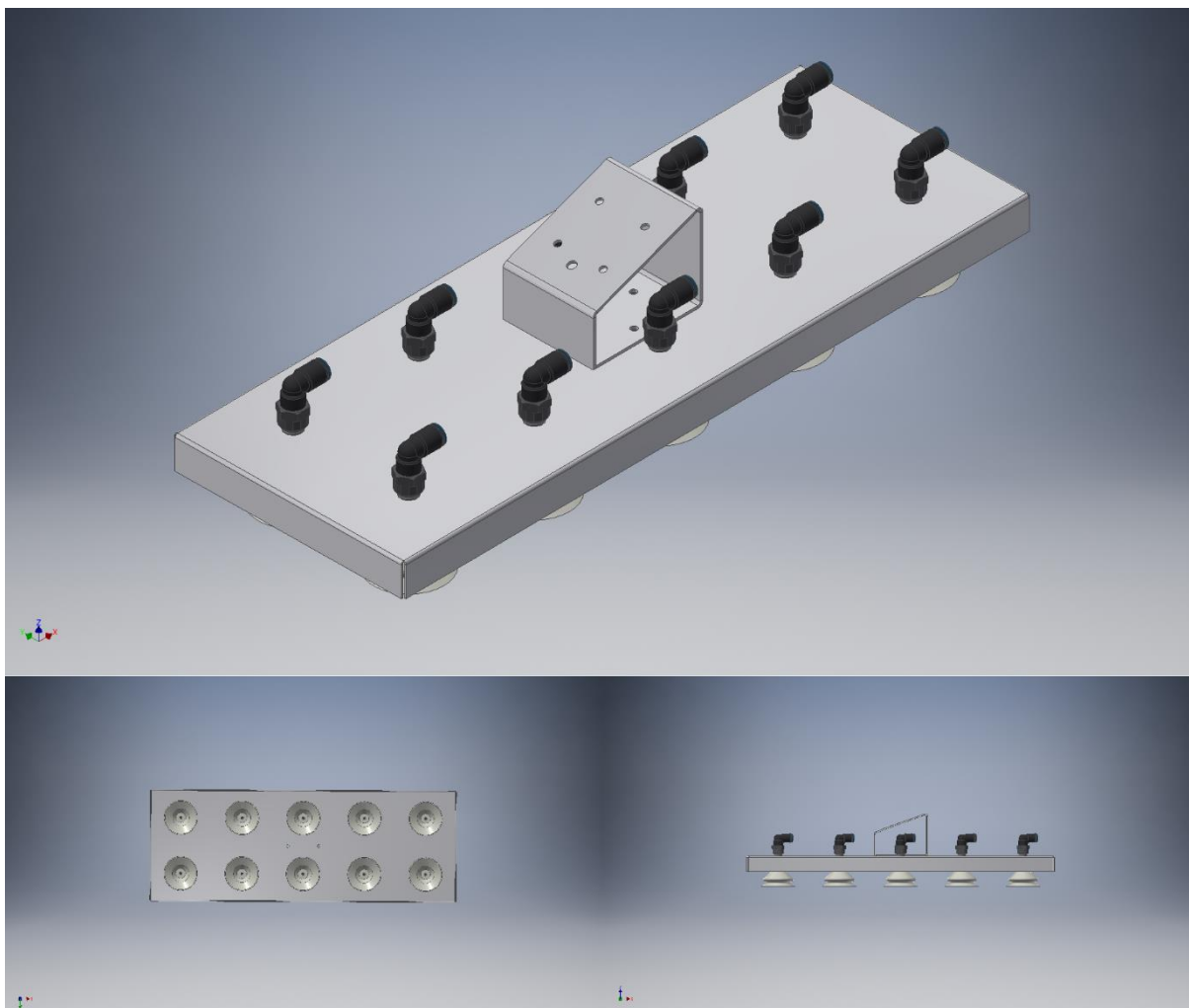


9 Tooltip D

De verbinding naar de robotarm staat onder een hoek, om daarmee een singularity in de configuratie van de robotarm te voorkomen, waarover later meer in het gedeelte over de besturing. De zuignappen zijn voorzien van een balg, zodat de licht flexibele bovenkant van de bakjes goed opgepakt kan worden.

Met deze configuratie passen er vier D24 bakjes of twee D15 bakjes onder de gripper. De gripper zelf weegt volgens Autodesk Inventor 1.807 kg. Met twee D15 bakjes onder de gripper weegt het totaal 3.807 kg. Met vier D24 bakjes onder de gripper weegt het totaal 3.007 kg.

De P1 bakjes zijn kleiner, waardoor de afstand tussen de zuignappen kleiner wordt en er meer zuignappen in de gripper komen. Dit resulteert in tooltip P:



10 Tooltip P

De configuratie van deze tooltip verschilt weinig van tooltip D. Het enige verschil zijn het aantal zuignappen en de daardoor toegenomen lengte. U kunt zien dat er tien zuignappen onder deze gripper zitten. Het gewicht van deze gripper is volgens Autodesk Inventor 1.804 kg. Met de vijf P1 bakjes, die samen 1.250 kg wegen, komt het totaalgewicht op 3.054 kg.

Samengevat:

Tooltip	Pakjes	Aantal	Totaalgewicht (kg)
D	D15	2	3.807
	D24	4	3.007
P	P1	5	3.054

Dat betekent dat deze configuraties allemaal binnen de eis van vijf kilogram nuttig verplaatsbare last vallen. Er is een verpakking die zwaarder is, namelijk een bak van vijf kilogram. Deze bak ligt buiten de scope van dit project, omdat in dit project met de eerder genoemde verpakkingen gewerkt wordt.

De eis van vijf kilogram nuttig verplaatsbare last kan dus aangehouden worden als gewichtscriterium.

6.2 Hygiëne

Het volgende belangrijke punt is hygiëne. Dit is enorm belangrijk in de voedselverwerking, omdat de voedselveiligheid boven alles staat. De robotarm moet dus makkelijk schoon te maken zijn.

Omdat Jansen Techniek al een afspraak met Stäubli gemaakt had, was de keuze beperkt tot hun assortiment. De meeste robotarmen van Stäubli zijn IP65 gecertificeerd. Dit houdt in dat de robot is getoetst aan de Ingress Protection (IP) schaal. Zie voor een verdere uitleg van deze specificatie de bijlage.

Stäubli heeft ook een speciale lijn van robotarmen voor zeer vochtige omgevingen. De HE (Humid Environment) lijn is net als de reguliere lijn IP-65 gecertificeerd. De pols, het gedeelte dat zich het dichtst bij het product bevindt, is echter IP-67 gecertificeerd. Dat houdt in dat de pols 30 minuten op 1m waterdiepte ondergedompeld kan worden. Dit zal voor onze toepassing niet nodig zijn, maar het is toch leuk dat het kan. Het betekent dat de robot grondig schoongemaakt kan worden zonder aan betrouwbaarheid in te boeten.

6.3 Snelheid

In de HE lijn zijn er een aantal mogelijkheden⁴ voor 6-assige robots:

- TX90 HE
- TX90L HE
- TX90XL HE

De L en de XL slaan op de grootte van de robots. Hoe groter de robots, hoe meer bereik, maar hoe minder maximaal tilgewicht.

Alle drie armen zijn op dezelfde manier opgebouwd en hebben 6 vrijheidsgraden. De afmetingen van de twee armdelen zijn bij de verschillende robots anders, maar motorisch zijn ze hetzelfde. Dat betekent dat de kleinere TX90 bij verplaatsing van eenzelfde pakje sneller is dan zowel de TX90L als TX90XL. Dit komt onder andere door een kleinere massa draagbaarheid, en doordat de motor minder koppel hoeft te leveren voor de zelfde hoekverplaatsing.

Onderdeel	TX90 HE	TX90L HE	TX90XL HE
Gewicht	111 kg	114 kg	116 kg
Herhaalbaarheid van de plaatsing volgens ISO 9283	± 0.03 mm	± 0.035 mm	± 0.040 mm
Maximale werkstraal tussen assen 1 en 5	900 mm	1100 mm	1350 mm

11 Verschillende parameters van de TX90, TX90L en TX90XL uit [1]

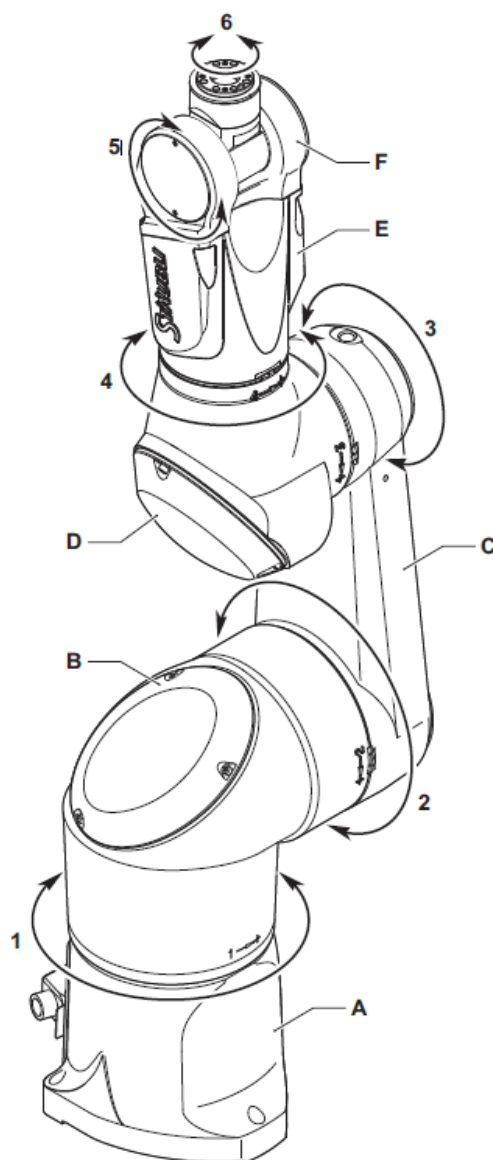
⁴ <http://www.staubli.com/en/robotics/6-axis-scara-industrial-robot/specialized-robot/humid-environment-robot/tx90-he/>

As	1	2	3	4	5	6
Nominale snelheid (°/s) TX90	250	200	300	430	350	600
Nominale snelheid (°/s) TX90L	215	170	255	430	350	600
Nominale snelheid (°/s) TX90XL	190	160	230	400	345	600
Maximale snelheid (°/s) TX90	400	400	430	540	475	760
Maximale snelheid (°/s) TX90L	400	390	420	540	475	760
Maximale snelheid (°/s) TX90XL	400	350	410	540	475	760

12 Nominale en maximale snelheden per as uit [2]

Arm	Nominaal hefvermogen (kg)	Maximaal hefvermogen (kg)
TX90	7	20
TX90L	6	15
TX90XL	5	9

13 Nominaal en maximaal hefvermogen van de drie armen [3]



14 Diagram van de robot, zoals te vinden in de documentatie [4]

Zoals te zien in tabel 11, is de TX90 de arm met het laagste gewicht. Qua herhaalbaarheid is de TX90 ook het nauwkeurigst, maar voor onze toepassing is dit verschil niet heel relevant. Bij het werkbereik is te zien dat de TX90 het kleinste werkbereik heeft. Dit is echter geen probleem, omdat daar de plaatsing van de rest van de opstelling op aangepast kan worden.

Wat vooral belangrijk is voor onze toepassing is snelheid. Door zijn kleinere afmetingen en gewicht is de TX90 sneller dan zijn grotere seriegenoten. De maximale snelheid is op de eerste drie assen is weinig verschillend, en op de tweede drie assen niet verschillend. In de nominale snelheid is een groter verschil terug te vinden. In onze toepassing, waar snelheid van groot belang is omdat het fabrieksproces maar zo snel kan lopen als de langzaamste schakel, is dit verschil doorslaggevend.

6.4 Temperatuurbestendigheid

In de documentatie voor de robotarm staat dat het temperatuurbereik waarin de robot kan werken tussen de +5 en de +40 °C ligt [5]. Voor onze toepassing kan de robot in een omgeving staan waar het tussen de 0 en +10 °C is, wat buiten het officiële temperatuurbereik van de robot zit. We hebben hierover contact met Stäubli gehad, en volgens hen kan de robot gewoon in wat koudere omgevingen gebruikt worden. Wel is belangrijk dat er een korte tijd (ca. 5 minuten) op lage snelheid wordt warmgedraaid voordat de robot op volle snelheid gaat draaien. De interne elektronica kan goed met lage temperaturen omgaan, maar de olie die zorgt voor de smering binnenin de robot kan wat dikker worden. Na het opwarmen is de olie op temperatuur en kan de robot op volle snelheid zijn taak vervullen. Condensatie gaat geen probleem zijn, omdat de relatieve luchtvochtigheid van de omgeving daar te laag voor is.

6.5 Conclusie keuze robotarm

De keuze valt op de TX90 HE, vanwege bovengenoemde punten. Hieronder nog kort samengevat:

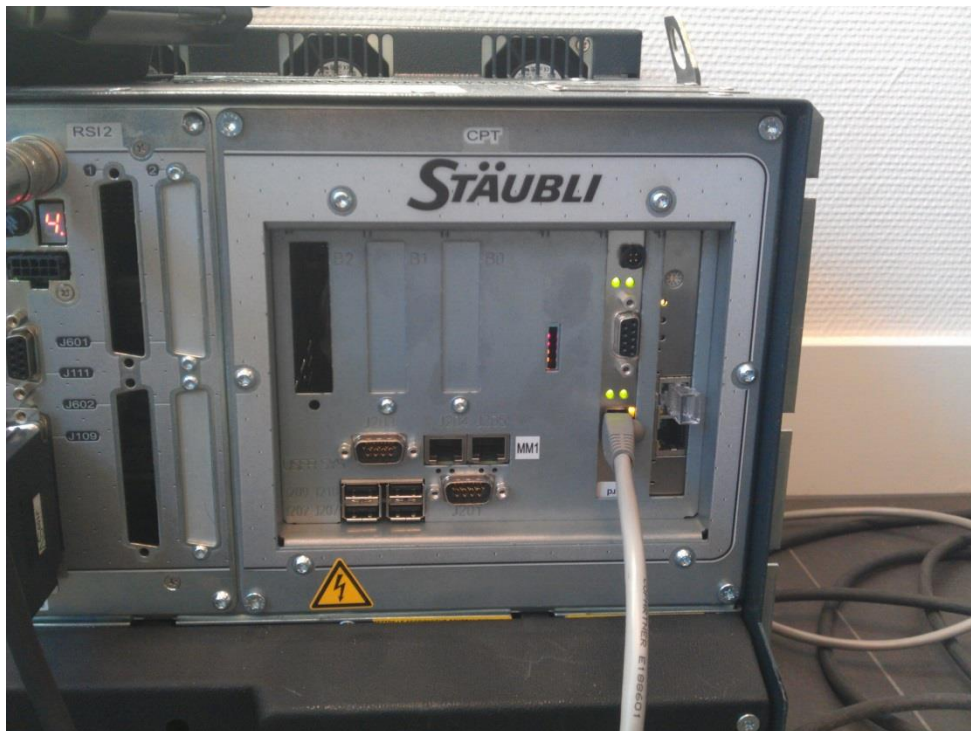
De TX90 is lichter dan de andere twee armen, en kan daardoor sneller zijn bij verplaatsing van dezelfde last. Het werkbereik is kleiner dan dat van de andere twee armen, maar daar is de rest van de opstelling op aan te passen. Op hygiëne en temperatuurbestendigheid zit er geen verschil tussen de drie armen.

7 Koppeling robotarm met PLC

De Stäubli CS8C controller van de robotarm heeft een aantal ethernetpoorten waarmee deze met het Internet Protocol te benaderen is. Twee daarvan bevinden zich op de controller zelf en kunnen gebruikt worden om de verbinding tussen de controller en de PC waar de omgeving van Stäubli op draait te maken. Deze twee poorten, J204 en J205 genoemd, ziet u in het midden van onderstaande afbeelding, recht onder het Stäubli logo.

Een extra poort bevindt zich op een aparte ethernetkaart die in de controller is gezet. Deze kaart is verantwoordelijk voor de communicatie met de PLC. U ziet deze kaart met daarin een ethernetkabel rechts in de controller.

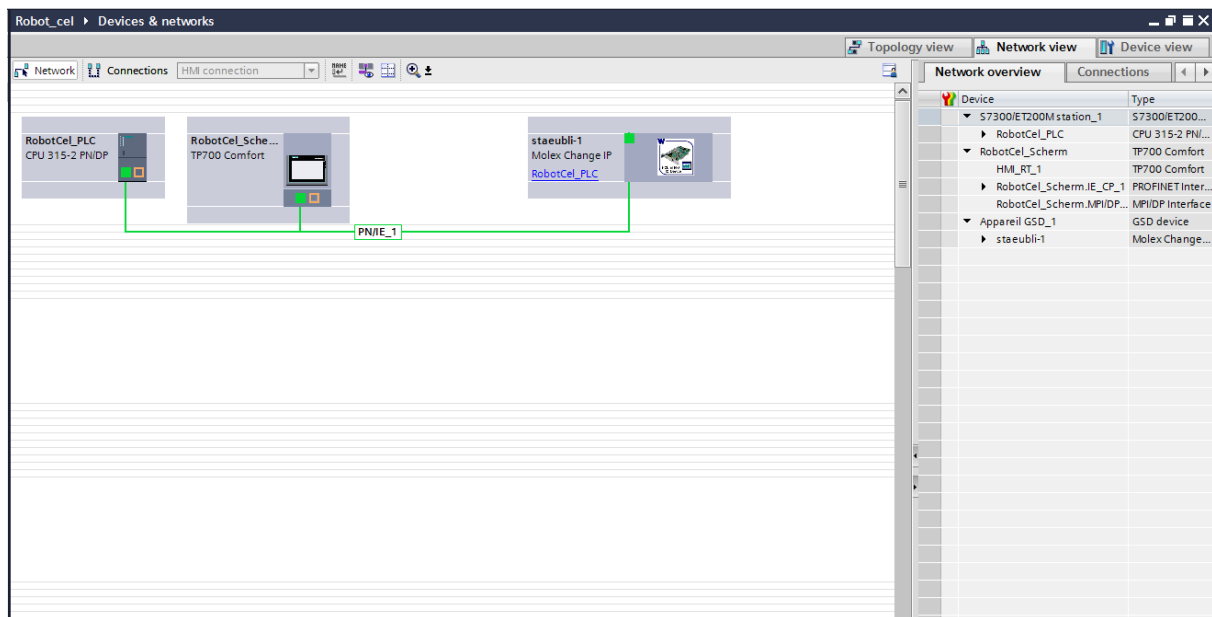
Rechts van deze ethernetkaart vindt u nog een EtherCATkaart, maar deze wordt niet gebruikt.



15 Netwerkmogelijkheden CS8C

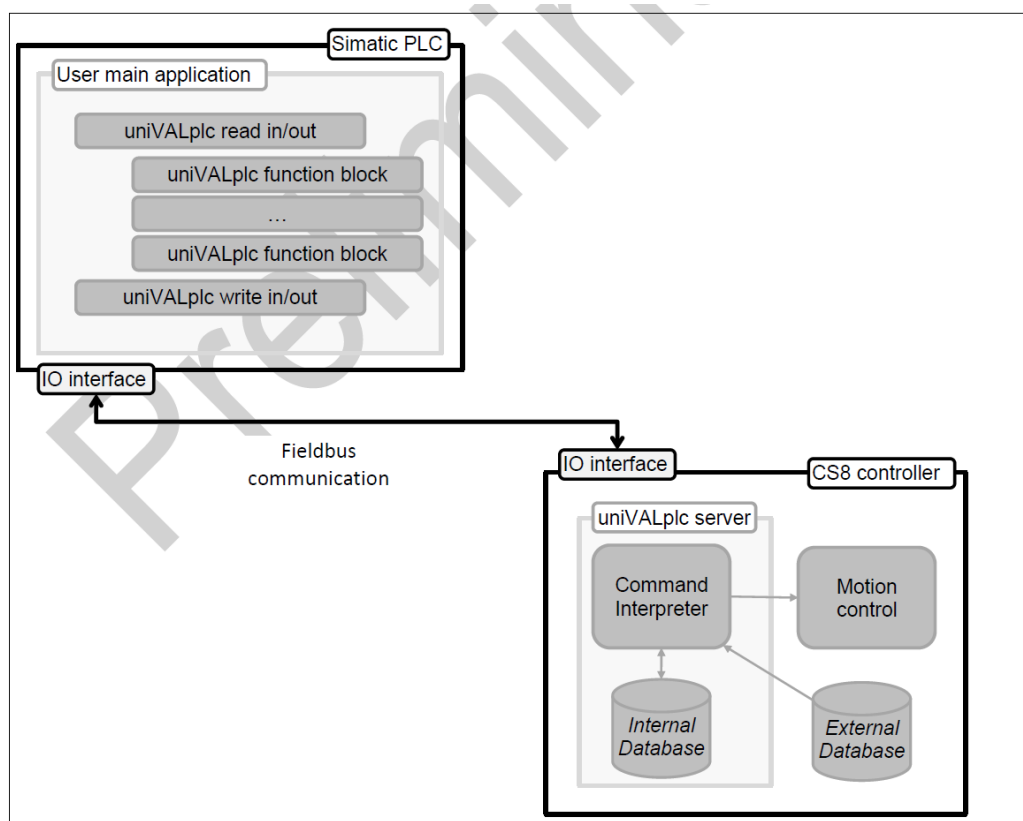
Aan de softwarekant wordt de communicatie tussen de CS8C en de computer verzorgd door de Stäubli Robotics Suite (SRS). Deze software is ook gebruikt om de robotcel te simuleren, waarover later meer.

De connectie tussen de PLC en de CS8C gaat zoals eerder vermeld via de ethernetkaart. Deze kaart wordt met de juiste configuratie door de PLC gezien als een ProfiNet IO device met een eigen IP-adres. Door gebruik te maken van de functieblokken van Stäubli kan er met dit IO device gecommuniceerd worden. Deze techniek wordt door Stäubli UniVALplc genoemd. In het network view op pagina 21 is te zien hoe de controller als ProfiNet IO device gezien wordt door de PLC en gelinkt is in hetzelfde ProfiNet subnet.



16 Network view in TIA portal

Hieronder ziet u een afbeelding uit de voorlopige documentatie van UniVALplc [6]. Zoals u ziet staat hier nog het watermerk 'preliminary' onder omdat het een voorlopige versie van de documentatie betreft. Dit schema geeft een overzicht van hoe UniVALplc werkt.



17 Systeemopbouw UniVALplc

Deze manier van besturing heeft een aantal voordelen:

1. De robotarm wordt geïntegreerd in de rest van de aansturing zonder een aparte programmeertaal of -interface
2. De aansturing van de robotarm wordt gedaan door de controller die bij de arm hoort

Als eerste maakt deze manier van besturen het werk van de systeemintegrator makkelijker. Omdat het schrijven van de besturing in de reeds bekende PLC-taal kan is de drempel om met robots te beginnen kleiner. Er moet nog steeds wel basale kennis van robotarmen zijn, maar dat is gauw genoeg opgedaan.

Ten tweede wordt de aansturing van de robotarm door Stäubli's eigen controller gedaan. Dit zorgt dat de arm optimaal bestuurd wordt.

Zoals in het schema uit de documentatie op de vorige pagina te zien is, worden op de PLC een aantal functieblokken gebruikt. In de workflow wordt eerst de data uit de robot via ProfiNet uitgelezen. Vervolgens draait het programma dat in de PLC verantwoordelijk is voor de besturing, waarna de nieuwe data via ProfiNet terug naar de robot gaat.

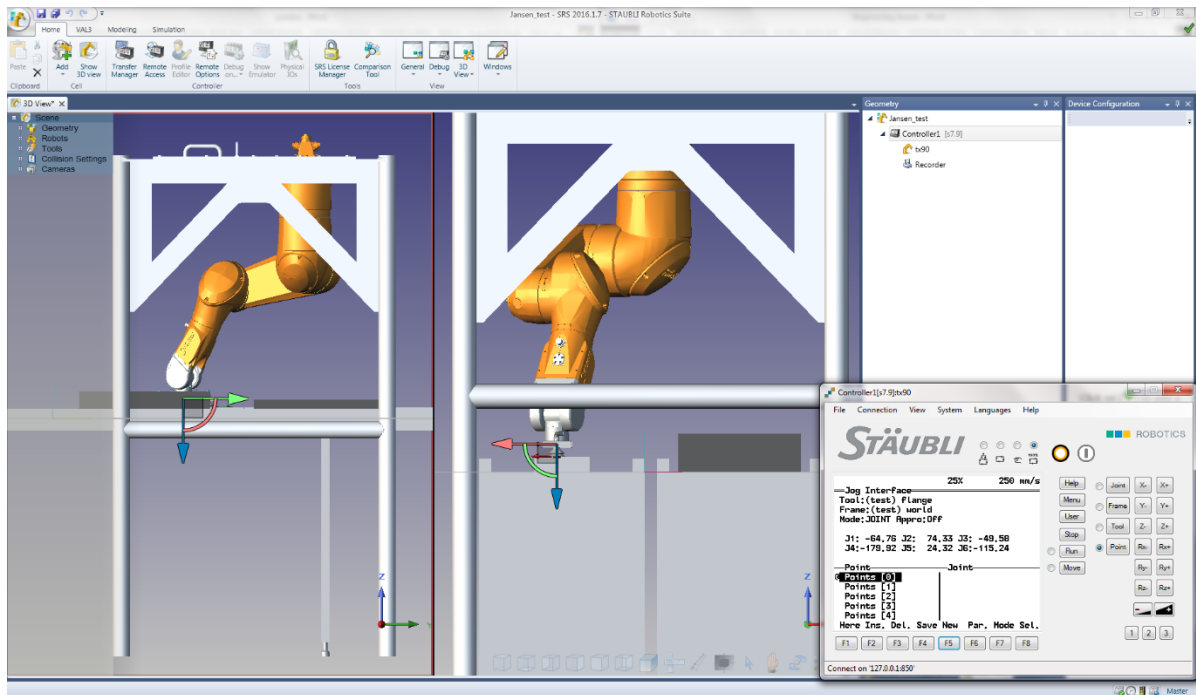
Aan de kant van de robot wordt deze nieuwe data ontvangen door de ethernetkaart. Vervolgens worden de gegeven commando's uitgevoerd, met gebruikmaking van één of meerdere databases. De interne database kan door de PLC uitgelezen en beschreven worden. Als de controller klaar is met deze commando's, wordt er weer teruggekoppeld naar de PLC en begint de workflow opnieuw.

8 Aansturing robot

8.1 Simulatie

Voor dat de aansturing van de robot gemaakt werd is de robot gesimuleerd in Stäubli Robotics Suite 2016. Dit programma, wat in de rest van het verslag SRS genoemd wordt, is een programma waarmee zowel gesimuleerd als geprogrammeerd kan worden. Met het programma kan ook een bepaalde configuratie naar een externe robot geschreven worden.

In het simulatiescherm van SRS kunt u een aantal dingen zien.

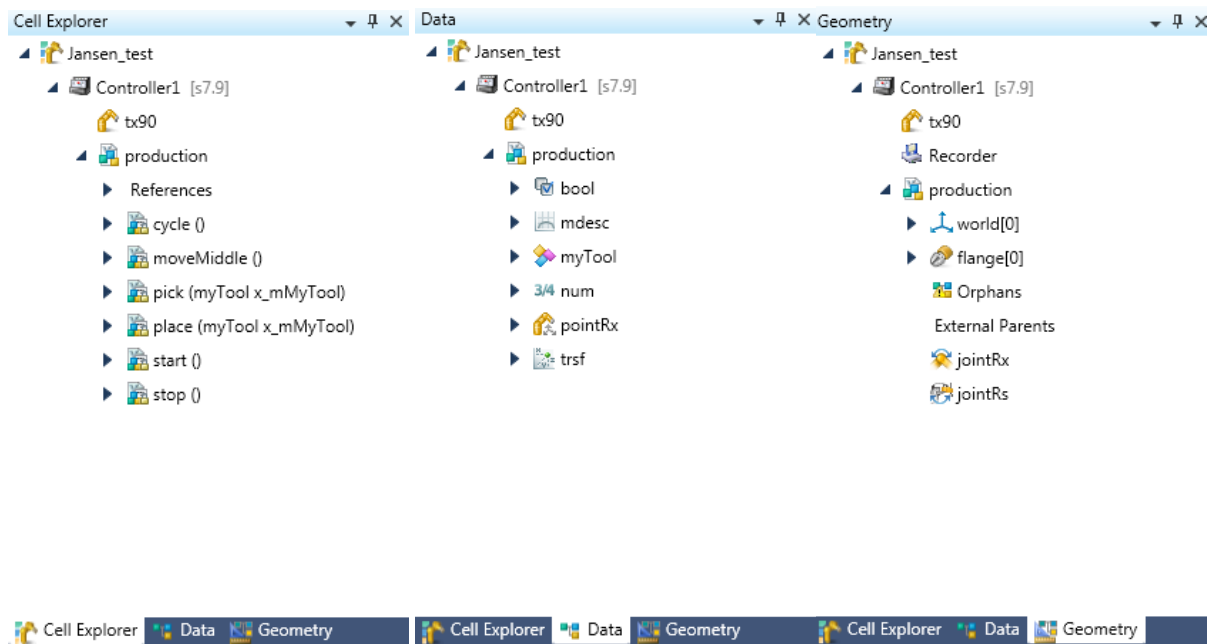


18 Hoofdscherm simulatie SRS

De robot is geplaatst in de opstelling. Deze opstelling is geïmporteerd vanuit Autodesk Inventor, zodat de robot in de opstelling gesimuleerd kan worden. Dit is belangrijk, omdat dan gekeken kan worden of de gestelde doelen gehaald kunnen worden.

Op het bovenstaande scherm zijn verschillende zaken te zien. Rechts van het 3D-beeld zijn twee kolommen zichtbaar. De linkse van deze twee kolommen dient om de structuur van de robotcel en de simulatie inzichtelijk te maken. Deze kolom heeft drie tabbladen, namelijk 'Cell explorer', 'Data' en 'Geometry'.

In de Cell explorer staat de code van de simulatie. Deze code is geschreven in Stäubli's eigen programmeertaal VAL3. Voor de simulatie is een kort programma geschreven, waarover later meer.



19 Cell explorer, Data en Geometry

Onder het tweede tabblad, dat Data heet, zijn de verschillende variabelen van de simulatie terug te vinden. Dit zijn bijvoorbeeld posities, maar ook bewegingsparameters.

Het derde tabblad heet Geometry en bevat data over de posities ten opzichte van het overkoepelende assenstelsel.

De programmeertaal waar de code voor de simulatie in geschreven is, is zoals gezegd de VAL3 taal van Stäubli. Deze taal is speciaal door de fabrikant gebouwd voor de besturing van robotarmen.

In een programma zijn er een aantal subroutines, zoals te zien in bovenstaande Cell explorer. Deze subroutines heten pick(), place() en moveMiddle(). Deze subroutines bevatten bijvoorbeeld opdrachten aan de robot om naar een bepaalde positie te gaan met een bepaalde set bewegingsparameters.

In het programma 'Cycle' worden deze subroutines gebruikt om een traject te maken.

De robot gaat bijvoorbeeld van de middenpositie naar de pickpositie. Daar wordt het bakje opgepakt. Vervolgens gaat de robot via de middenpositie naar de placepositie. Daar wordt het bakje neergezet. Als laatste gaat de robot dan weer terug naar de middenpositie.

In code ziet dat er als volgt uit:

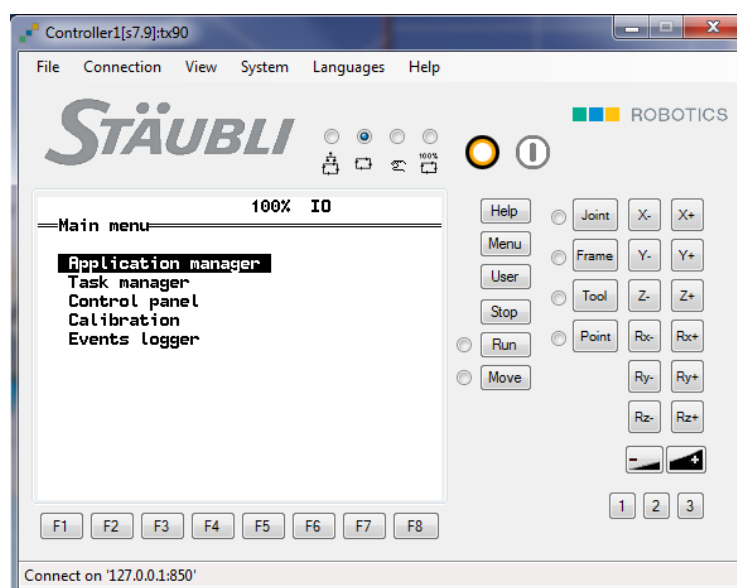
```
1  begin
2  while !bEndCycle
3      userPage()
4      call pick(mMyTool)
5      // call robot_lib:waitReady()
6      call moveMiddle()
7      // call robot_lib:activate()
8      call place(mMyTool)
9      call moveMiddle()
10     nTime = clock() - nStart
11     nStart = clock()
12     cls()
13     gotoxy(2,5)
14     put("Cycle time:")
15     put(nTime)
16 endwhile
17 end
```

In de code wordt de pick() subroutine aangeroepen met mMyTool als parameter. Dat betekent dat de robot bij het berekenen van de positie uit moet gaan van de Tool Center Point (TCP) van de aan de robot bevestigde gripper. Standaard is de TCP het uiteinde van de arm. Als daar een set zuignappen aanzit, zoals eerder in het verslag te zien is, is die TCP niet juist meer. Dat betekent dat er een nieuwe TCP ingesteld moet worden. Dat kan zowel in SRS als op de Manual Control Pendant gedaan worden.

Vervolgens loopt de rest van het traject zoals eerder aangegeven. Ook bij de place() subroutine staat mMyTool als parameter aangegeven.

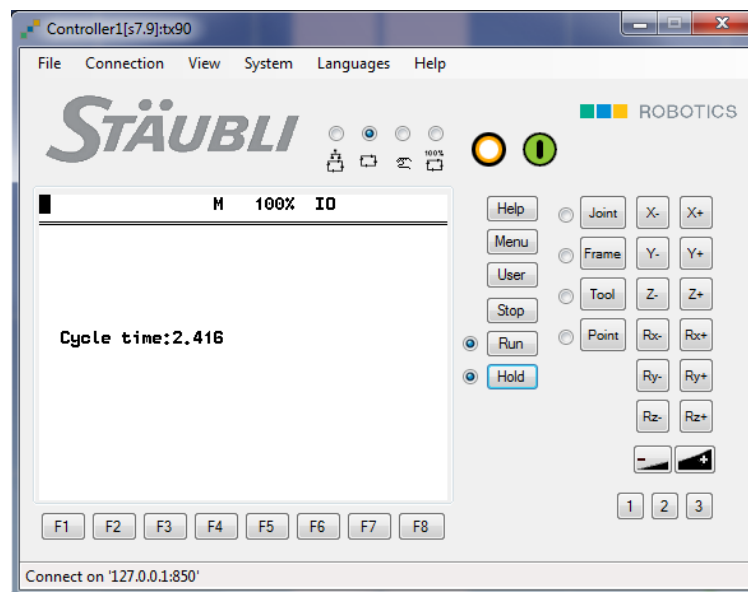
In de code zit een timer, zodat de cycle time bekend is. Over cycles times later meer.

Deze code is te simuleren met behulp van de virtuele Manual Control Pendant (MCP). Dit is een virtuele versie van de MCP zoals die bij de robot geleverd wordt.



20 De virtuele Manual Control Pendant

Deze virtuele MCP heeft net als de echte MCP een user page. Op deze user page kan tekst neergezet worden. In het geval van de gebruikte simulatie komt daar de tijd van de complete bewegingscyclus te staan.



21 User page van de MCP

8.2 Simulaties tijdens ontwerp frame

Tijdens het ontwerpen van de opstelling is er veelvuldig gebruik gemaakt van simulaties in de Stäubli Robotics Suite. Elke nieuwe versie van het frame waar de robot in hangt is geïmporteerd, waarna er wat simulaties gedraaid zijn om te zien hoe de cyclustijden daarop reageren. De problemen die vervolgens optreden worden verholpen in de daaropvolgende versie. Eerst is er bijvoorbeeld de elbow down configuratie gebruikt, later de elbow up, omdat elbow down door de verlaging van het frame botsingen veroorzaakte tussen de robotarm en de tooltip. Elbow up en elbow down zijn termen voor de twee configuraties die een robotarm kan hebben terwijl de tooltip op hetzelfde punt staat.

8.3 Cyclustijden

De verschillende soorten verpakkingen dienen met een bepaalde frequentie verpakt te worden. Deze frequentie is verschillend per soort verpakking. Hieronder staan ze beschreven.

Soort verpakking	Aantal in krat	Hoeveelheid benodigde kratten per minuut	Gewicht	Aantal verpakkingen per minuut	Benodigde cyclustijd bij 1 bakje per cyclus
D15	4	20	1000 gram	78	0.76 seconden
D24	8	13	600 gram	104	0.57 seconden
P1	10	13	250 gram	130	0.46 seconden

Uit deze tabel blijkt dat er voorgeformeerd moet worden. Een cyclustijd van minder dan een halve seconde is voor de gekozen robotarm niet haalbaar. Als er voorgeformeerd wordt ziet de tabel er als volgt uit:

Soort verpakking	Aantal in krat	Aantal per slag	Hoeveelheid benodigde kratten per minuut	Gewicht	Aantal verpakkingen per minuut	Aantal slagen per minuut	Benodigde cyclustijd
D15	4	2	13	2000 gram	52	26	2.30 seconden
D24	8	4	13	2400 gram	104	26	2.30 seconden
P1	10	5	13	1250 gram	130	26	2.30 seconden

Hier wordt een aantal verpakkingen tegelijk opgepakt. Zoals bij de keuze van de robotarm te lezen is, zijn er twee verschillende tooltips, een voor de D15 en D24 bakjes en een voor de P1 bakjes. Bij beide tooltips maakt de arm 26 slagen per minuut, zoals in bovenstaande tabel te zien is. Dit resulteert in een cyclustijd van 2.3 seconden. De kortste cyclustijd met de laatste versie van de opstelling is 2.41 seconden op 160% van de nominale snelheid. Volgens Stäubli kunnen ze de arm nog sneller maken, omdat er vrij ver onder nominaal gewicht wordt gedraaid.

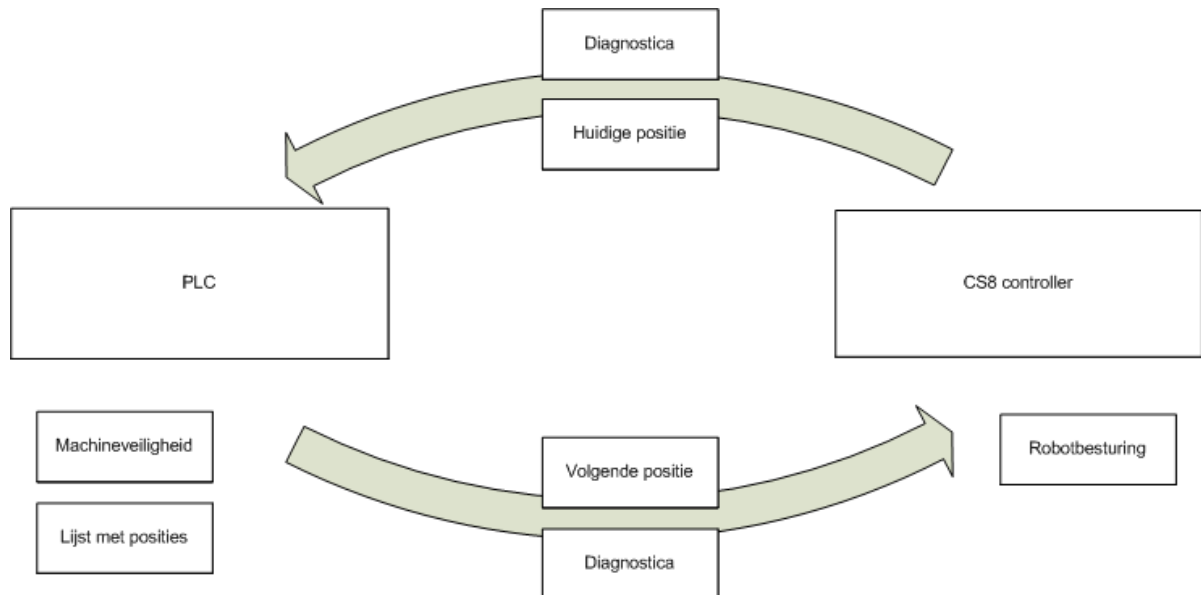
Voor de verschillende tooltips zijn simulaties gedraaid. Hieruit bleek dat de oriëntatie van de tooltips er voor zorgde dat de robot in een singularity terecht kwam. Een singularity is een oriëntatie van de robotarm die maar op een enkele manier te bereiken is. Dit zorgt voor trajecten die langzaam zijn of niet lekker lopen. Nadat daar een onderdeel toegevoegd is dat de hoek van de tooltip aanpast, is dat probleem opgelost omdat de oorzaak van de singularity, namelijk as 5 die naar 0 graden naderde, niet meer voorkomt.

De besturing wordt in de praktijk door de door Stäubli geleverde functieblokken gedaan. Hoe deze functieblokken in de basis werken is eerder in dit verslag uitgelegd.

8.4 Besturing in de praktijk

De daadwerkelijke besturing door de PLC ziet iets anders in elkaar. Omdat VAL3 geen PLC-taal is, zoals FBD en LAD dat wel zijn, is er door Stäubli een manier bedacht om de PLC met de CS8 controller van de robot te laten communiceren. Deze manier van communiceren is door Stäubli UniVALplc genoemd en is eerder in het verslag ter sprake gekomen.

Hieronder kunt u de besturing in grote lijnen zien.



22 De besturing van de robot met de PLC in grote lijnen

De PLC houdt een lijst met posities bij, die in de HMI bekeken en bewerkt kan worden. Daarnaast wordt de machineveiligheid door de PLC gedaan. De PLC stuurt uit de lijst met posities de volgende gewenste positie naar de CS8 controller. De beweging van de robotarm naar die positie wordt door de CS8 controller gedaan. Deze koppelt doorlopend de huidige positie naar de PLC terug.

Er wordt naast bovengenoemde data over en weer diagnostische data gestuurd. Dit is bijvoorbeeld een check op de verbinding of een check of de arm nog operationeel is.

9 Human Machine Interface

De machine is automatisch, maar moet wel bediend, uitgelezen en ingesteld kunnen worden. Daarvoor is een Human Machine Interface of HMI nodig. Deze HMI bestaat uit twee delen, namelijk een testinterface en een gebruikersinterface. De gebruikersinterface is altijd beschikbaar als de machine operationeel is, terwijl de testinterface achter een wachtwoord zit, zodat daar alleen deskundig personeel bij kan. Vergelijk het met een computer, waarbij de belangrijkste instellingen achter een administratorwachtwoord zitten. Dit zorgt ervoor dat de eindgebruiker de machine niet in de vernieling kan draaien door aan instellingen te sleutelen waar hij geen verstand van heeft.

De HMI moet een overzichtelijk geheel worden, ook voor lager geschoold personeel dat de machine bedient.

Het bedieningspaneel waar een deel van de HMI op draait is een TP700 Comfort panel van Siemens. De noodstop is onderdeel van de HMI, hoewel die los staat van het HMI-paneel. Deze noodstop bevindt zich boven de HMI op de besturingskast. Daar zijn ook de overige knoppen voor de bediening van de machine te vinden.

9.1 Eisen testinterface

De testinterface moet de technicus of ontwerper:

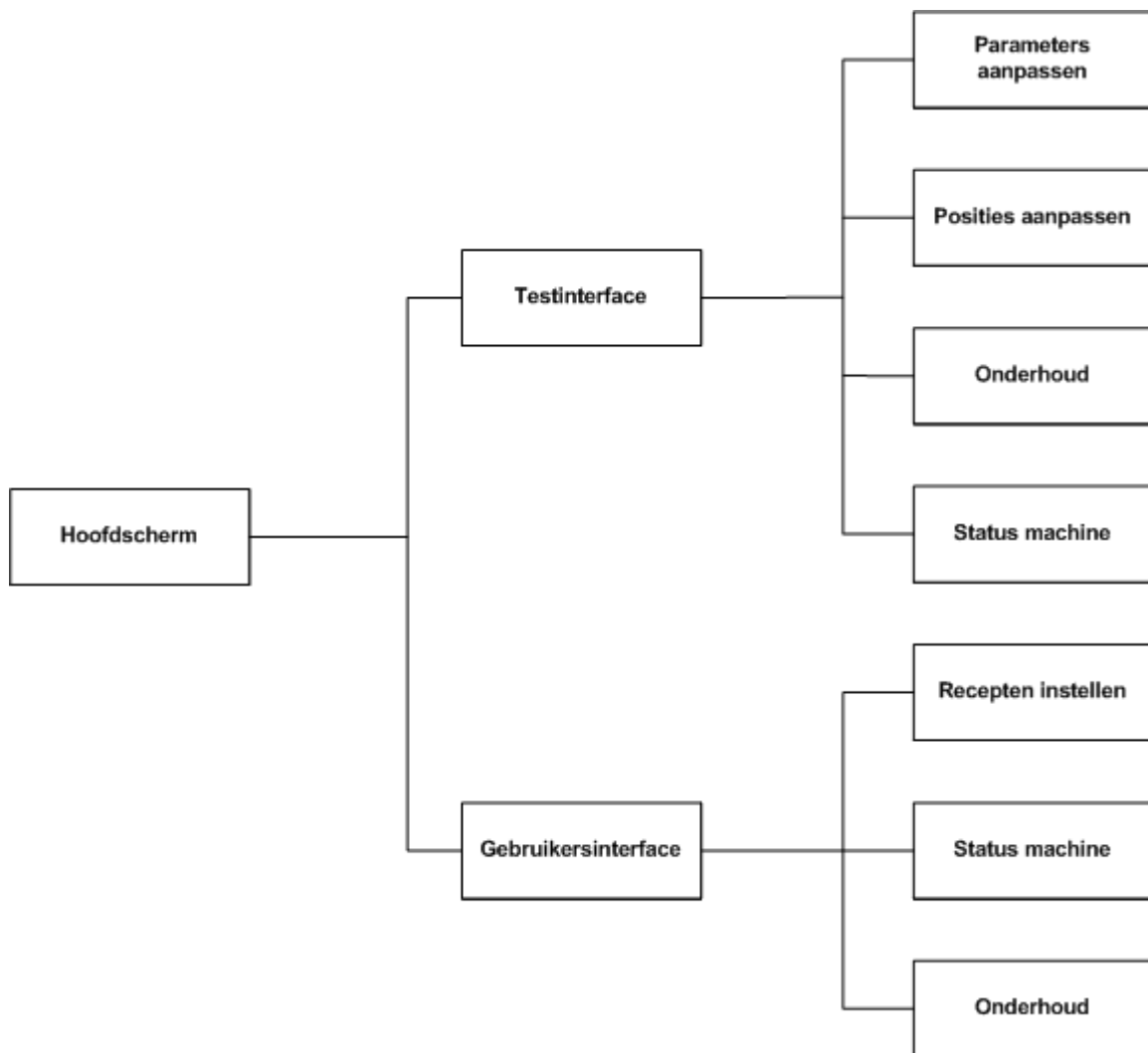
1. inzicht geven in wat er in de machine gebeurt wat betreft snelheden, versnellingen en posities
2. de mogelijkheid geven om verschillende parameters van de machine in te stellen, waaronder het toevoegen van posities en het instellen van snelheden
3. de mogelijkheid geven de machine in de onderhoudsstand te zetten
4. informatie geven over veiligheid, bijvoorbeeld als er een sensor een bedreiging voor de machineveiligheid detecteert. Daarbij moet de machine uit de noodstop te halen zijn.

9.2 Eisen gebruikersinterface

De gebruikersinterface moet de eindgebruiker:

1. inzicht geven in de snelheid van de machine in bakjes en kratten per minuut
2. inzicht geven in de status van de machine (wanneer onderhoud nodig, arm status OK, alle sensoren op veilig.)
3. de mogelijkheid geven verschillende soorten kratten en bakjes in te stellen in verschillende hoeveelheden, zodat de machine altijd de juiste posities afaat
4. informatie geven over veiligheid, bijvoorbeeld als er een sensor een bedreiging voor de machineveiligheid detecteert. Daarbij moet de machine uit de noodstop te halen zijn.

Deze eisen hebben de volgende structuur opgeleverd:



Het hoofdscherm waar de HMI op start ziet u op de volgende pagina. Rechts bovenin staat normaal gesproken de datum, maar omdat die datum uit de PLC gehaald wordt en de screenshots uit de simulatie van de HMI komen, staan hier hekjes. Dat geldt overigens voor alle plekken waar ergens in het scherm hekjes staan.

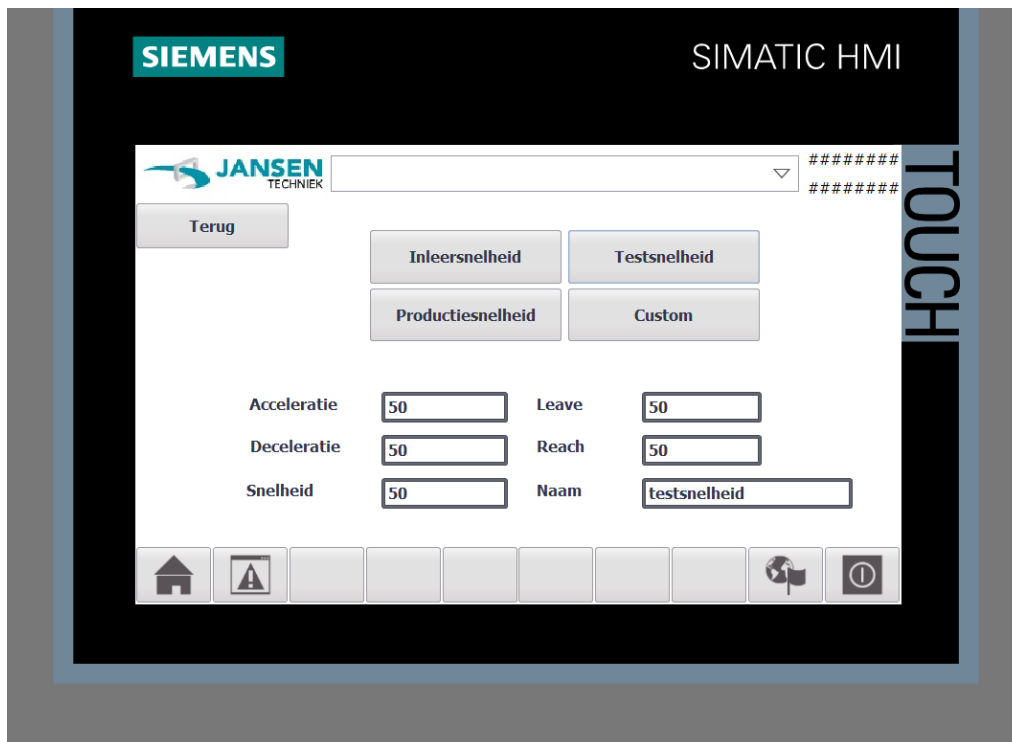


9.3 Uitwerking testinterface

De testinterface heeft vier onderdelen en ziet er als volgt uit:

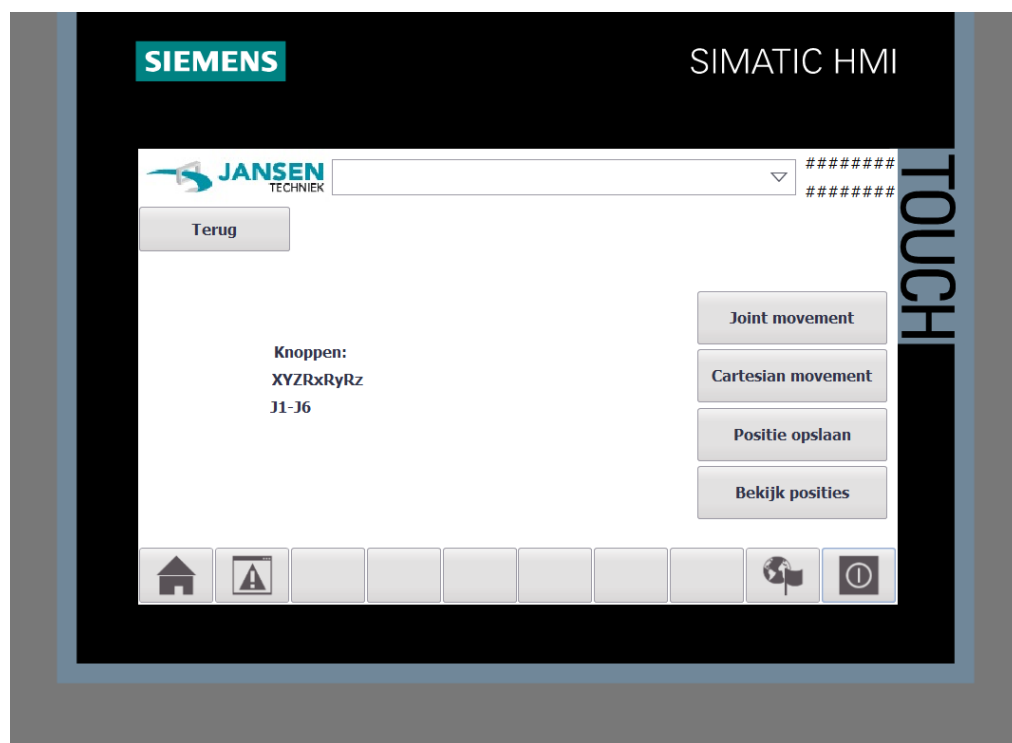


Wanneer de parameters van de beweging die de robot maakt aangepast moeten worden, wordt er op 'Parameters aanpassen' gedrukt. De tester of monteur komt dan in het volgende scherm terecht.



In dit scherm kunnen de verschillende bewegingsparameters worden aangepast. Er zijn verschillende vooraf ingestelde bewegingsparameters gegeven, maar er is ruimte voor een eigen set parameters.

Als op 'Terug' wordt gedrukt, komt het menu van de testinterface weer tevoorschijn. Als daar vervolgens op 'Posities aanpassen' wordt gedrukt, krijgt u het volgende scherm te zien.



Dit scherm is een van de belangrijkste schermen van de HMI, omdat hier de robot aangestuurd kan worden. Aan de linkerkant van het scherm staat wat tekst. Op die locatie komen de knoppen

waarmee de robot aangestuurd kan worden. Deze knoppen krijgen dezelfde functie als de gele knoppen aan de rechterkant van de Manual Control Pendant.

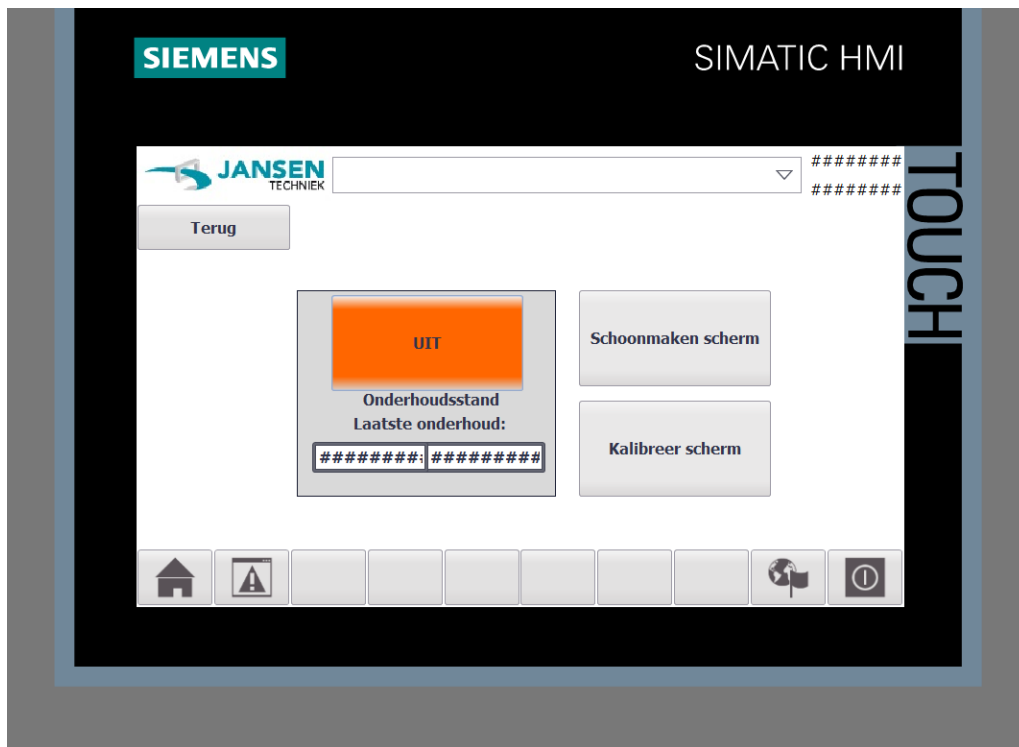


Met deze twaalf knoppen kan de robotarm handmatig bestuurd worden.

Aan de rechterkant van het scherm ziet u vier knoppen, namelijk 'Joint movement', 'Cartesian movement', 'Positie opslaan' en 'Posities bekijken'. Deze vier knoppen maken de besturing van de robot via de HMI af.

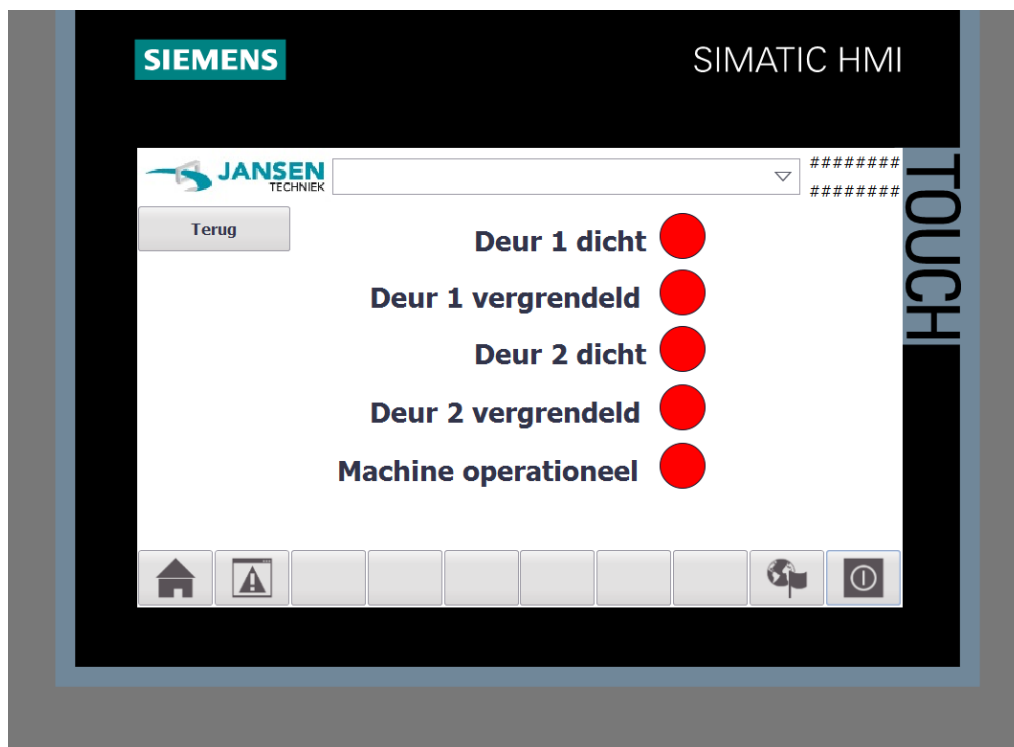
'Joint movement' en 'Cartesian movement' zijn twee bewegingsmodi van de robot. Als 'Joint movement' aan staat kunnen de afzonderlijke gewrichten van de arm bewogen worden. Als 'Cartesian movement' aan staat wordt de tooltip van de robot in het Cartesiaanse coördinatenstelsel bewogen. Met deze bewegingsmodi kan de arm naar een bepaalde positie verplaatst worden, waarna deze positie opgeslagen wordt met de knop 'Positie opslaan'. Mocht het nodig zijn, dan kunnen de posities bekeken worden door de knop 'Posities bekijken' in te drukken.

Het volgende scherm in de testinterface is het onderhoudsscherm.



Dit scherm stelt de monteur in staat om de machine in de onderhoudsstand te zetten, waardoor de robot niet kan bewegen. Dit zorgt dat de machine tijdens het onderhoud veilig is, terwijl hij wel aan staat. Onder de knop is te zien wanneer de machine voor het laatst uit de onderhoudsstand is gehaald. U ziet naast de knop voor de onderhoudsstand nog twee knoppen. De bovenste, 'schoonmaken scherm', zorgt dat het scherm tijdelijk niet reageert op aanraking, waardoor het schoon te maken is. De onderste van de twee, 'kalibreer scherm', opent het kalibratiescherm van de HMI.

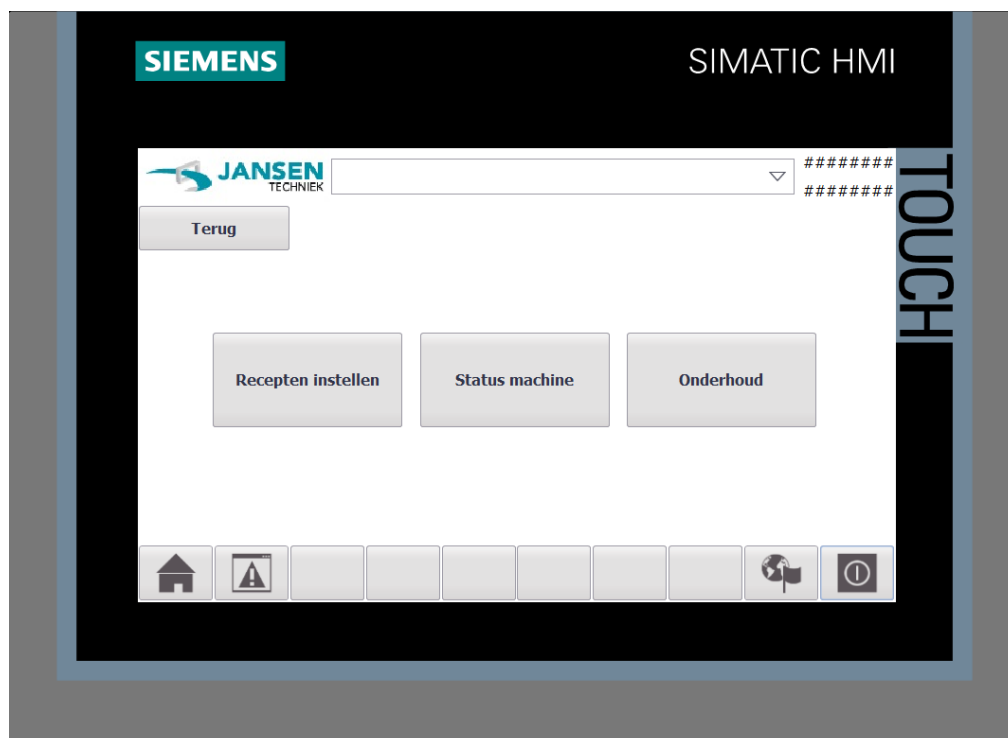
Op het laatste scherm van de testinterface is de status van de machine te zien.



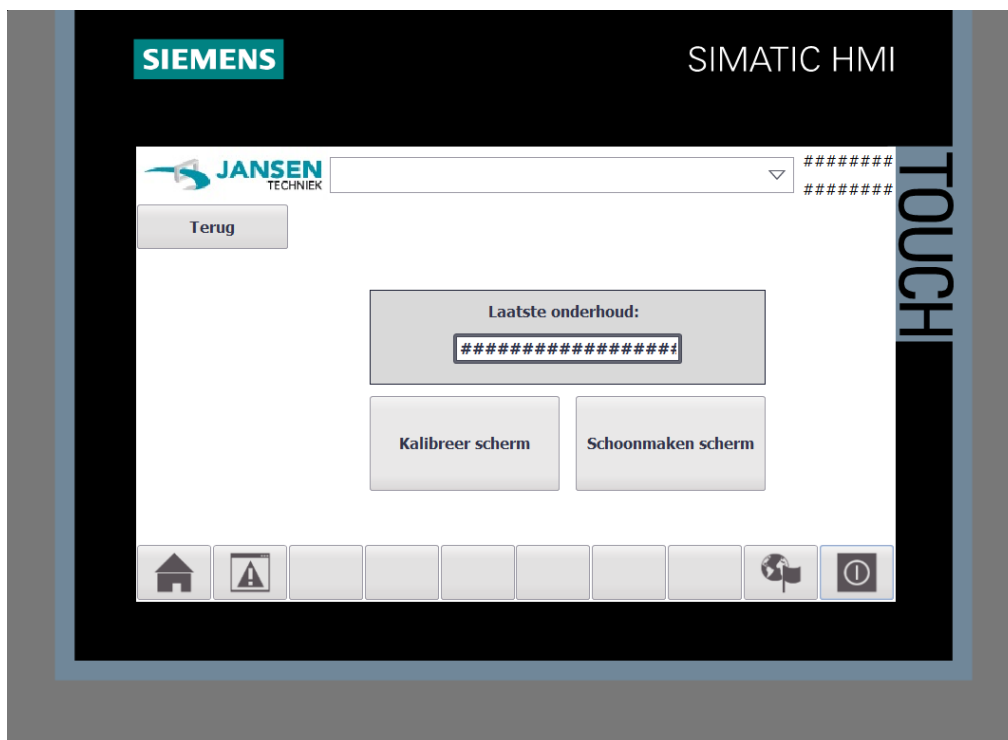
Hier is te zien of de machine operationeel is en wat de status is van de verschillende sensoren die voor de veiligheid zorgen.

9.4 Uitwerking gebruikersinterface

De gebruikersinterface ziet er als volgt uit:

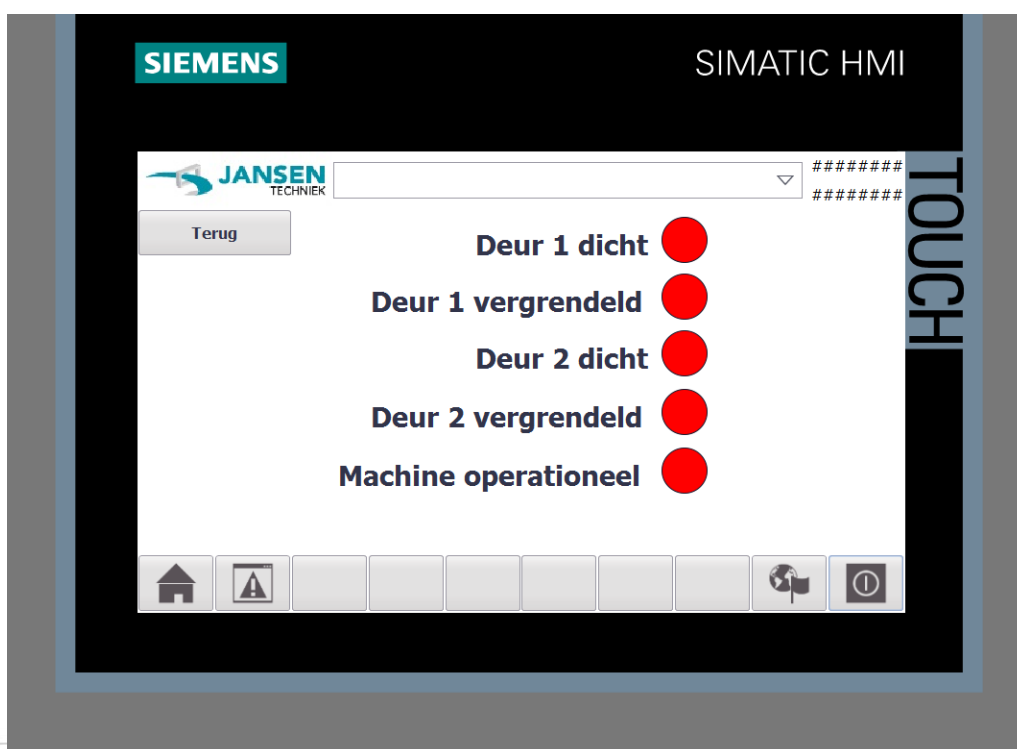


Zoals u ziet bevat de gebruikersinterface drie onderdelen. Twee van deze onderdelen, namelijk 'Status machine' en 'Onderhoud' zijn vrijwel hetzelfde als in de testinterface, met als verschil dat bij 'Onderhoud' de machine niet in de onderhoudsstand gezet kan worden.

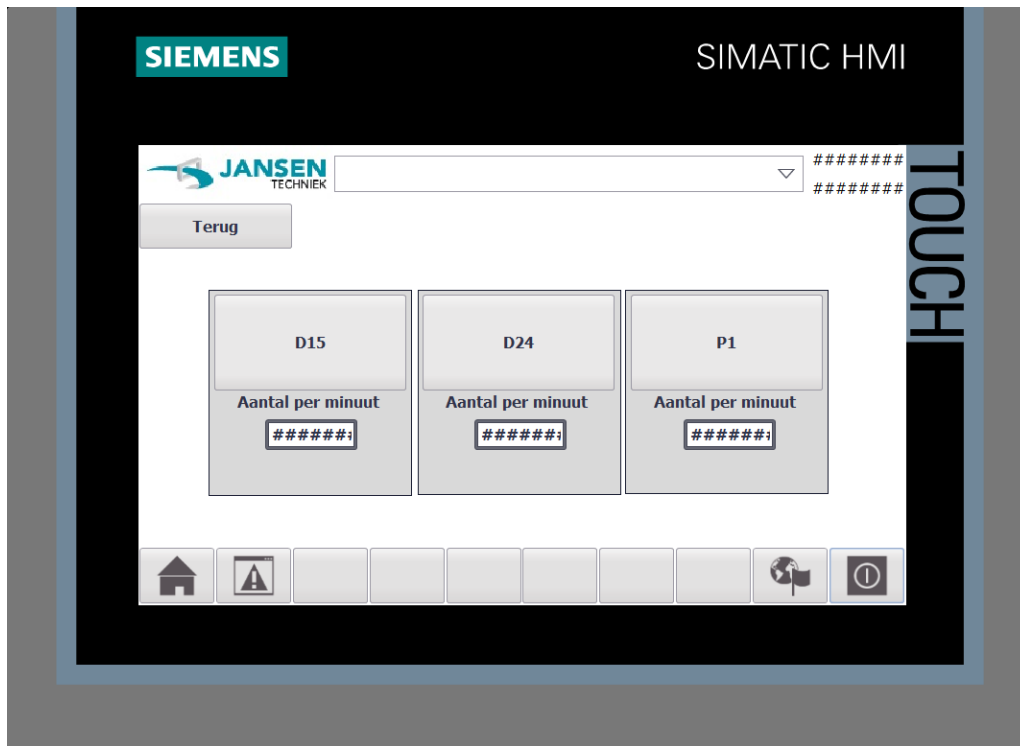


Het kalibreren en schoonmaken van het fysieke scherm is wel mogelijk, net als het bekijken wanneer de machine voor het laatst uit de onderhoudsstand is gehaald.

Het scherm 'Status machine' is hetzelfde als bij de testinterface.



Het laatste scherm van de gebruikersinterface is het scherm waar de recepten ingesteld kunnen worden.



In dit scherm kan de gebruiker het type bakje met daarbij het aantal bakjes per minuut invoeren, zodat de machine weet hoe snel de robotarm moet bewegen.

10 Ontwerp frame

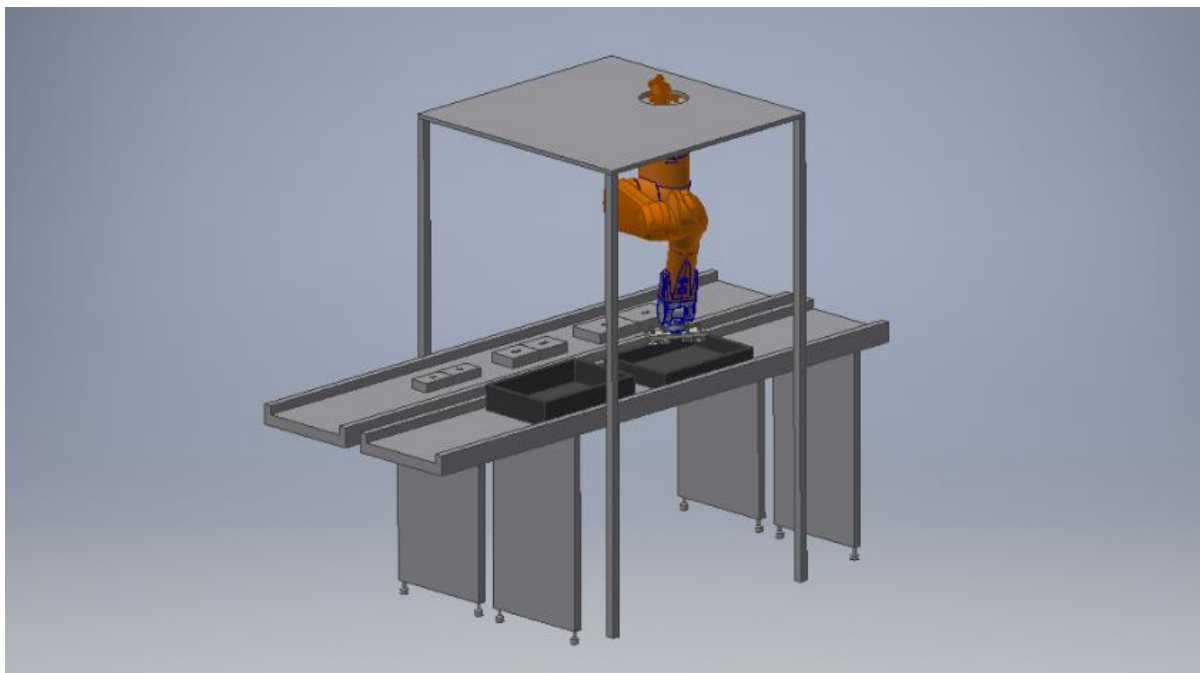
Omdat de robotarm niet in het luchtledige blijft hangen, is er een frame nodig. Dit frame heeft een drieledige functie:

1. Het op zijn plaats houden van de robotarm boven het werkgebied
2. Zorgen dat de robot snel en precies kan werken
3. Zorgen dat het personeel niet gewond raakt. Anders gezegd, het frame is intrinsiek onderdeel van de veiligheidsmaatregelen rond de robotarm.

Het eerste houdt in dat het frame stevig genoeg moet zijn om de robot in rust op zijn plaats te houden. Het tweede betekent dat het frame niet te veel onder belasting mag verplaatsen. Het laatste houdt in dat het een gesloten frame moet worden. Dit gedeelte van het verslag zal vooral gaan over de structurele eigenschappen van het frame. De afscherming van de robot wordt later in het verslag behandeld.

10.1 Versie 1

De eerste uitgewerkte versie van het uitgekozen concept werd gemaakt in Autodesk Inventor 2016. In de tekening ziet u de robotarm, alsmede twee zwarte kratten. Dit zijn de CBL7 en CBL11 kratten. Op de andere band zijn de verschillende formaten bakjes achter elkaar te zien.



23 De eerste versie

Deze eerste versie is in grote lijnen opgebouwd. Het staat op palen van 2300 mm hoog, met daar bovenop een plaat van 1300 bij 1300 mm. Er zit een gat in waar de robot op bevestigd kan worden. De banen die eronder staan, met wat er op de banen staat hebben de correcte maatvoering zoals het bij de klant staat.

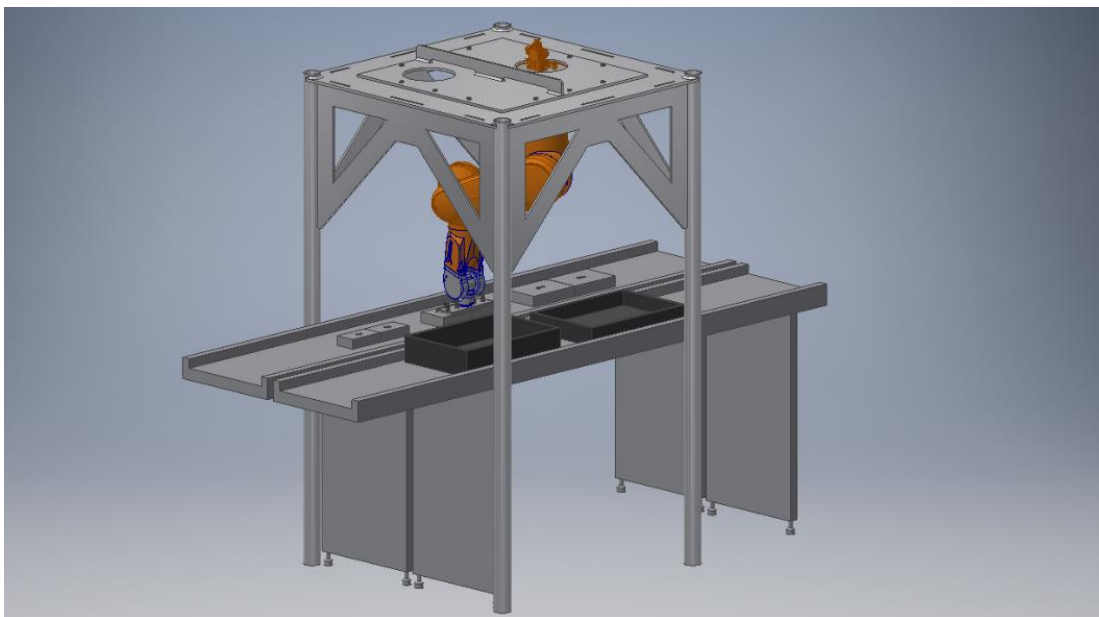
Het was de bedoeling om met deze eerste versie te gaan simuleren om te kijken wat de cyclustijd is. Dat was echter niet mogelijk omdat er voor het simulatieprogramma nog geen licentie was. Daar moest op gewacht worden en in de tussentijd is het frame verder uitgewerkt. De grote lijnen van het frame werden niet aangepast, omdat in de conceptkeuze al beslist was dat het deze variant ging worden.

10.2 Versie 2

10.2.1 Opbouw

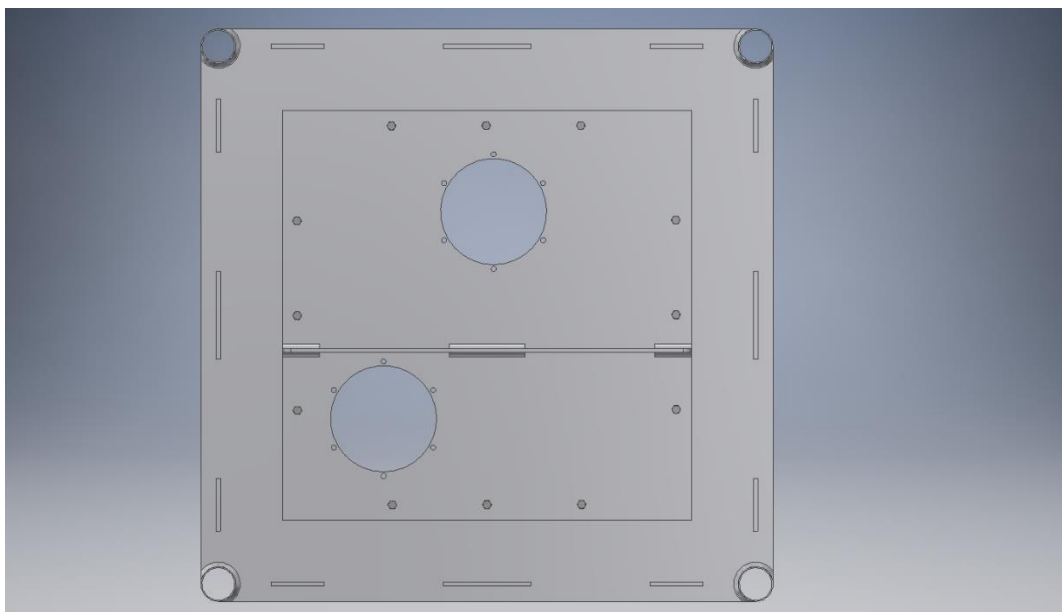
De voordelen van dit ontwerp:

- De ophanging van de robot is op locatie in te stellen
- Het grootste deel van het frame is laser gesneden plaatmetaal
- De schoren zijn aan alle zijden hetzelfde



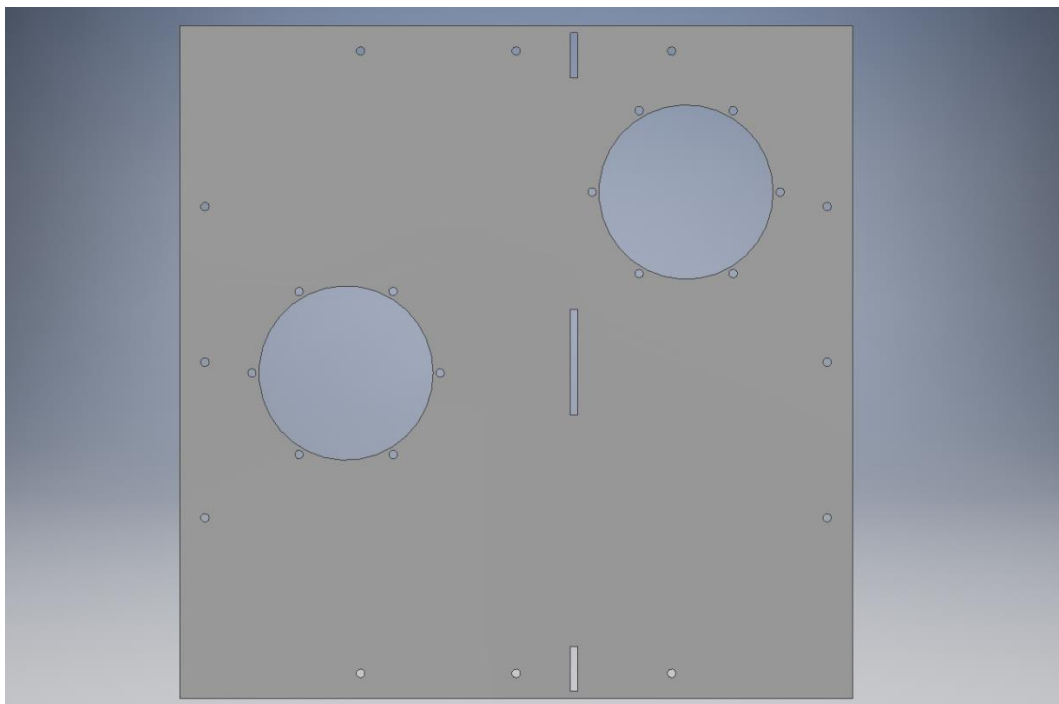
24 De tweede iteratie

De ophanging van de robot is op locatie in te stellen. Er zitten in de bovenste plaat twee gaten. Deze gaten zijn bedoeld voor de ophanging van de robot. Het dak is opgebouwd uit twee platen. Zoals in onderstaande afbeelding te zien is, is de buitenste plaat vast gelast aan de poten en de schoren. De binnenste plaat wordt met twaalf M12 bouten vastgemaakt aan de buitenste plaat. De gaten voor deze bouten bevinden zich op elke zijde op dezelfde plek. Dit betekent dat de plaat op vier manieren opgehangen kan worden, waardoor er acht mogelijkheden zijn om uit te kiezen als de robot op locatie opgehangen wordt.

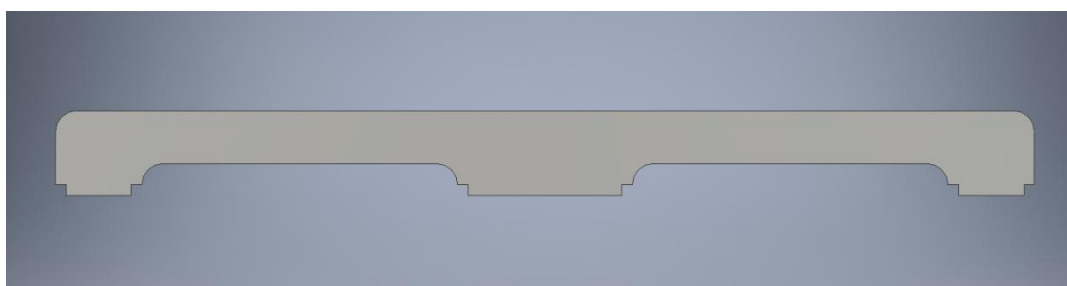


25 Het dak van het frame, opgebouwd uit twee platen en een rib ter versteviging

De binnenplaat is voorzien van een rib voor extra stevigheid. Deze rib heeft drie verbindingplaatsen, waar de rib in de uitsparingen in de binnenplaat valt en vervolgens vast gelast wordt.

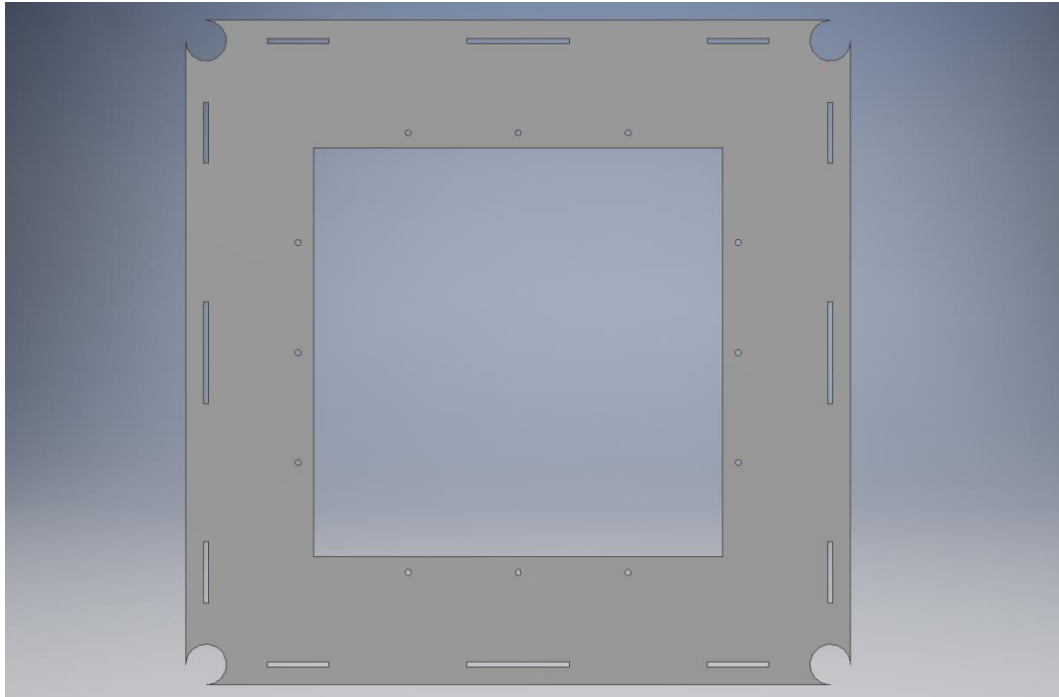


26 De binnenplaat



27 De verstevigingsrib

De buitenplaat, zoals hieronder te zien, heeft dezelfde soort uitsparing aan de buitenrand. Op de buitenplaat dienen deze uitsparingen om de schoren in vast te maken. De ronde uitsparingen op de hoeken zijn voor de palen van het frame. Deze worden vast gelast op de buitenplaat. In de binnenrand van de buitenplaat ziet u de gaten voor de M12 bouten om de binnenplaat vast te maken.

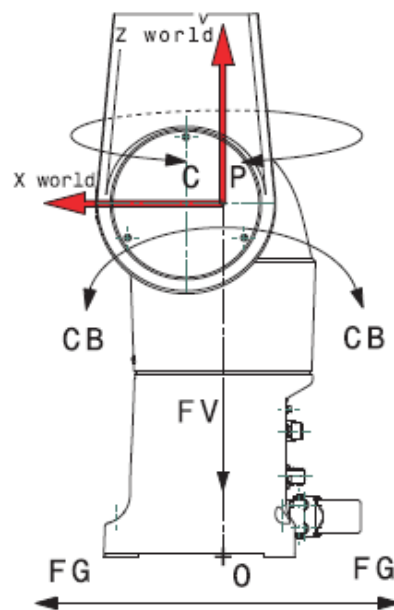


28 De buitenplaat

10.2.2 Simulaties

Dit ontwerp is gesimuleerd in Autodesk Inventor 2016. In de 'stress analysis' simulatie kunnen krachten en verankeringspunten ingevoerd worden. Het materiaal van het frame wordt gespecificeerd, in ons geval RVS type 304. Het programma kent dan de materiaaleigenschappen, waarna in combinatie met de ingevoerde krachten berekend kan worden hoe het materiaal reageert.

De maximale krachten die de robot kan veroorzaken zijn overgenomen uit [7]. Ze zijn hieronder te zien.



$$F_g = 1144 \text{ N}$$

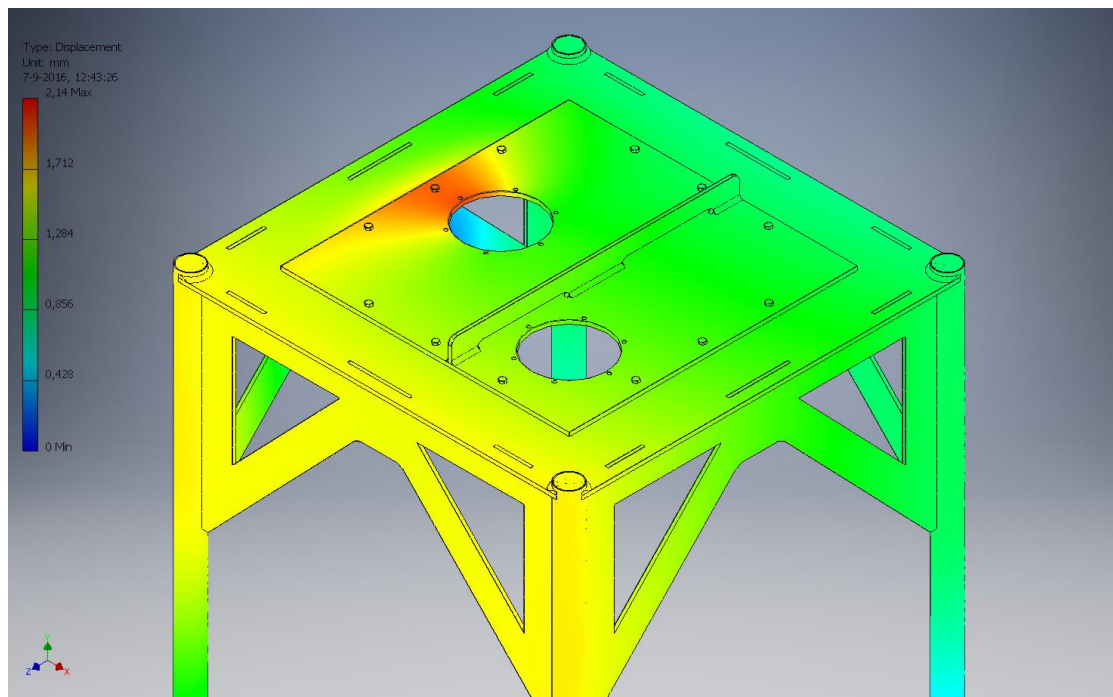
$$F_v = 1767 \text{ N}$$

$$C_b = 1350 \text{ Nm}$$

$$C_p = 735 \text{ Nm}$$

Deze krachten treden bij de TX90 volgens de documentatie op bij een last van 6 kg met as 5 op 195 mm van het nulpunt en as 6 op 80 mm van het nulpunt. Dit nulpunt is in bovenstaande afbeelding te zien.

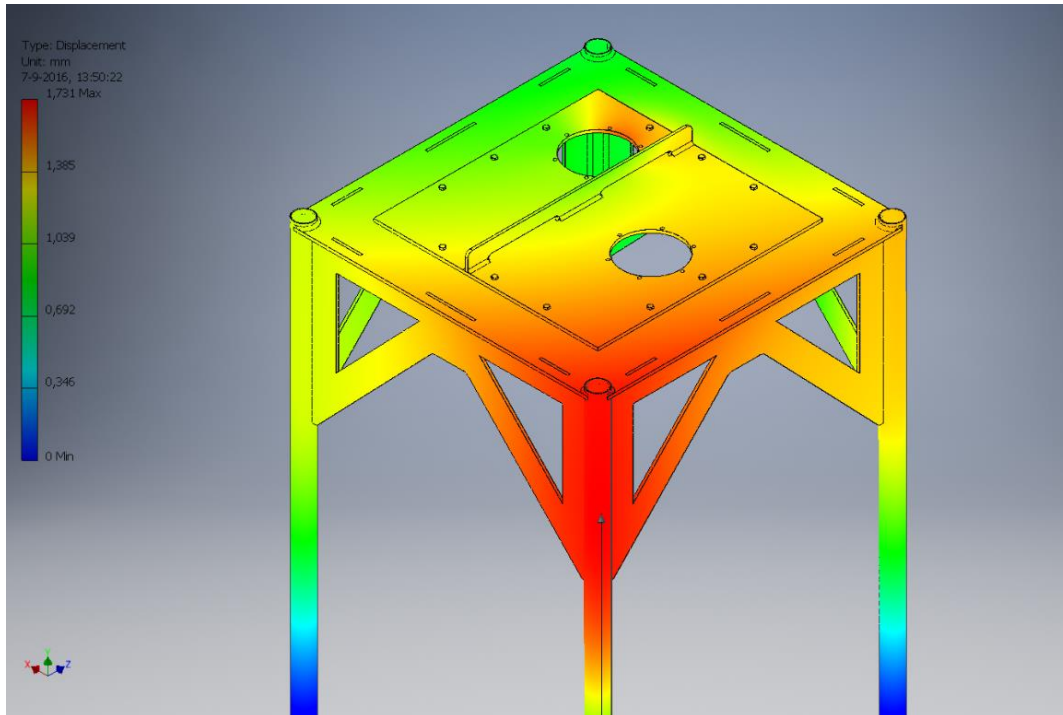
Voor de simulatie zijn al deze krachten en momenten tegelijkertijd op het frame gezet. Dit is niet realistisch, maar als het frame dat aankan, is het normale gebruik helemaal geen probleem.



29 Simulatie met de robot in het middengat

Als de simulatie klaar is zijn de resultaten te bekijken. In bovenstaande afbeelding is de robot in het middengat gehangen. De verschillende interne materiaalspanningen zijn te zien door middel van kleur. Blauw is weinig tot geen spanning, en via een aantal kleuren gaat het naar de maximale interne spanning, die in rood is weergegeven. Ook de materiaalverplaatsing is te bekijken. Dat kunt u in afbeelding 33 zien. De maximale verplaatsing bevindt zich naast het gat waar de robot is gemonteerd zit. Daar is de verplaatsing 2.14 mm. De rest van het frame is weinig tot niet verplaatst. De poten kunnen nog extra verstevigd worden met dwarsbalken.

Als de robot in het andere gat gehangen wordt, ziet de verplaatsing er als volgt uit:



30 Simulatie met de robot in het randgat

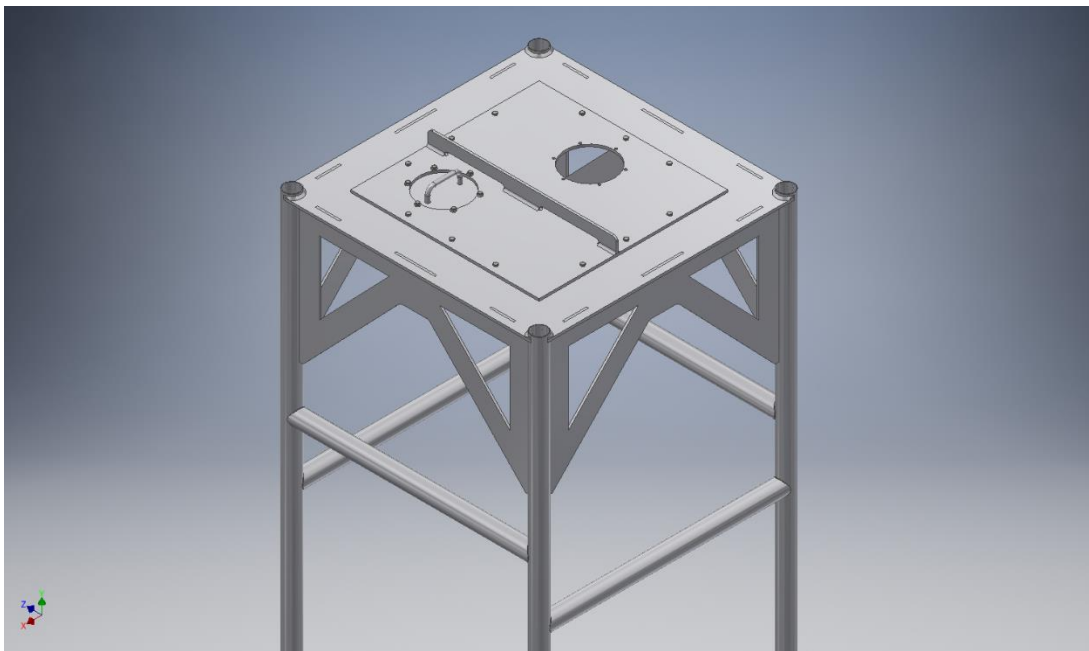
Dit keer zit de maximale verplaatsing aan de buitenkant van het frame en rond het gat. De maximale verplaatsing is 1.731 mm.

Deze verplaatsingen zijn klein, maar kunnen toch een impact hebben op de nauwkeurigheid van de robotarm. Omdat de bakjes met zuignappen worden opgetild is er wel een bepaalde foutmarge. De verwachting is dat deze verplaatsingen geen problemen opleveren en het frame stevig genoeg is.

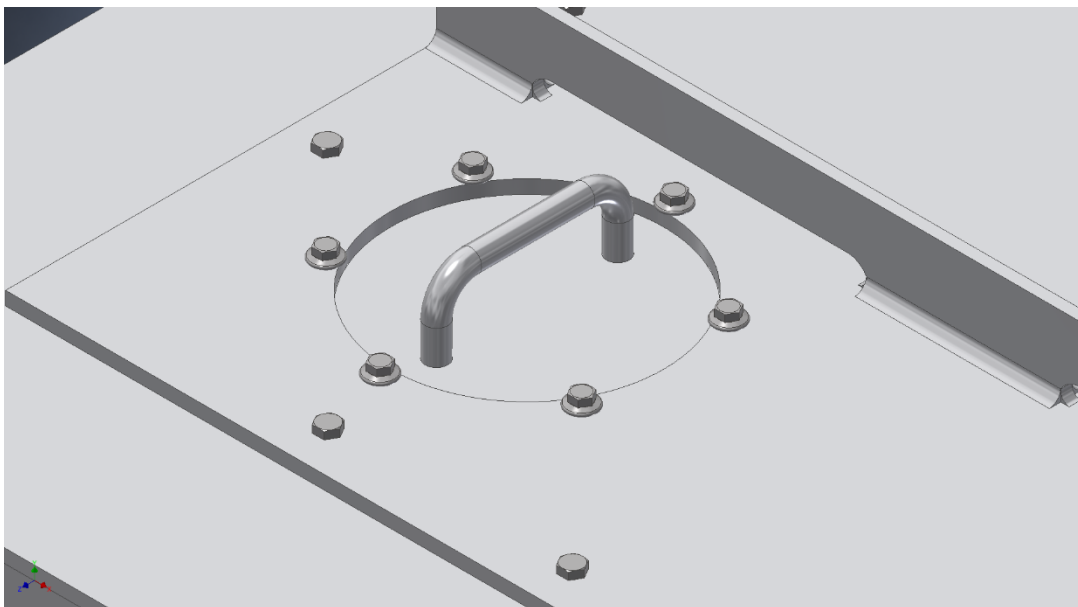
De stabiliteit van de poten wordt nu verbeterd door dwarsbalken toe te voegen. Dit resulteert in versie 3.

10.3 Versie 3

In onderstaande afbeelding zijn dwarsbalken en een afdekplaat voor het tweede gat toegevoegd. De 6 mm dikke afdekplaat is vastgemaakt met M12 bouten op dezelfde gaten als waar de robot op wordt gemonteerd. Het deksel heeft een handvat zodat de monteur het vast kan houden terwijl de bouten aangedraaid worden.



31 De derde iteratie



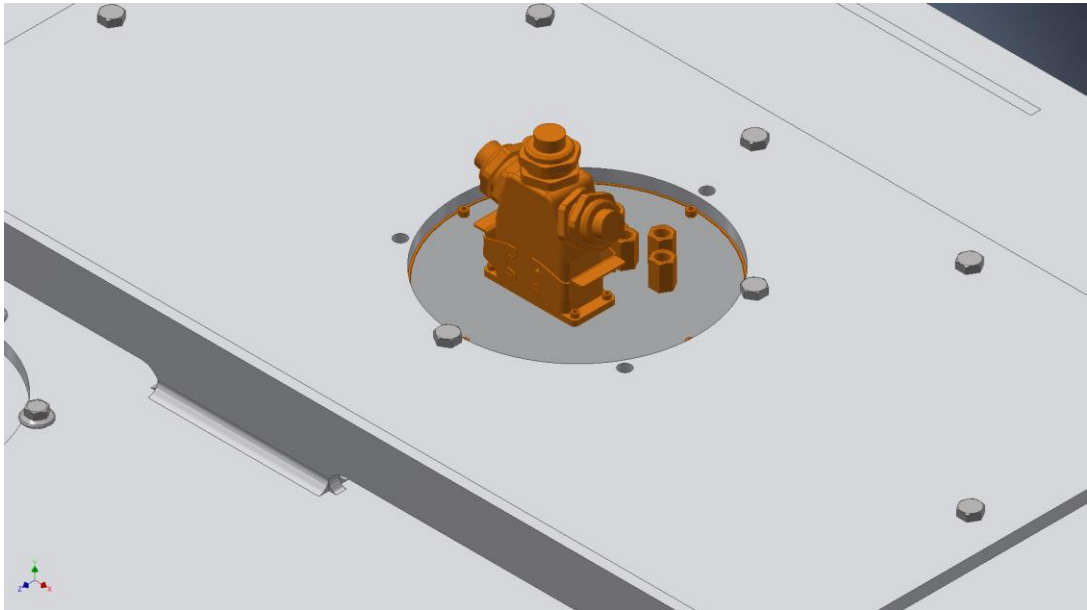
32 De afdekking voor het niet gebruikte gat in het dak

In deze uiteindelijke versie zijn de beide bovenplaten uit 12 mm dik 304 RVS plaat gesneden. De rib en de schoren zijn uit 10 mm 304 RVS plaat gesneden. De poten van het frame zijn van hetzelfde materiaal gemaakt en zijn 80 mm doorsnee met een wanddikte van 5 mm.

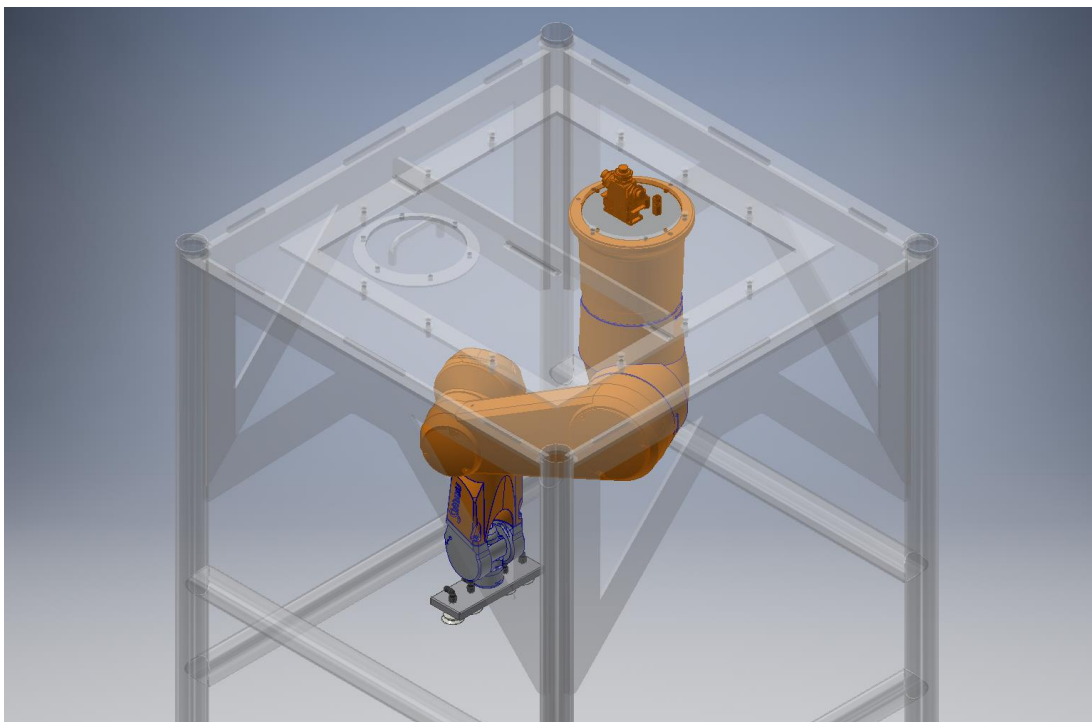
10.4 Ophanging robot

Volgens de handleiding van de robotarm [8] dient deze bevestigd te worden met drie bouten CHc M12 klasse 12.9. Deze klasse bestaat uit twee getallen. Het eerste getal geeft aan bij hoeveel kilogram per vierkante millimeter de bout het begeeft. Het tweede getal geeft aan bij welk percentage van het eerste getal de bout uit begint te rekken, in dit geval dus 90%. CHc betekent dat

het een zogenaamde hex socket cap screw is, oftewel een inbusbout met ronde kop. In de 3D-tekening is overigens een andere bout gebruikt, maar dit is niet van invloed op de simulatie.



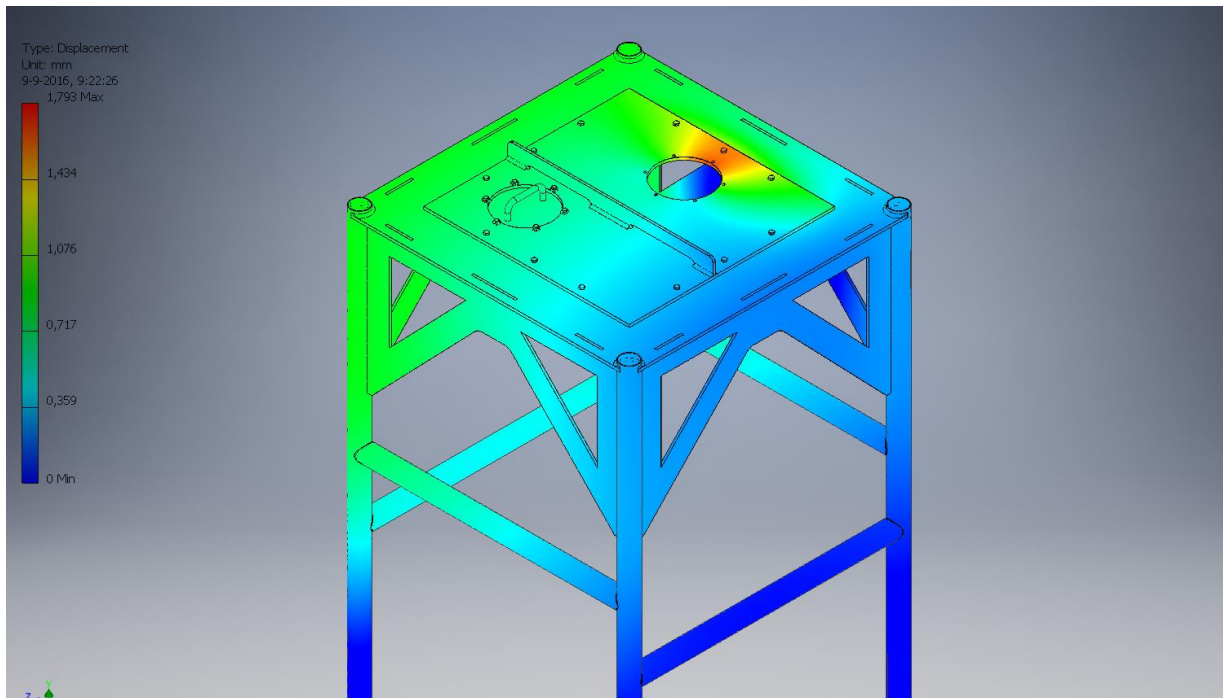
33 De bevestiging van de robotarm aan de binnenplaat



34 De robotarm op zijn plek in het frame

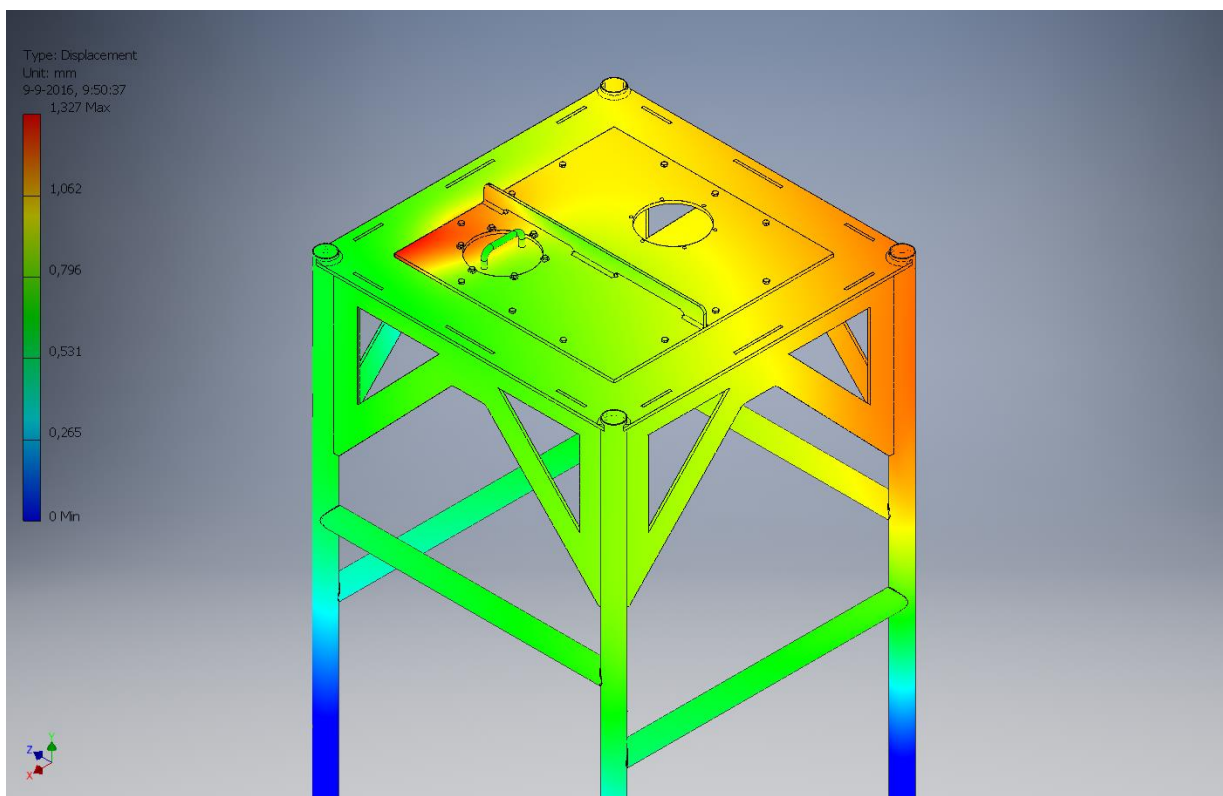
10.4.1 Simulaties

Deze derde iteratie is weer gesimuleerd. Dezelfde krachten zijn toegepast met dezelfde randvoorwaarden. Als de krachten op het middengat worden gezet is de maximale verplaatsing daar 1.793 mm. Dat is 0.347 mm minder dan bij versie 2.



35 Simulatie van versie 3 met de robot in het middengat

Als de robot in het randgat wordt geplaatst is de maximale verplaatsing 1.327 mm. Dat is 0.404 mm minder dan bij de vorige versie.



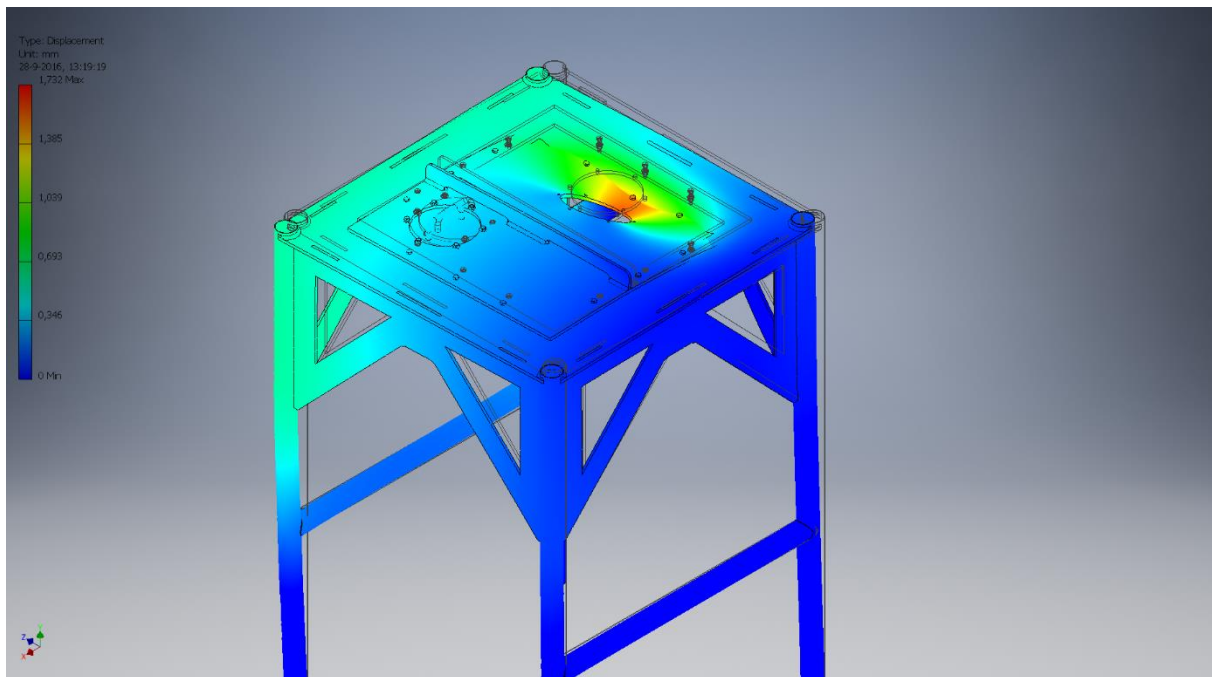
36 Simulatie van versie 3 met de robot in het randgat

10.5 Versie 4

In versie 4 is het frame lager gemaakt, zodat de robot niet constant aan de rand van zijn werkbereik hoeft te werken. Dit werken aan de rand van het werkbereik was te zien in de simulatie in SRS, waarvan inmiddels de licentie binnen was. Doordat het frame lager wordt raken de hogere dwarsbalken de kratten op de baan. Deze balken zijn weggehaald. Hierdoor veranderen de eigenschappen van het frame en is een nieuwe simulatie nodig.

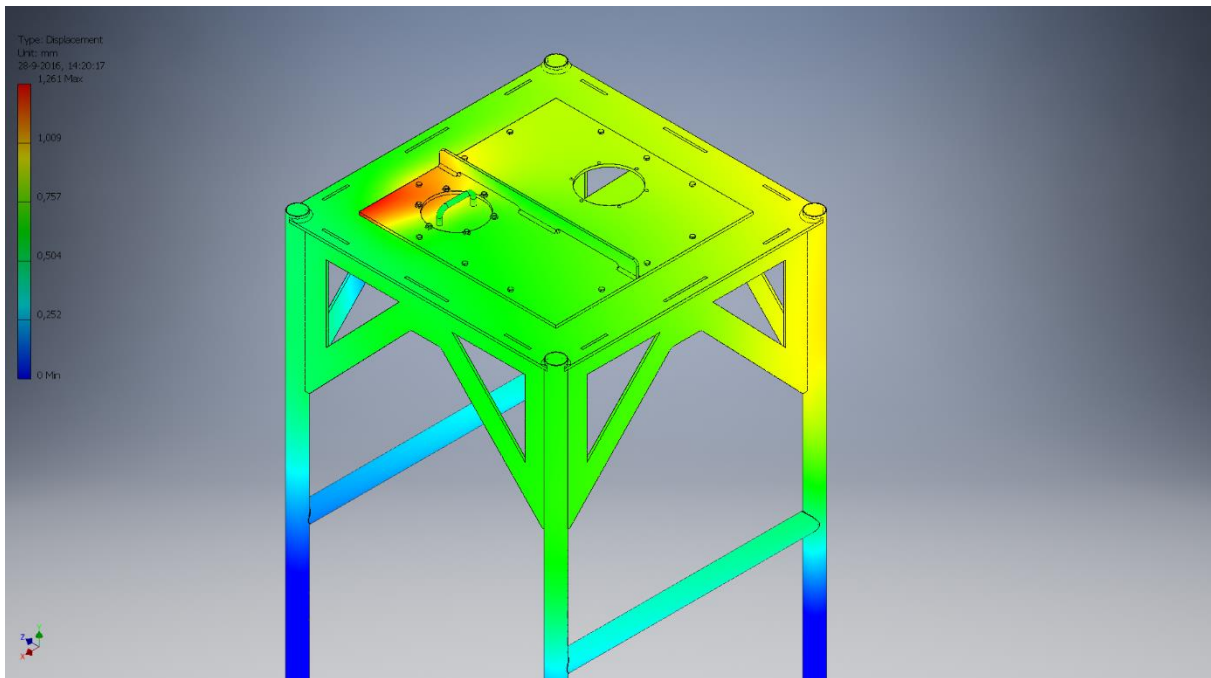
10.5.1 Simulaties

Het frame is weer gesimuleerd met dezelfde krachten. Plaatsing in het middengat levert een maximale verplaatsing van 1.732 mm op, hieronder in oranje te zien.



37 Simulatie van versie 4 met de robot in het middengat

Als de robot in het randgat geplaatst wordt, levert dat een maximale verplaatsing van 1.261 mm op.



38 Simulatie van versie 4 met de robot in het randgat

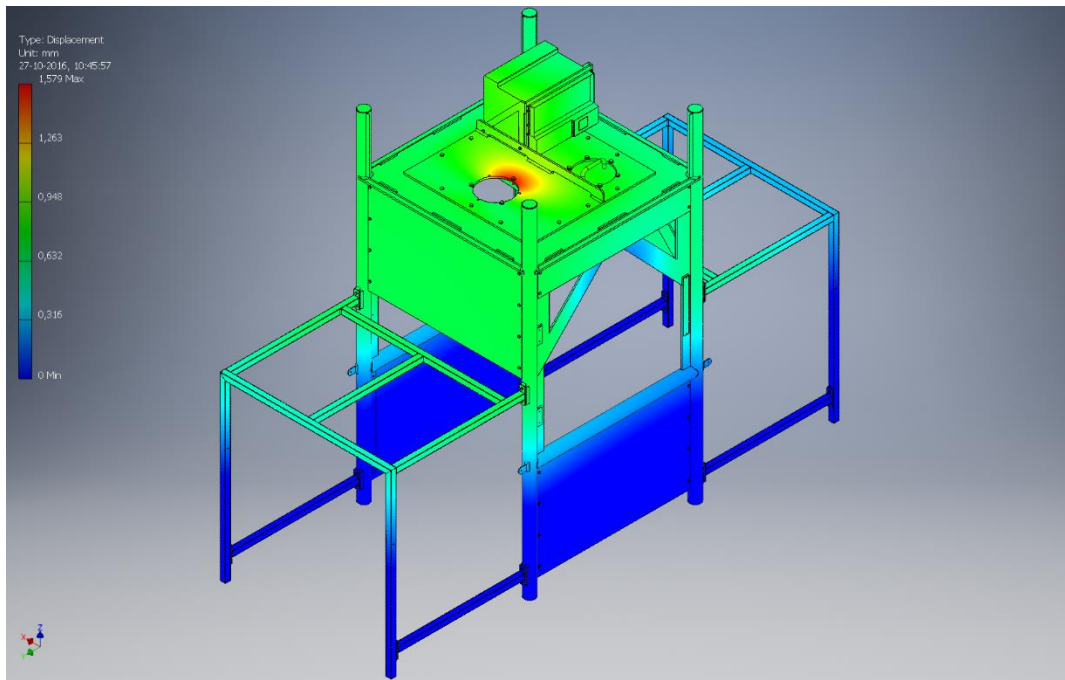
10.6 Versie 5

In versie 5 zijn wat kleine wijzigingen doorgevoerd. De palen van het frame zijn aangepast naar een bestelbare dikte. Deze palen waren rond 80 mm, met een wanddikte van 2.5 mm. De korte benaming hiervan is rond 80x2.5. Deze maat was niet te bestellen bij de leverancier. De maten die te krijgen waren rond 80x2 en rond 80x5. Er is kort onderzoek gedaan naar hoe het frame reageert op beide maten, waarna een keuze is gemaakt.

10.6.1 Simulaties middengat

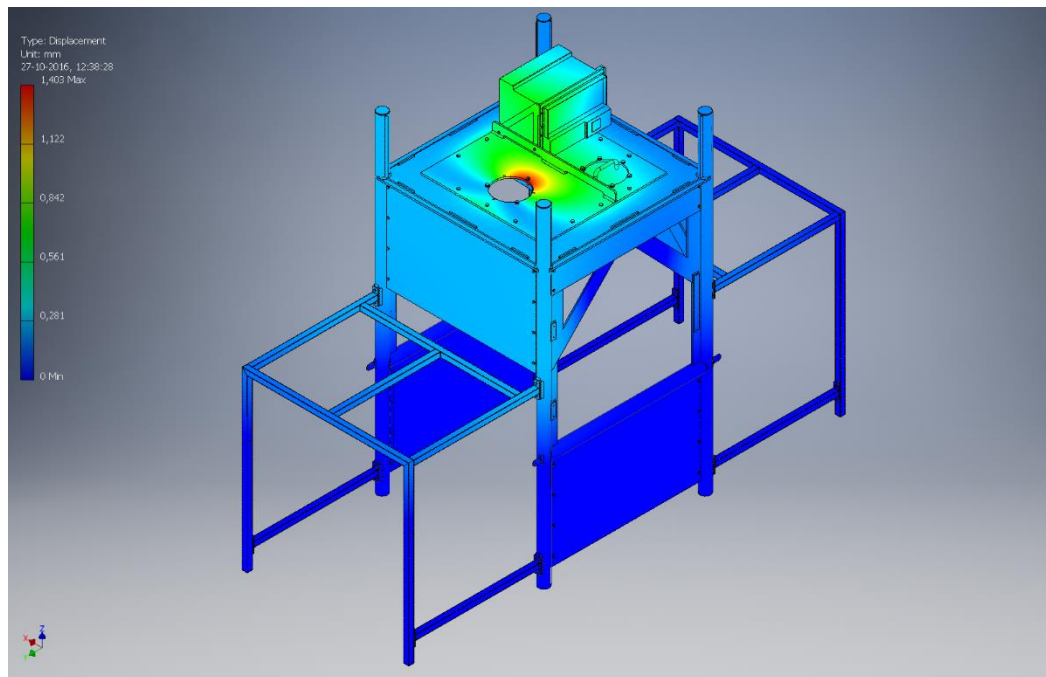
Het frame is weer gesimuleerd met dezelfde krachten. Onderstaande afbeeldingen geven de verschillende resultaten. De simulatie is gedaan bij beide wanddiktes.

Wanddikte 2 mm levert het resultaat op de volgende pagina op. De maximale verplaatsing is hier in oranje 1.579 mm.



39 Robot in het middengat bij een wanddikte van 2 mm

Als de wanddikte naar 5 mm verhoogd wordt ontstaat het volgende plaatje:

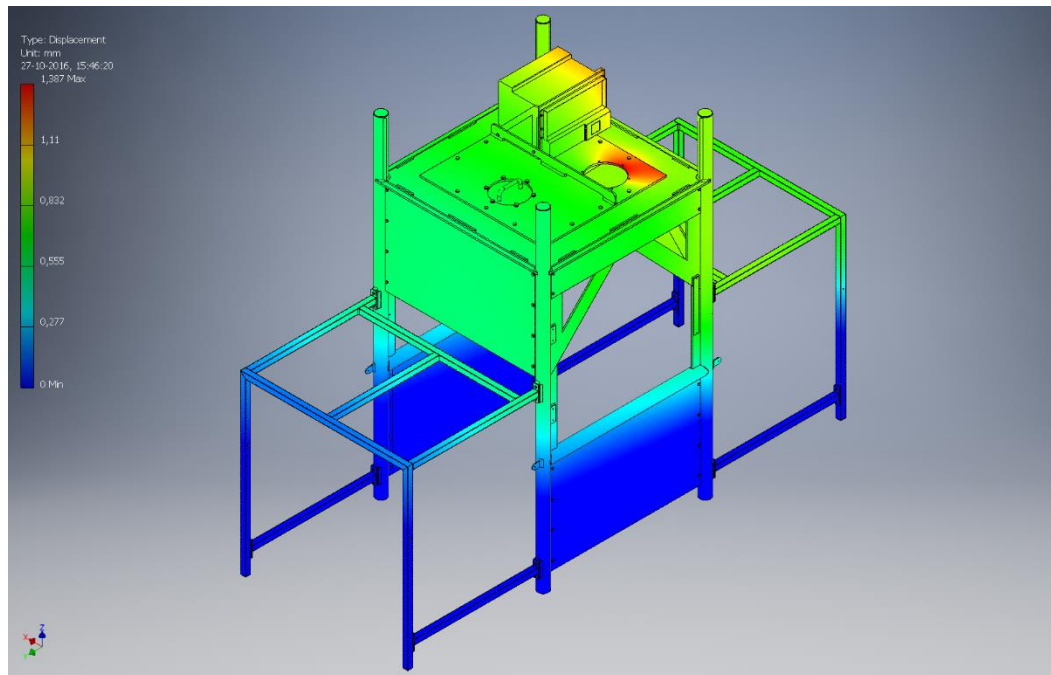


40 Robot in het middengat bij een wanddikte van 5 mm

Hier is te zien dat de maximale verplaatsing verlaagd is naar 1.403 mm en veel lokaler is. De verplaatsing werkt veel minder door naar de rest van de constructie.

10.6.2 Simulaties randgat

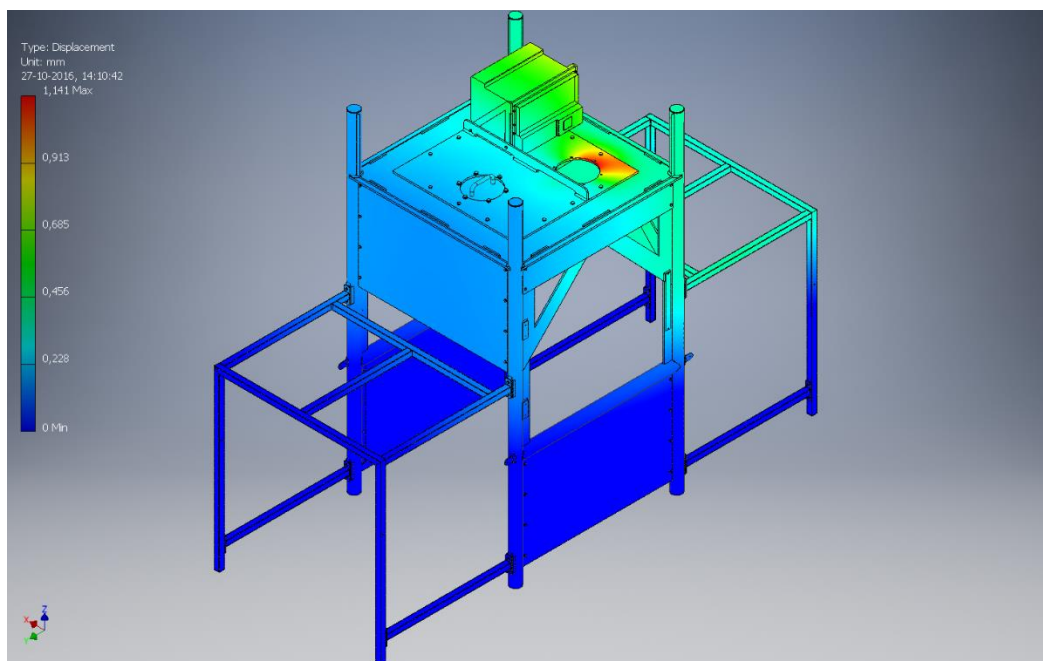
Simulatie in het randgat levert eenzelfde beeld op. Hier zijn weer dezelfde krachten gebruikt.



41 Robot in het randgat bij een wanddikte van 2 mm

Hier is de maximale verplaatsing 1.387 mm en werkt deze door in een groot gedeelte van het frame.

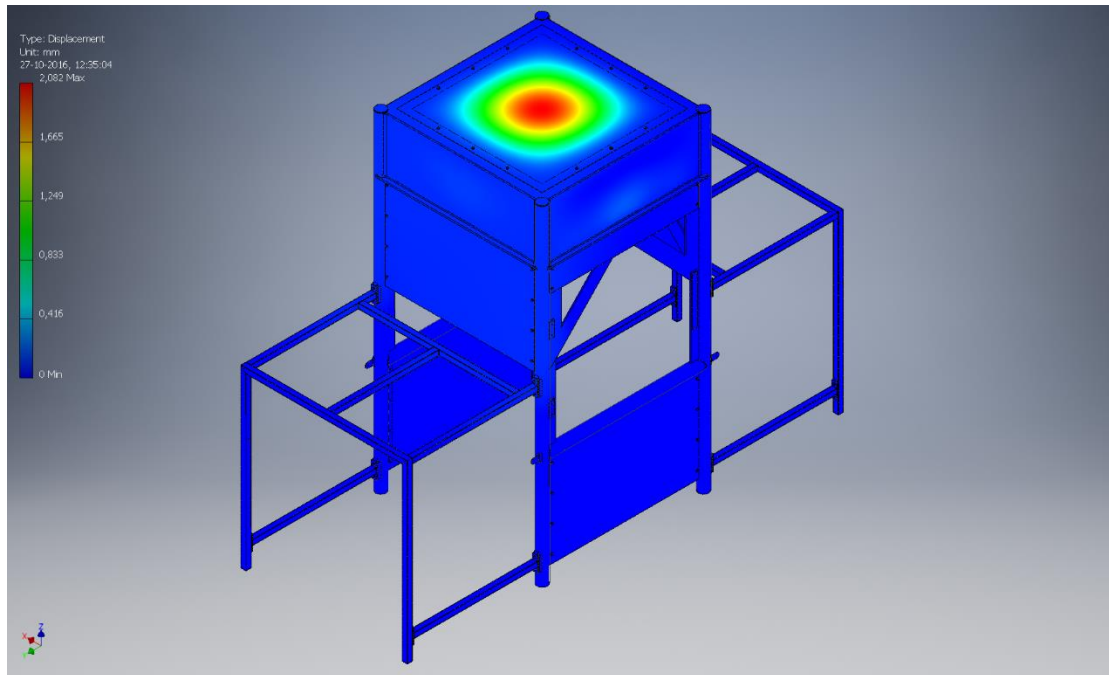
Wanneer de wanddikte van de framepalen wordt verhoogd is net als bij de simulatie van het middengat te zien dat het frame een stuk stijver wordt.



42 Robot in het randgat met een wanddikte van 5 mm

De maximale verplaatsing is verlaagd naar 1.141 en deze verplaatsing werkt ook minder door naar de rest van het frame.

De kap die over de bovenkant van de opstelling geplaatst is, is in de simulaties die hierboven gedaan zijn niet te zien, maar wel meegenomen. Omdat de simulatieresultaten er anders allemaal hetzelfde uit zouden zien, is deze kap onzichtbaar gemaakt in de resultaten. Hieronder is te zien wat er gebeurt als de kap er op staat:



43 Simulatie met de robot in het middengat, waarbij de kap in de resultaten niet onzichtbaar gemaakt is

Zoals u ziet is dat niet een heel spannende uitslag. Het deksel van de bovenkant zakt 2 mm door. Dat komt omdat Autodesk Inventor geen optie heeft om een kruiszetting in een plaat te zetten. Als deze kruiszetting er eenmaal in zit geeft dat extra stijfheid aan het deksel, waardoor deze niet gaat doorhangen.

10.7 Eigenfrequentie

Een collega van engineering kwam met de suggestie om de eigenfrequentie door te rekenen, zodat bepaald kan worden of de robot het frame overmatig in trilling kan brengen.

Dit kan berekend worden door de volgende formule:

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

Waarbij ω de eigenfrequentie is in radialen per seconde, m de massa in kilogram is en k volgt uit de volgende formule:

$$k = \frac{F}{s}$$

waarbij F de kracht in newton op het frame is en s de verplaatsing in meters. Voor de kracht F is 1144 N genomen, omdat dat de maximale kracht langs de bovenkant van het frame is. Voor s is de verplaatsing uit de simulatie van versie 4 genomen. Dit levert voor beide gaten een getal op. Dit getal wordt samen met massa m , wat in dit geval de massa van de robotarm plus de massa van de bovenste helft van het frame is.

Dit levert een eigenfrequentie van 7 respectievelijk 6 Hz, voor het middengat en het randgat. Deze eigenfrequenties leveren pas een probleem op als de cyclustijd van de robot hierop gaat lijken. De snelste robot van Stäubli haalt 200 picks per minuut, wat neerkomt op een frequentie van 3.33 Hz. De TX90 is een stuk langzamer dan deze snelste robot. De berekende eigenfrequenties van het frame leveren dus voor onze situatie geen probleem op.

11 Veiligheid

11.1 Opstelling

Om de machine in de uiteindelijke omgeving veilig te laten functioneren zijn er een aantal ontwerpkeuzes gemaakt. Deze keuzes zijn gemaakt aan de hand van machinerichtlijn 2006/42/EG [9]. Deze machinerichtlijn handelt onder andere over de veiligheid van machines, waarbij geïntegreerde veiligheid erg belangrijk is. Geïntegreerde veiligheid betekent dat de veiligheidsvoorzieningen al tijdens de ontwerpfase in de machine worden ingebouwd. Anders gezegd betekent het dat de veiligheid niet nog snel even als laatste behandeld wordt, wat halfbakken veiligheidssystemen oplevert.

In de machinerichtlijn, bijlage I, 1.1.2, 'beginselen van geïntegreerde veiligheid' staat dit verder uitgewerkt.

Het eerste deel van punt c van deze uitwerking is het doel van dit gedeelte. "de risico's uitsluiten of zoveel mogelijk verminderen (veiligheid in het ontwerp en de bouw van de machine integreren)".

Een risico is volgens de richtlijn een "combinatie van de waarschijnlijkheid en de ernst van een letsel of aantasting van de gezondheid die zich kan voordoen in een gevaarlijke situatie". Het doel van machineveiligheid is het uitsluiten of verminderen van deze risico's.

Omdat de opstelling met de robotarm een automatisch systeem is, is er niet permanent een bediener voor nodig. Dat betekent dat de machineveiligheid in dit geval in de basis heel simpel is. Gewoon een kap er omheen en klaar. Maar zo simpel is het in de praktijk niet. Er moet bijvoorbeeld onderhoud gepleegd worden. Het kan voorkomen dat de machine vastloopt en er producten uit de machine gehaald moeten worden. De machine moet dus bereikbaar zijn voor deze scenario's. Tegelijkertijd moet de toegang niet mogelijk zijn op het moment dat de machine aan het werk is.

11.2 Risico's

In het ontwerp van een machine moet rekening worden gehouden met verschillende soorten risico's. Dat kunnen mechanische of elektrische risico's zijn of risico's door montagefouten, geluid, trillingen of straling. Niet al deze risico's zijn van toepassing op onze machine. De risico's die wel van belang zijn worden hieronder uitgewerkt, te beginnen bij de mechanische risico's.

Relevante potentiële mechanische risico's uit de machinerichtlijn[10]:

1. Risico van verlies van stabiliteit
2. Risico van breuken tijdens het gebruik
3. Risico's in verband met vallende of uitgeworpen voorwerpen
4. Risico's in verband met oppervlakken, scherpe kanten, hoeken
5. Risico's in verband met de verschillende bedrijfsomstandigheden
6. Risico's in verband met de bewegende delen
7. Risico's ten gevolge van niet-gecontroleerde bewegingen

Het eerste risico, het verlies van stabiliteit is te voorkomen door te zorgen voor een stevige opstelling. Deze stevigheid komt vooral van het frame, dat eerder in dit verslag besproken is. Het frame is, mits verankerd aan de vloer, stevig genoeg om dit risico weg te nemen.

De tweede, het risico op breuken tijdens gebruik is ondervangen door de volgende keuzes:

- Voldoende stevig frame
- Robotarm die bestand is tegen de omgevingsfactoren (Stäubli HE)
- Materiaalkeuzes van de opstelling (304 RVS, plexiglas/rookglas)

Het vijfde risico is niet geheel onbelangrijk, maar minder van toepassing omdat de machine meestal in dezelfde bedrijfsomstandigheden zal staan (voedselverwerkingshal, rond de 4 graden Celsius).

Het derde, vierde en zesde risico kan worden verholpen door een afscherming rondom het frame te plaatsen.

Voor het zevende risico geldt dat met het plaatsen van een afscherming alleen de persoonsbeveiliging geregeld is. Een onverwachte beweging door bijvoorbeeld het vrijgeven van een motorrem of door een programmeerfout kan vervelende gevolgen hebben voor het productieproces. Het is dus zaak om dit risico in de besturing te ondervangen.

Andere relevante potententiele risico's, te vinden in [11]:

8. Risico ten gevolge van de elektriciteitsvoorziening
9. Risico ten gevolge van montagefouten
10. Risico door geluid
11. Risico om in een machine opgesloten te geraken

Het risico ten gevolge van de elektriciteitsvoorziening wordt deels ondervangen door het plaatsen van een dichte kap over de onderdelen die voor deze voorziening verantwoordelijk zijn. Dit zorgt dat de elektra droog blijft en dat het personeel van de klant er niet mee kan knoeien. Als deze onderdelen niet op de juiste manier in elkaar gezet zijn valt dit onder montagefouten.

Het risico ten gevolge van montagefouten wordt ondervangen door montage door ervaren personeel. Hier kan een goede montagehandleiding veel doen.

Het risico door geluid is niet hoog. De robot genereert maximaal een geluidsdruk van 70 dBa. Dit is te vergelijken met een stofzuiger in een kamer. Dit is volgens de documentatie [12] gemeten op 1.60 meter hoogte en op 1 meter afstand van de maximale werkamplitude. Daar komt voor onze toepassing nog een kap omheen, wat de geluidsdruk nog wat omlaag zal halen. Dit levert dus weinig risico op voor het aanwezige personeel.

Het risico om in de machine opgesloten te raken is zeker aanwezig. Op het moment dat de monteur in de machine bezig is en de deur valt dicht, mag de machine niet in werking treden. Dit is bereikt door in de interface een mogelijkheid voor het inschakelen van een onderhoudstoestand aan te brengen.

11.3 Afscherming

De afscherming rond de machine moet volgens het gedeelte van de machinerichtlijn dat over afschermingen gaat [13] samengevat voldoen aan de volgende eisen:

De afscherming moet:

- stevig zijn en stevig bevestigd zijn
- zelf geen gevaar veroorzaken
- niet eenvoudig omzeild kunnen worden
- het zicht op het werk niet belemmeren
- onderhoud mogelijk maken

Verder moet een vaste afscherming aan de volgende eisen voldoen:

- Vaste afschermingen moeten zodanig zijn bevestigd dat zij alleen met behulp van gereedschappen kunnen worden geopend of verwijderd.
- Bij demontage moeten de bevestigingsmiddelen met de afschermingen of de machine verbonden blijven.
- Waar mogelijk, mogen afschermingen niet zonder hun bevestigingsmiddelen op hun plaats kunnen blijven.

Een beweegbare afscherming met blokkeervoorziening moet aan de volgende eisen voldoen:

- zoveel mogelijk vast aan de machine zitten, ook na opening van de afscherming
- enkel met een opzettelijke handeling te openen
- voorzien zijn van een vergrendelinrichting die
 - voorkomt dat de machine in werking treedt als de afscherming open is
 - de machine stopt als de afscherming geopend wordt

Als de machine niet kan stoppen voordat de bediener na opening van de afscherming bij de machine kan, moet er nog een aparte vergrendeling zijn, zodat de machine kan stoppen voor de afscherming open is.

11.4 Noodstop op de opstelling

Op de machine moeten één of meerdere noodstoppen aanwezig zijn.

11.5 Maatregelen

Om al het bovenstaande te implementeren is de opstelling conform de richtlijn van de volgende zaken voorzien:

- Een vaste afscherming om de voor- achterkant van het frame, alsmede boven en onder de beweegbare afscherming aan de zijkant
 - Polycarbonaat
- Een beweegbare afscherming aan beide zijkanten van het frame, om onderhoud, schoonmaak en het oplossen van storingen mogelijk te maken.
 - Polycarbonaat
- Een vaste afscherming om de eerste meter van de in- en uitvoerband, zodat het personeel via deze route niet bij de bewegende delen van de machine kan komen
 - RVS zetwerk over een RVS frame
- Een kap over de bovenkant van de machine om problemen met de elektra te voorkomen. Daar bevinden zich namelijk een deel van de regelelektronica en de verschillende aansluitingen van de robotarm. Deze kap is gedeeltelijk vast en gedeeltelijk demonteerbaar voor onderhoud.
- Een noodstop op alle zijden van de opstelling

- Evt. lichtschermen of sensoren boven de baan, zodat er behalve kratten en producten niks binnenkomt
- Een duidelijke HMI om onnodige verwarring te voorkomen. Hierover is later in het verslag meer te lezen.

11.6 Aansturing

In de aansturing dient rekening gehouden te worden met de beveiliging. Dit houdt onder andere in dat er een noodstopvoorziening als ook een gewone stopvoorziening ingebouwd is.

Dit betekent dat zowel het in werking stellen als het stopzetten van de machine door een opzettelijke handeling moet gebeuren.

11.7 Noodstop in de aansturing

In de aansturing is het zo geregeld dat het hele programma stopt met draaien als de noodstop ingedrukt wordt. De controller van de robot zet de robot op de rem en het hele systeem, inclusief de band, komt tot stilstand.

11.8 Normale stopvoorziening

De normale stopvoorziening zorgt dat de robot normaal afremt en naar de rustpositie gaat. Dit verschilt van de noodstop, omdat daarmee het hele programma op de rem gaat. De knop voor deze normale stopvoorziening zit op de besturingskast, boven de HMI.

11.9 Performance Level

Performance Level of PL is een classificatie volgens de norm ISO 13849-1. Deze norm is een geharmoniseerde norm onder de machinerichtlijn. Performance Level varieert van PLa tot PLe, waar PLe bestemd is voor de meest riskante machines. Het toekennen van een PL gaat in een aantal stappen.

11.9.1 Stap 1: Definiëren van eisen aan veiligheidsfuncties

In deze stap worden de betreffende veiligheidsfuncties bekeken. Wat is er nodig om te zorgen dat deze functie werkt? In ons geval gaat het om de volgende eis:

- De robot mag geen beweging maken als de deur open is
- De besturing moet de deur vergrendelen voor de robot in werking treedt

Dit zijn de enige eisen, omdat de rest van de openingen in de machine volgens norm EN 294:1992 dusdanig klein is dat het geen beveiligingsrisico oplevert.

11.9.2 Stap 2: Bepalen van het vereiste Performance Level

Om te kijken wat bovenstaande functie voor Performance Level oplevert zijn drie dingen belangrijk:

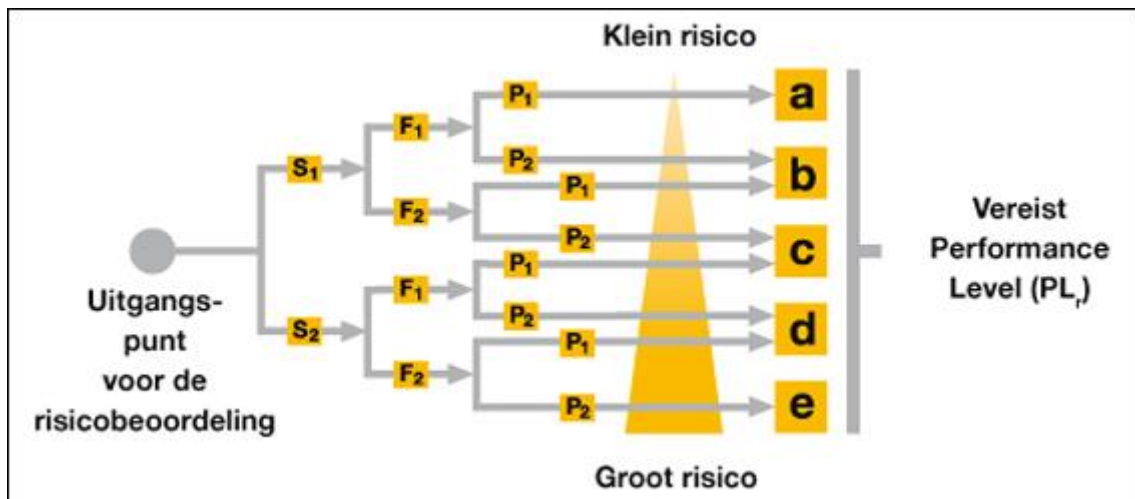
- De ernst van het letsel dat het falen van deze functie kan veroorzaken (S)
- De frequentie dat de gebruiker blootgesteld wordt aan gevaar (F)
- De mogelijkheden tot het afwenden van het gevaar (P)

Deze drie mogelijkheden zijn weer op te delen in elk twee categorieën:

- Letsel (S)
 - S1: licht (normaliter reversibel) letsel

- S2: zwaar (normaliter irreversibel) letsel met inbegrip van de dood
- Frequentie (F)
 - F1: zelden tot vrij vaak en/of kortdurend
 - F2: vaak tot voortdurend en/of langdurig
- Mogelijkheden tot afwenden (P)
 - P1: mogelijk onder bepaalde omstandigheden
 - P2: nauwelijks mogelijk

Deze onderverdelingen worden gebruikt om het Performance Level te bepalen volgens onderstaande methode:



44 Grafiek performance level van Pilz [14]

Voor de toepassing van de robotcel moet volgens deze methode een Performance Level bepaald worden.

Letsel: Als de robot iets of iemand raakt met enige snelheid, dan is de bewuste persoon of het bewuste voorwerp kapot. Een robotarm is vrij krachtig. Hier komt dus letselniveau S2 uit.

Frequentie: De robotcel blijft tijdens productie dicht, maar zal af en toe onderhouden en dagelijks schoongemaakt moeten worden. Hier komt vanwege de dagelijkse schoonmaak frequentie F2 uit.

Afwendmogelijkheden: De robot kan tijdens schoonmaak en onderhoud uitgezet worden. Hierdoor is het gevaar zo goed als weg, hoewel er nog steeds uitgekeken moet worden voor remfalen en dergelijke. Hier komt P1 uit.

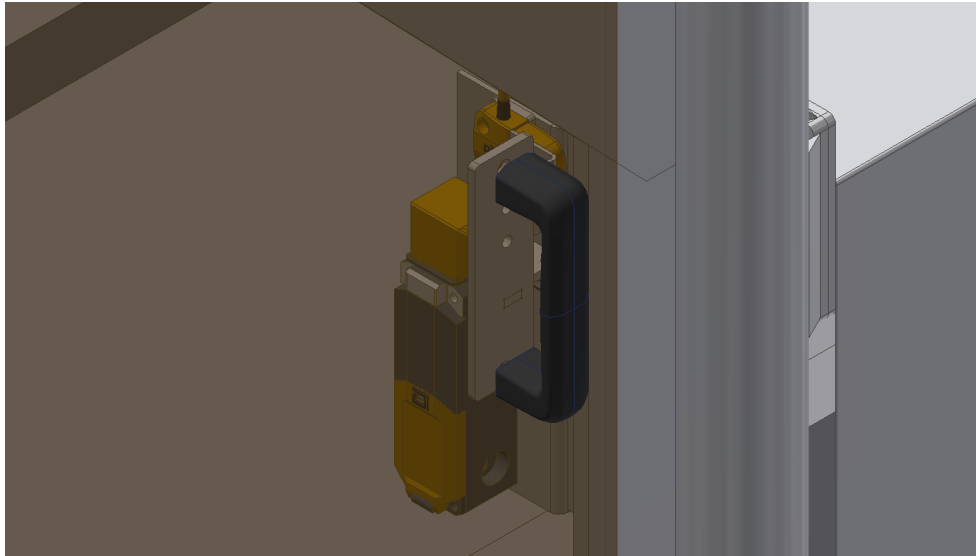
Uit het bovenstaande volgt dat we te maken hebben met een machine met Performance Level d. Hiermee moet bij de keuze voor veiligheidscomponenten rekening worden gehouden.

11.9.3 Stap 3: Vormgeving en technische realisatie van veiligheidsfuncties

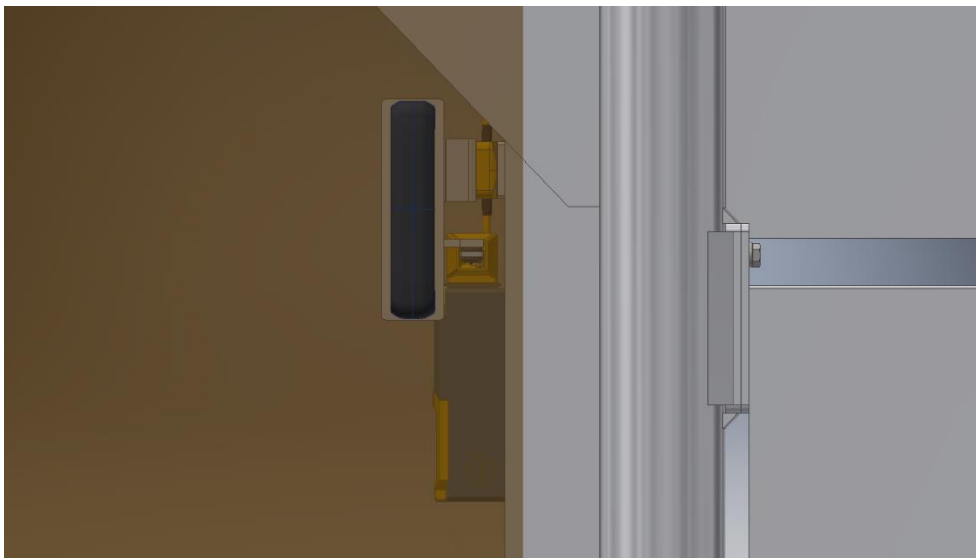
Nu het PL bekend is, kan er gekeken worden naar benodigde componenten. Er moet dan gekeken worden naar het verschil tussen procesbeveiliging en persoonsbeveiliging. Componenten die voor persoonsbeveiliging gebruikt worden moeten voldoen aan in ons geval PLd. Componenten die puur bestemd zijn voor procesbeveiliging hoeven daar niet aan te voldoen.

Het is belangrijk om aan te geven dat een beveiligingsproces zo sterk is als de zwakste schakel. Als alle onderdelen op de robotcel PLd zijn, maar ze worden aangestuurd door een normale PLC, is de robotcel niet PLd en dus niet veilig genoeg. Ook de verwerking van de sensorsignalen moet volgens PLd.

De deursluiting ziet er als volgt uit:



45 De deursluiting aan de rechterkant



46 Deursluiting rechts op de robotcel

De deursluiting bestaat mechanisch uit twee delen. Een deel zit vast aan het frame en een deel zit in de deur verwerkt. Het enige onderdeel aan de buitenkant is een kunststof handgreep. Dit zorgt ervoor dat de machine buiten de lijn zo weinig mogelijk ruimte inneemt.

De sluiting bestaat elektronisch uit een aantal onderdelen van Pilz. De bovenste kleine component is de PSENmag. Dit is een encoder die kan detecteren of de deur daadwerkelijk gesloten is. De onderste

component is de PSENmech. Dit is een mechanische vergrendeling die zorgt dat de deur gesloten blijft.

De PSENmag zorgt hier voor de persoonsbeveiliging en moet dus minimaal PLd zijn. Ook de verwerking van deze sensor moet PLd zijn. Hiervoor wordt per encoder een PNOZ s3 gebruikt. Dit is een veiligheidsrelais dat PLe heeft. Dit veiligheidsrelais kan dan weer communiceren met de PLC.

Of de PSENmech voor persoonsbeveiliging zorgt is afhankelijk van de stopsnelheid van de robotarm. Als deze stopsnelheid dermate laag is dat de arm niet meer beweegt als een persoon er bij kan, hoeft deze mechanische vergrendeling alleen voor procesbeveiliging en niet voor persoonsbeveiliging gebruikt te worden.

In de documentatie van de robotarm [15] is te lezen dat de maximale deceleratie vanaf 100% snelheid maximaal 500 ms is. Dit is een voldoende korte tijd om stil te staan voordat degene die de deur opent bij de robot kan. De mechanische vergrendeling van de deur is dus niet strikt noodzakelijk voor de persoonsbeveiliging.

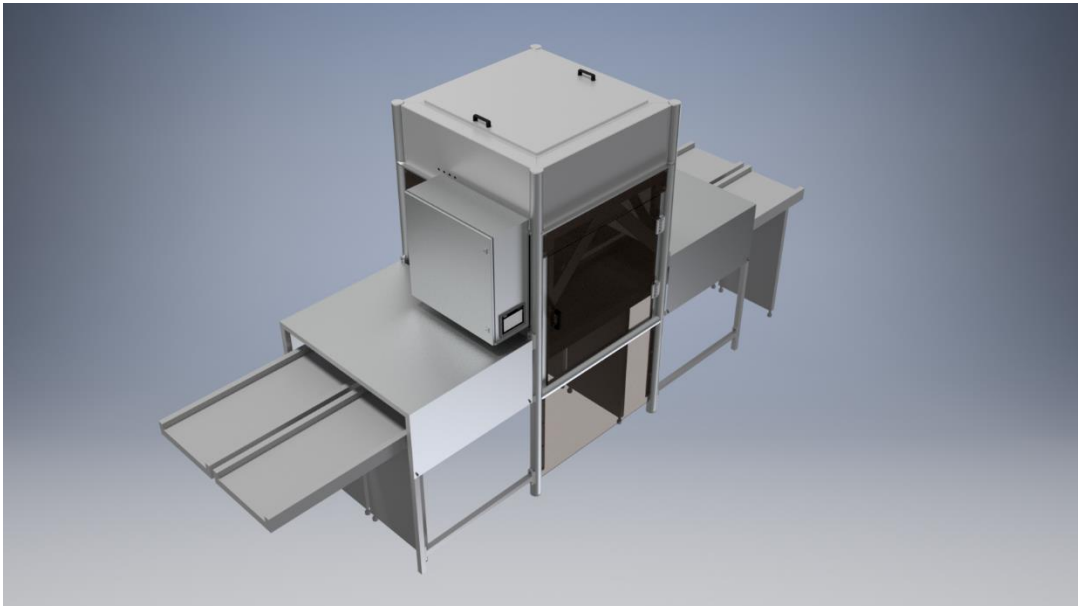
Omdat hieruit volgt dat de mechanische vergrendeling alleen voor de procesbeveiliging is, kan deze zonder tussenkomst van een veiligheidsrelais direct aan de PLC verbonden worden.

11.9.4 Stap 4 & 5: Bepalen van bereikt PL en verificatie

De componenten die gebruikt worden in de persoonsbeveiliging in de robotcel zijn allemaal PLe. Het vereiste PL is PLd. Hieruit volgt dat de gebruikte componenten voldoen aan het bepaalde minimale Performance Level voor de machine.

12 Uiteindelijke opstelling

De uiteindelijke opstelling ziet er als volgt uit:



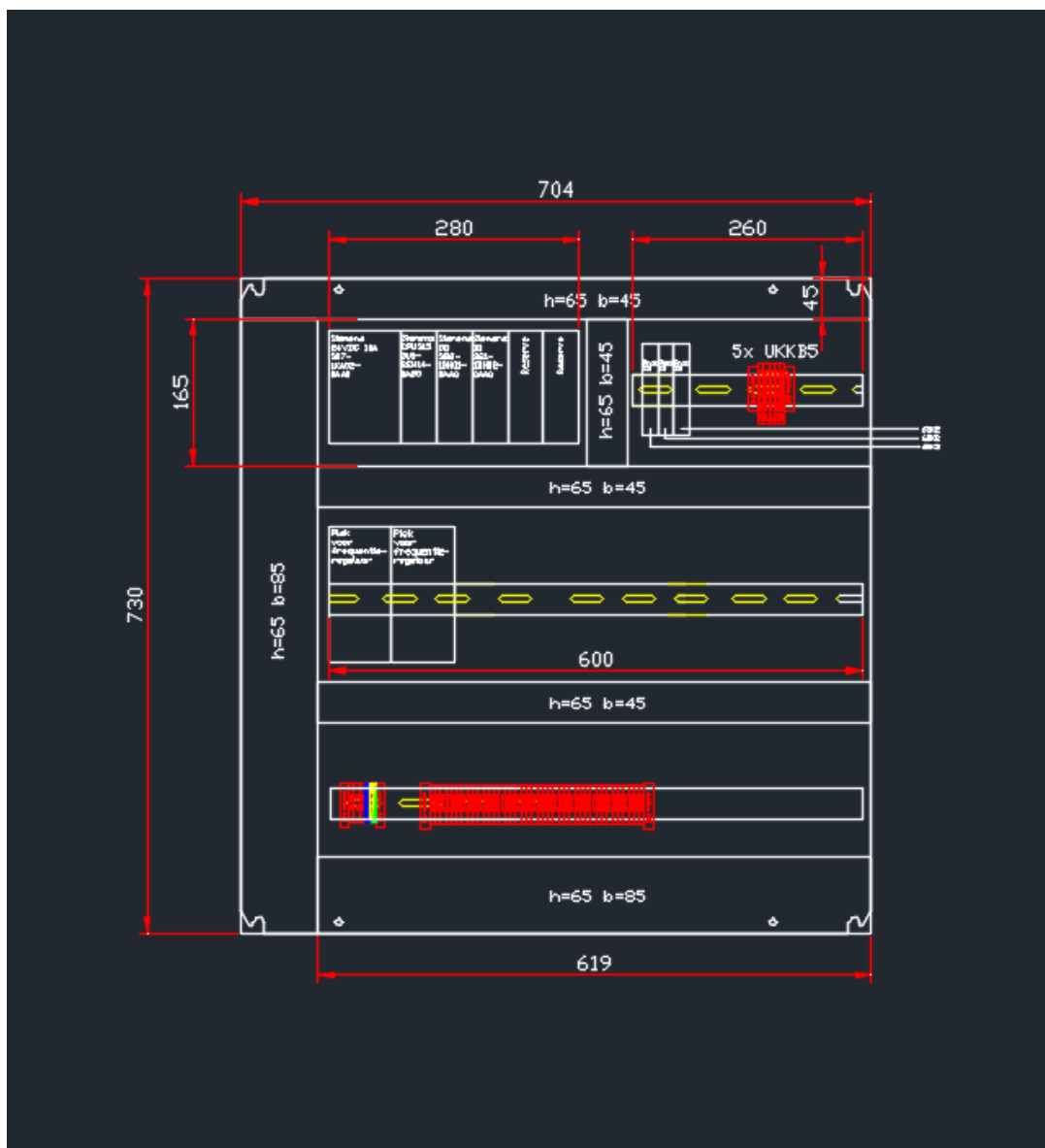
47 De uiteindelijke opstelling

De opstelling bestaat uit versie 5 van het frame, met aan beide zijden een baankap voor de veiligheid. U kunt de besturingskast zien met daarop bevestigd de HMI. De locatie van de besturingskast zorgt ervoor dat er zo weinig mogelijk gaten gemaakt hoeven te worden voor kabels en verbindingen.

13 Besturingskast

De besturingskast die op de opstelling gemonteerd is, is een industriële kast van Rittal Enclosures. Deze kast heeft de afmetingen 760x76x0300 mm en is vervaardigd uit RVS. Het typenummer is AE1014.600. Deze kast is bestand tegen de omgeving waar de opstelling in komt te staan. De HMI en een aantal knoppen zijn in de zijkant van deze kast bevestigd. Aan de onderzijde bevinden zich wartels voor de bekabeling naar de rest van de opstelling en externe bekabeling. In de besturingskast bevindt zich het gros van de componenten van de besturing. De onderdelen die niet in de besturingskast zitten zijn de verschillende beveiligingen en de controller van de robot.

De indeling van deze besturingskast is gemaakt in AutoCAD 2017 en is hieronder te zien. Voor het bouwen van de kast is documentatie gemaakt, zodat de elektromonteurs in de werkplaats weten hoe ze de kast in elkaar moeten zetten. Deze documentatie is nog niet volledig en is daardoor niet in dit verslag opgenomen. Hieronder kunt u wel zien hoe de indeling van de kast er uit komt te zien.



48 Indeling van de besturingskast

14 Plaatsing in bestaande omstandigheden

Als de opstelling bij een klant komt te staan die al transportbanden heeft staan, moeten zowel de opstelling als de bestaande banden daar op aangepast worden. Er zal afhankelijk van de snelheid die de klant wenst voorgeformeerd moeten worden. Dat vereist aanpassingen aan de banden. Als de hoogte van de baan anders is dan de banen waarmee tijdens het ontwerp rekening is gehouden moet de opstelling worden aangepast.

15 Opstelling bouwen

De opstelling is door de monteurs in de werkplaats in elkaar gezet aan de hand van de geleverde werktekeningen. Deze tekeningen zijn in de bijlage te vinden. Hieronder vindt u een korte impressie van het bouwproces.



16 Opstelling testen

Het testen van de opstelling met daarin de robotarm is gedaan in een werkplaats van Jansen Techniek. U ziet de robot in de opstelling met daar links achter de CS8C controller van de robot. Op de krat/tafel ziet u de PLC met toebehoren en de laptop met daarop TIA portal. Aan de zijkant van de krat is de houder van de Manual Control Pendant bevestigigd.



Omdat er nog geen werkende besturing is zijn er nog geen valide testresultaten.

Conclusie en aanbevelingen

Het ontwerp van de door de PLC bestuurd robotcel is een heel eind gevorderd. Het frame is ontworpen en grotendeels gebouwd, de robot is gekozen en ingebouwd en de besturing is in grote lijnen klaar. UniVALplc werkt nog niet helemaal, maar dat komt vooral door een verlate levering van de controller en een gebrek aan documentatie omdat UniVALplc nog in pre-seriële staat verkeert.

Toch is dit project een voorzichtig succes te noemen. De koppeling tussen PLC en robot is mogelijk, en het is bekend waardoor het nog niet werkt. Dit is dus een probleem dat op te lossen is.

Over het algemeen kijk ik met tevredenheid terug op deze afstudeerstage. Toch is er een aantal punten dat nog aandacht vraagt:

- De koppeling tussen PLC en robot moet nog afgemaakt worden
- Het frame moet nog verder afgewerkt worden
- De besturing van de robotcel moet in de praktijk nog gerealiseerd worden
- De robotcel moet nog uitgebreid getest worden voor deze op de markt gebracht kan worden

Deze aanbevelingen zal ik voor een groot deel zelf op mij nemen, omdat in overleg met het bedrijf besloten is om door te werken aan het project tot de verdediging van dit afstudeerverslag.

Bronnen

- [1]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 35, 41
- [2]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 41
- [3]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 44
- [4]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 24, figuur 2.1
- [5]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 34
- [6]: UniVALplc solution version 3.0 User's guide , Stäubli november 2016 – D280933xx2, pagina 22
- [7]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 79, figuur 3.1
- [8]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 93
- [9]: RICHTLIJN 2006/42/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 17 mei 2006 betreffende machines en tot wijziging van Richtlijn 95/16/EG (herschikking)
- [10]: machinerichtlijn, bijlage I, 1.3, 'Maatregelen ter beveiliging tegen mechanische gevaren'
- [11]: machinerichtlijn, bijlage I, 1.5, 'Risico's ingevolge andere gevaren'
- [12]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 75
- [13]: machinerichtlijn, bijlage I, 1.4, 'Vereiste kenmerken van de afschermingen en beveiligingsinrichtingen'
- [14]: <https://www.pilz.com/nl-NL/knowhow/standards/standards/functional-safety/articles/072281>
- [15]: Documentatie voor de TX90 robotarm, Stäubli 2014 – D28082923C, pagina 72

Bijlage

IP-certificering

De IP-schaal is vastgelegd in de norm IEC 60529. Het eerste getal gaat over stofdichtheid. De 6 is de hoogste score die hier te halen is. Het betekent de robot volledig beschermd is tegen een stoffige omgeving.

Het tweede getal gaat over waterdichtheid. De IP-schaal voor waterdichtheid gaat van 0 tot 9, waar 0 geen bescherming is en 9 bruikbaar blijft bij een vochtigheidsgraad van meer dan 90%. De robotarmen van Stäubli scoren hier over het algemeen een 5, wat betekent dat de robot sproeidicht is (max. 12.5l/min) onder eender welke hoek.

Planning en urenverantwoording

Datum	Begintijd	Eindtijd	Duur	Werkzaamheden	Deadlines/planning	Week
22-8-2016	8:00	17:00	8	Oriënteren op wensen en werkzaamheden, beginnen PvA		1, 34
23-8-2016	7:30	17:00	8	Bezoek aan klant, opstellen voorlopig PvE, vervolg PvA		
24-8-2016	8:00	17:00	8	PvA opgestuurd, high level concepten bedacht		
25-8-2016	8:00	17:00	8	High level concept uitgekozen, begonnen met uitwerken		
26-8-2016	8:00	17:00	8	Concept uitgewerkt, begonnen met keuze robotarm	Inleveren PvA	
29-8-2016	8:00	17:00	8	Arm uitgekozen, TIA portal licentie binnen		2, 35
30-8-2016	8:00	17:00	8	TIA Portal en SRS geïnstalleerd, updates gedraaid, Stäubli geschopt		
31-8-2016	8:00	17:00	8	Siemens spul up to date, stoeien met TIA Portal, WinCC licentie geregeld voor HMI-panelen		
1-9-2016	8:00	17:00	8	Meer licentienarigheid, concepten 1-6 verwerkt in verslag	High level concepten af	
2-9-2016	8:00	17:00	8	Begonnen met ontwerp frame	Keuze maken robotarm	
5-9-2016	8:00	17:00	8	Frame verder uitgewerkt en gesimuleerd, contract etc. geregeld	Frame ontwerpen	3, 36
6-9-2016	8:00	17:00	8	Planning aangepast, frame zelf af, stelpootjes nog niet		
7-9-2016	8:00	17:00	8	conceptkeuze verwerkt in verslag, frame deels verwerkt in verslag	Frame af	
8-9-2016	8:00	17:00	8	machinerichtlijn doorgespit en relevante info eruit gehaald		
9-9-2016	7:00	16:00	8	frame in het verslag afgemaakt, mockup bijgewerkt		
12-9-2016	8:00	18:00	9	Marco geholpen met PLC en Balluff, licentie staubli binnen	licentie fixen bij Stäubli	4, 37
13-9-2016	8:00	18:00	9	Marco geholpen, begonnen met simulatie, vergadering Stäubli	Robot simuleren in SRS2016	
14-9-2016	8:00	17:00	8	Begonnen in SRS2016, robotsimulatie gestart		
15-9-2016	8:00	17:00	8	Stäubli simulatie, wachten op mail, Marco helpen		
16-9-2016	7:00	16:00	8	Cognex in PLC zetten voor Marco	Simulatie af	

19-9-2016	8:00	17:00	8	Verder met simulatie, basis af	Beveiliging ontwerpen	5, 38
20-9-2016	8:00	17:00	8	Simulatie verder uitgewerkt, frame aangepast adhv sim		
21-9-2016	8:00	17:00	8	simulatie staat, alternatieven uitzoeken, administratie ivm examencommissienarigheid		
22-9-2016	7:30	16:30	8	simulatie bij Stäubli neergelegd, verder met beveiliging, examencommissienarigheid opgelost		
23-9-2016	8:00	17:00	8	Beveiliging in verslag verwerkt, kast tekenen, layout verslag ingeleverd	Beveiliging grofweg uitgewerkt, layout van het verslag inleveren	
26-9-2016	8:00	17:00	8	Begin verslag interface gemaakt, grippers aangepast adhv sim, voorformeren begonnen	Testinterface maken	6, 39
27-9-2016	8:00	17:00	8	Koreneef op bezoek gehad, verder met interface, documentatie UniVAL PLC binnen, sim opgestuurd, eigenfrequentie frame berekend adhv commentaar engineering		
28-9-2016	8:00	17:00	8	Documentatie UniVAL PLC doorgewerkt, mail ter opheldering naar Stäubli gestuurd, simulaties gedaan bij nieuw frame, verwerkt in verslag		
29-9-2016	8:00	17:00	8	simulatiedetails naar Stäubli gestuurd, verder met interface, PLC geïnstalleerd, begin gemaakt aan programma		
30-9-2016	8:00	17:00	8	Verder met PLC interface, grotendeels af	Testinterface af	
3-10-2016	8:00	17:00	8	Interface in HMI gezet, aan PLC programma gewerkt	Gebruikersinterface maken	7, 40
4-10-2016	8:00	17:00	8	PLC verder opgebouwd, aan programma gewerkt, aan kast gewerkt		
5-10-2016	8:00	17:00	8	PLC, verslag		
6-10-2016	8:00	17:00	8	deur frame, veiligheid		
7-10-2016	8:00	17:00	8	deur frame, veiligheid	Gebruikersinterface af	
10-10-2016	8:00	17:00	8	deur frame, veiligheid, frame	Koppeling robotarm en PLC onderzoeken	

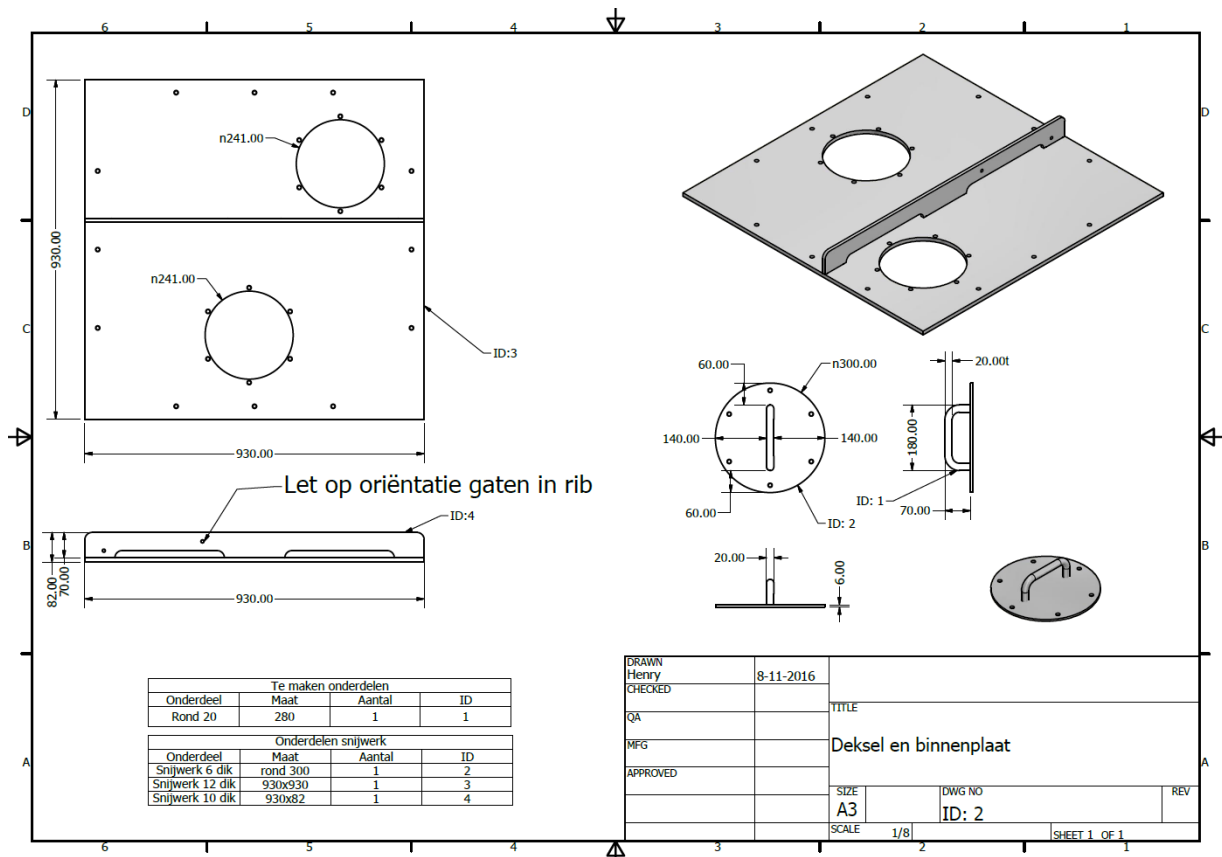
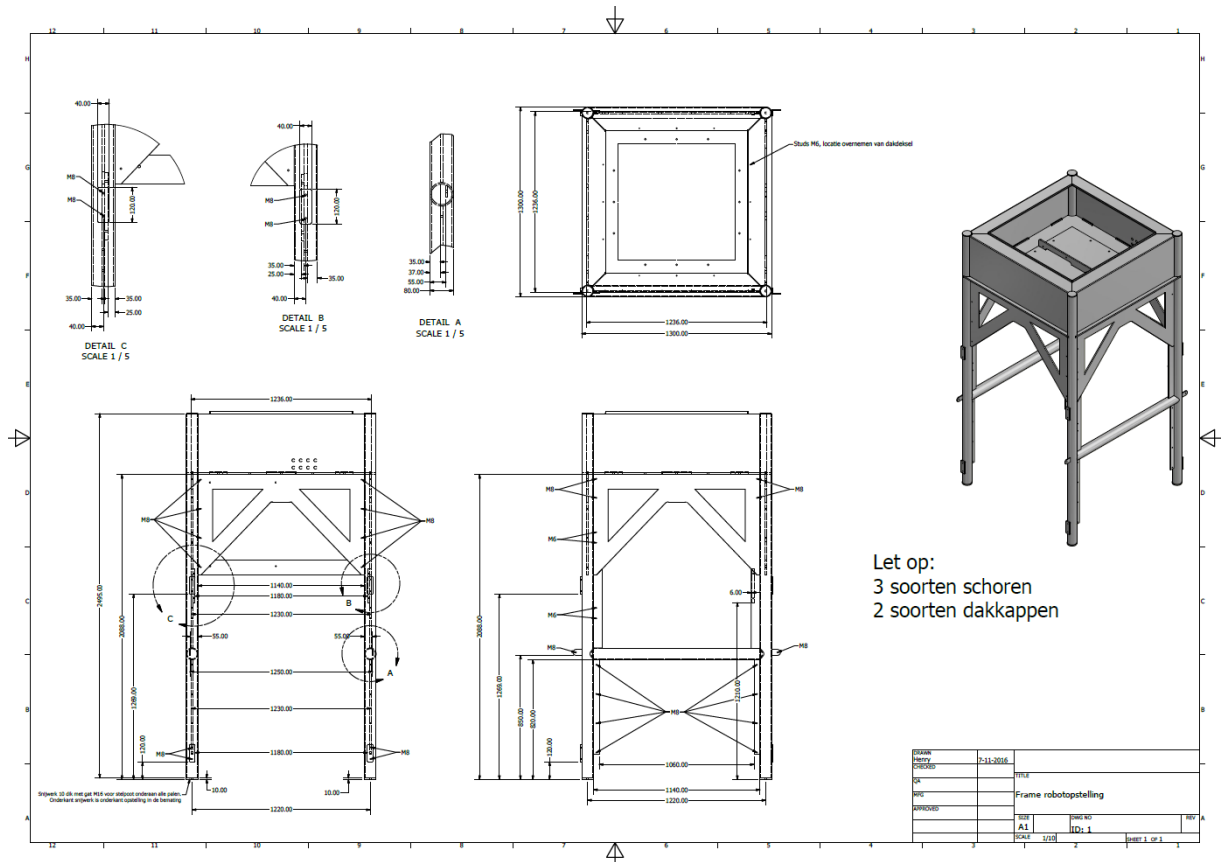
11-10-2016	8:00	17:00	8	plaatsen besturing in CAD, verder met frame		8, 41
12-10-2016	8:00	17:00	8	verder met frame		
13-10-2016	7:00	16:00	8	frame en kast robot af, begonnen met besturingskast		
14-10-2016	8:00	17:00	8	kast grotendeels af		
17-10-2016	8:00	17:00	8	besturingskast op frame	Koppeling robotarm en PLC onderzoeken	9, 42
18-10-2016	8:00	17:00	8	frame en besturingskast		
19-10-2016	8:00	17:00	8	kast en controllers		
20-10-2016	8:00	17:00	8	afwerking ontwerp kast		
21-10-2016	8:00	17:00	8	laptoptraagheid en simulaties		
24-10-2016	8:00	17:00	8	simulatie grotendeels afgerond	Robot komt binnen, koppeling maken robotarm en PLC	10, 43
25-10-2016	8:00	17:00	8	ontwerp aanpassen zodat het wel gemaakt kan worden		
26-10-2016	8:00	17:00	8	componenten voor besturingskast uitgezocht en type kast gekozen		
27-10-2016	8:00	17:00	8	kast aangepast ivm fabricatie		
28-10-2016	8:00	17:00	8	kast aangepast ivm fabricatie		
31-10-2016	8:00	17:00	8	slot aanpassen		
1-11-2016	8:00	17:00	8	slot aanpassen, kast afwerken		

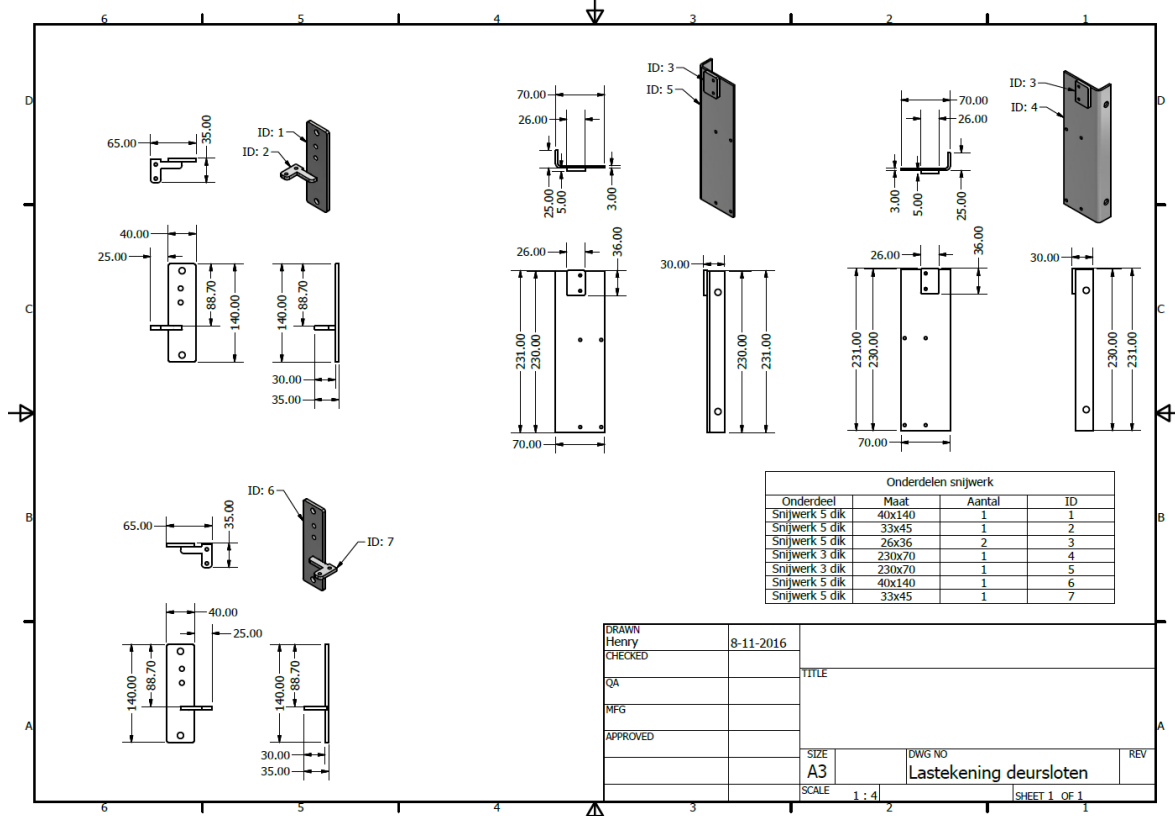
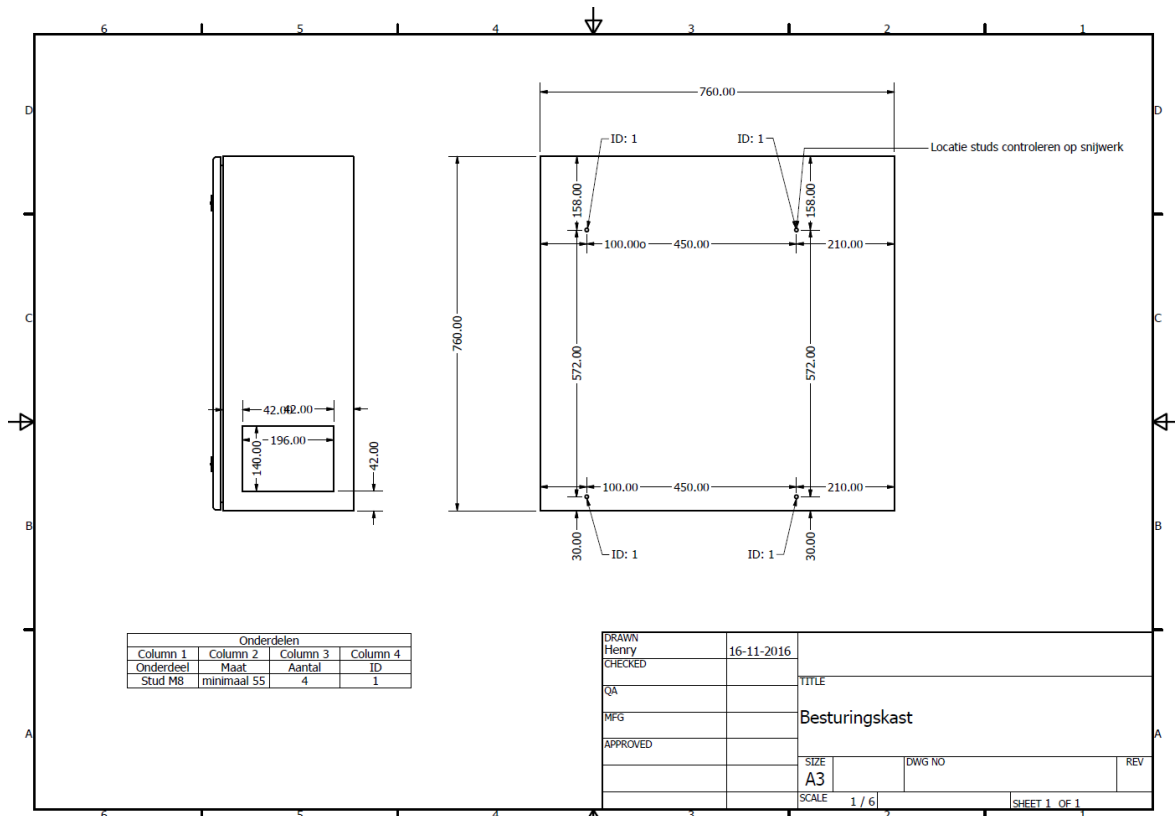
2-11-2016	8:00	17:00	8	sloten klaar		11, 44
3-11-2016	8:00		8	snijwerk besteld	Koppeling robotarm en PLC af	
4-11-2016	14:00	16:00	2	Toets statistiek 9:00	Inleveren conceptverslag	12, 45
7-11-2016	8:00	17:00	8	Onderdelen besteld, tekeningen gemaakt voor montage opstelling	Kast ontwerpen	
8-11-2016	8:00	17:00	8	lastekeningen	Kast af	
9-11-2016	8:00	17:00	8	zet- en montagetekeningen	Opstelling maken	
10-11-2016	8:00	17:00	8	tekeningen klaar en afgeleverd		
11-11-2016	8:00	16:00	7	CS8C aangesloten en verbonden, verslag	bespreking conceptverslag met afstudeerbegeleider	13, 46
14-11-2016	8:00	17:00	8	Verder met CS8C	Opstelling maken	
15-11-2016	8:00	17:00	8	UniVAL PLC op CS8C geïnstalleerd en geconfigureerd		
16-11-2016	8:00	17:00	8	Tekeningen aangepast aan nieuwe kast		
17-11-2016	8:00	17:00	8	Indeling besturingskast		
18-11-2016	8:00	17:00	8	Verder met IO, PLC en besturingskast	Opstelling af	
21-11-2016	10:00	17:00	7	Besturingskast	Opstelling testen	14, 47
22-11-2016	11:00	17:00	4	Bespreking conceptverslag, feedback verwerken		
23-11-2016	8:00	17:00	8	documentatie besturing machine in AutoCAD		
24-11-2016	8:00	17:00	8	documentatie besturing machine in AutoCAD		

25-11-2016	8:00	17:00	8	documentatie AutoCAD, config UniVALplc client, FB's binnen		
28-11-2016	7:00	17:00	9	UniVAL PLC op PC config		15, 48
29-11-2016	7:00	17:30	9,5	verslag		
30-11-2016	7:00	17:00	9	verslag en besturing		
1-12-2016	7:00	11:30	4,5	verslag		
2-12-2016	7:00	14:30	7	verbinding controller en plc		
5-12-2016	8:00	17:00	8	FB's compilatie opgelost, alles groen, koppeling in verslag		16, 49
6-12-2016	8:00	17:00	8	structuur programma		
7-12-2016	8:00	17:00	8	structuur programma		
8-12-2016	8:00	17:00	8	HMI in verslag gezet, robot in opstelling gehangen, opstelling klaar, begonnen aan besturing verslag		
9-12-2016	8:00	17:00	8	Bellen met BE & FR, configuratie UniVALplc		
12-12-2016	8:00	17:00	8	UniVALplc		17, 50
13-12-2016	8:00	17:00	8	UniVALplc ftp config		
14-12-2016	8:00	17:00	8	Verslag afmaken		
15-12-2016					definitieve inleverdatum eindverslag	
16-12-2016						
Totaal uren:			653			

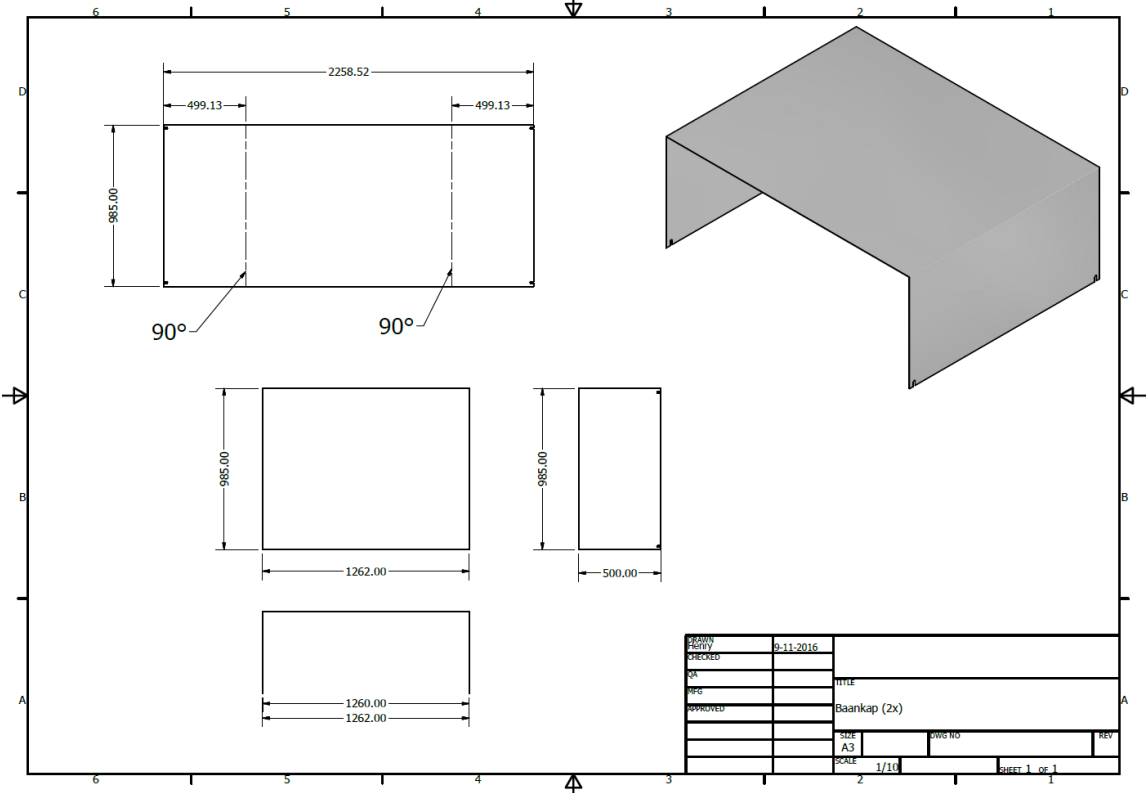
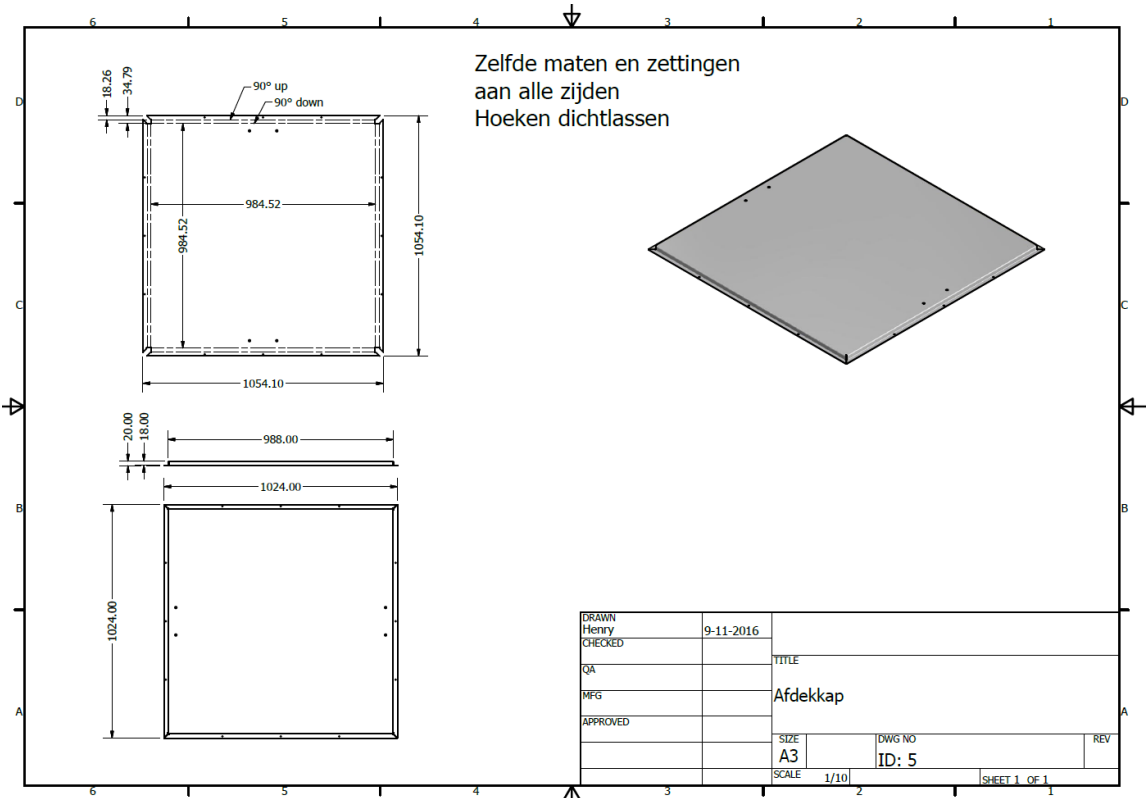
Werktekeningen

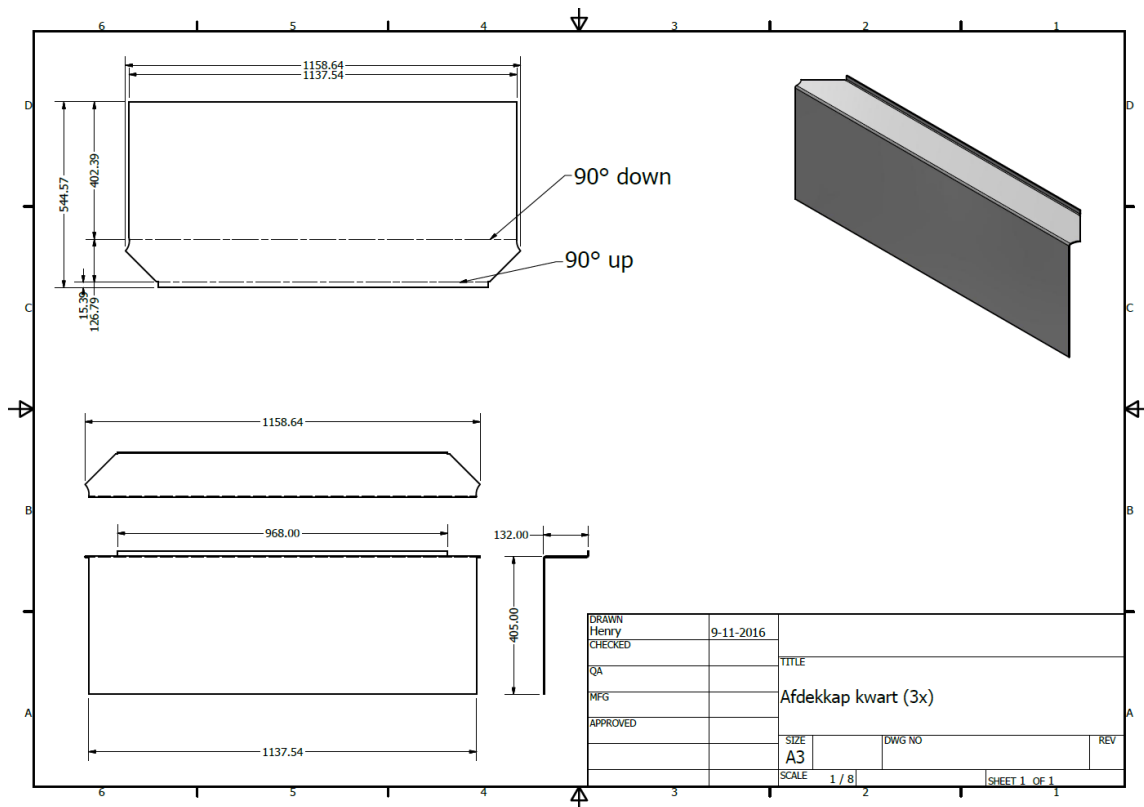
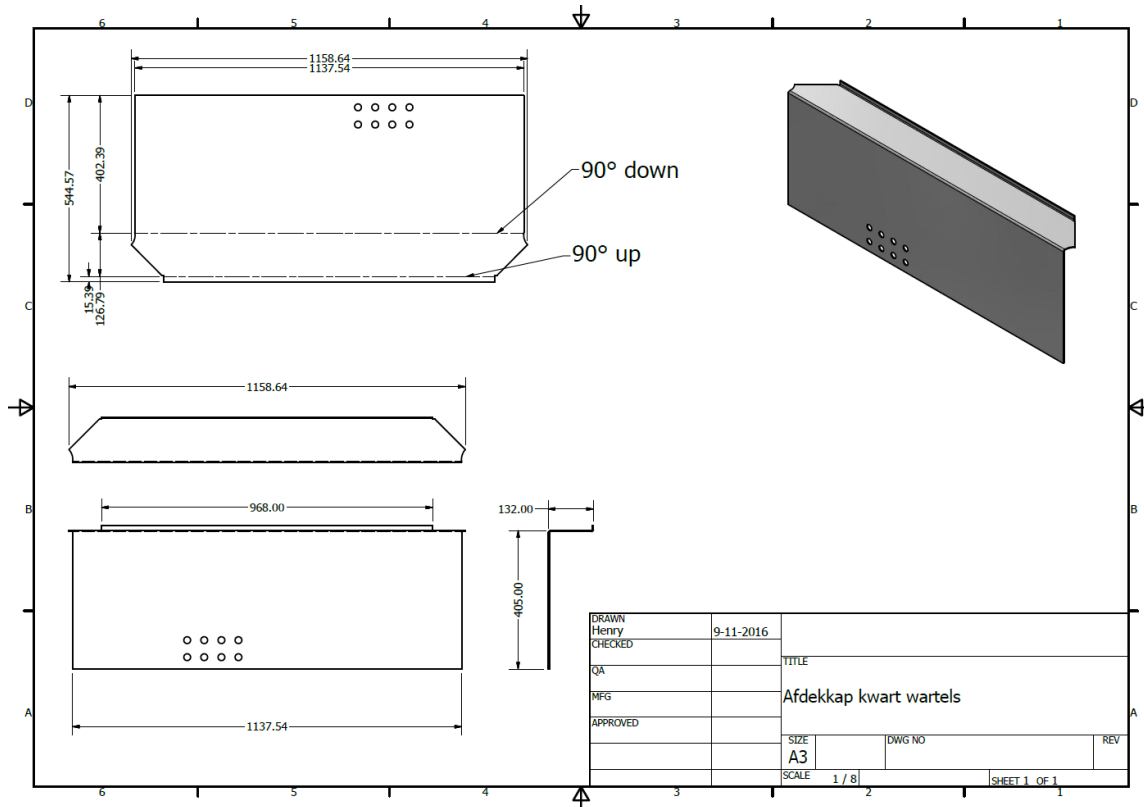
Lastekeningen

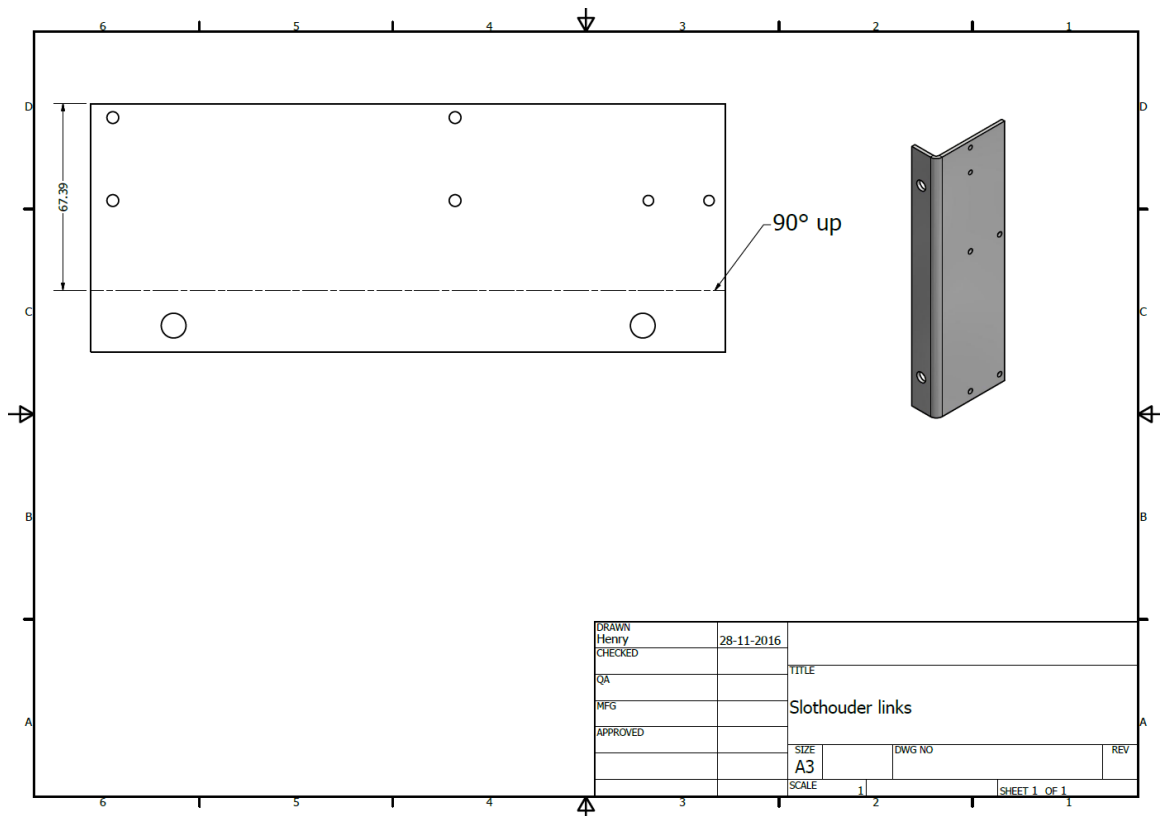
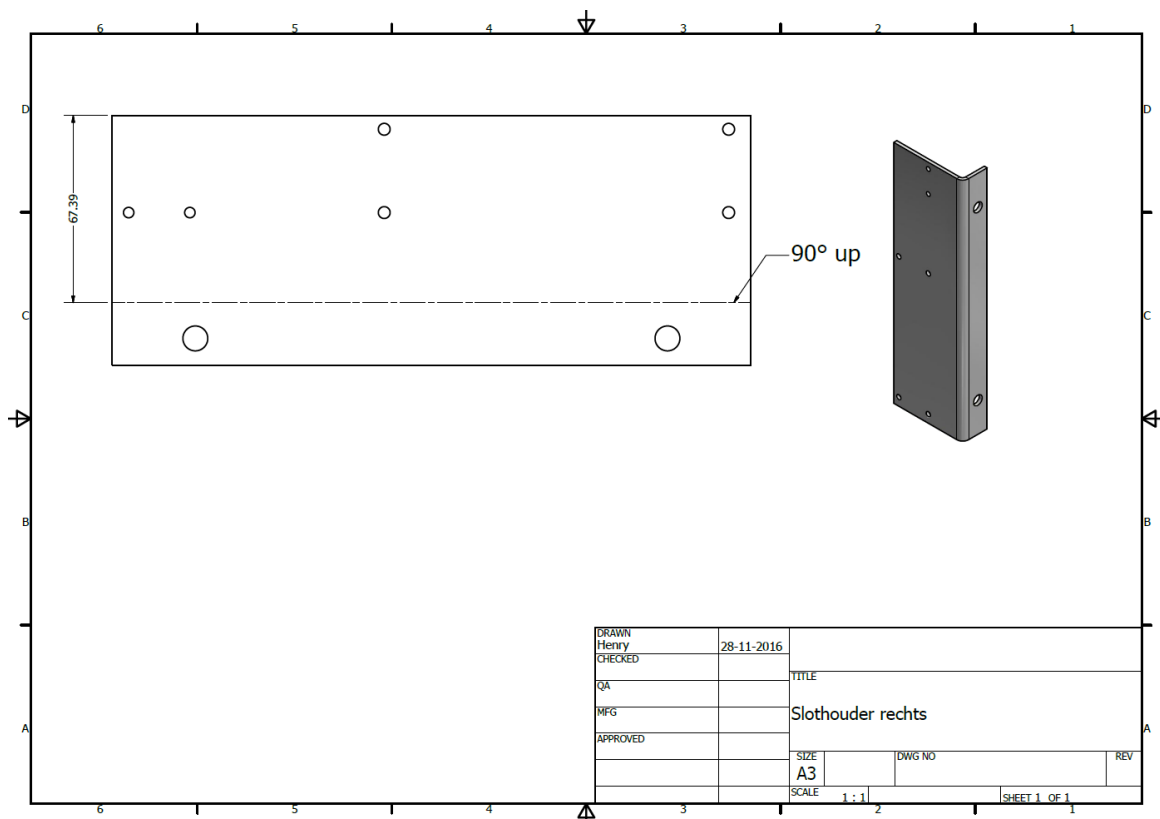




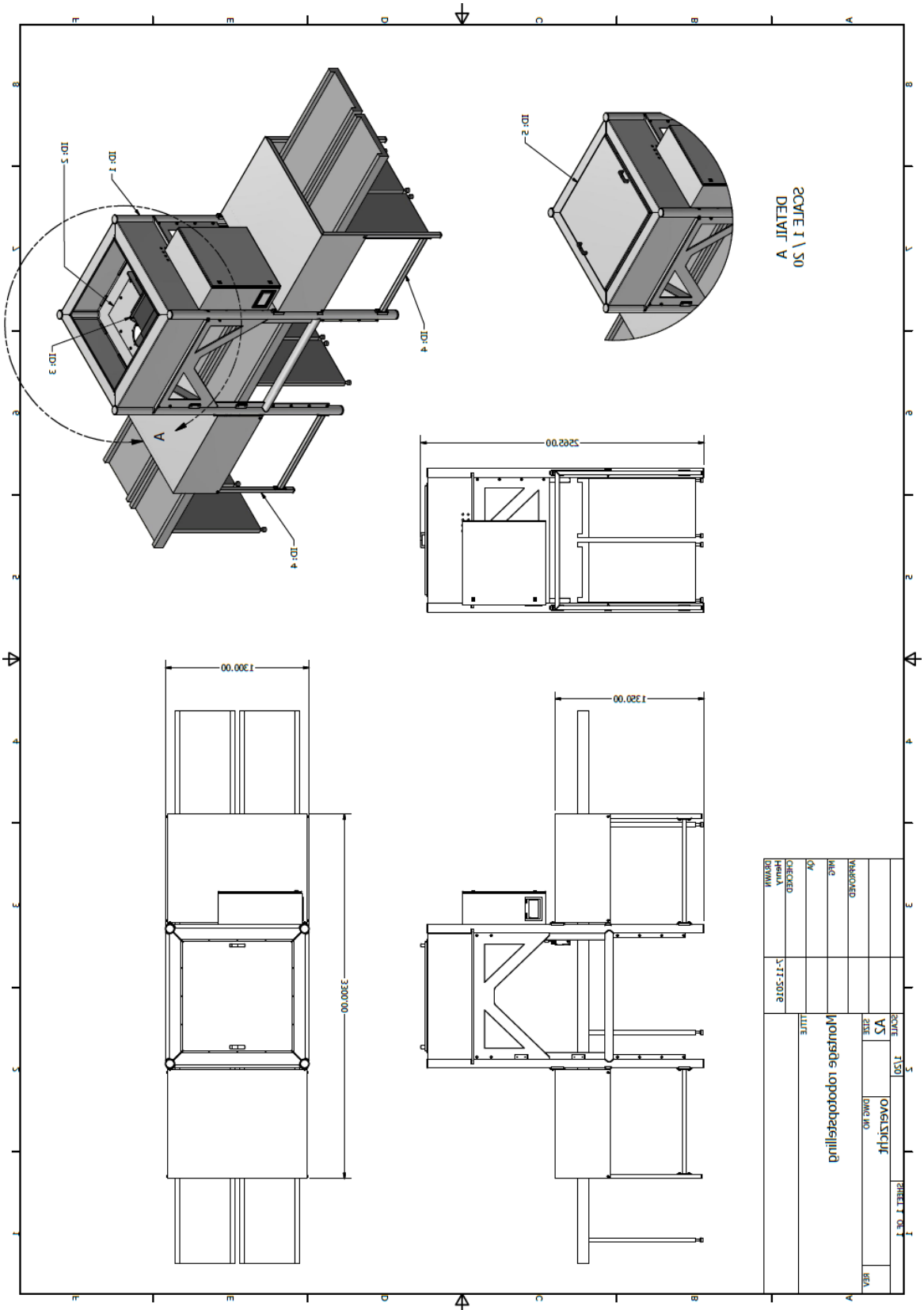
Zettekeningen







Montagetekeningen



Artikel 2

Definities

In deze richtlijn worden onder „machines” verstaan, de producten bedoeld in artikel 1, lid 1, punten a) tot en met f).

De volgende definities zijn van toepassing:

- a) „machine”:
 - een samenstel, voorzien van of bestemd om te worden voorzien van een aandrijfsysteem — maar niet op basis van rechtstreeks gebruikte menselijke of dierlijke spierkracht —, van onderling verbonden onderdelen of componenten waarvan er ten minste één kan bewegen, en die samengevoegd worden voor een bepaalde toepassing; — een samenstel als bedoeld onder het eerste streepje waaraan slechts de componenten voor de montage op de plaats van gebruik of voor de aansluiting op kracht- of aandrijfbronnen ontbreken;
 - een samenstel als bedoeld onder de eerste twee streepjes dat gereed is voor montage en dat alleen in deze staat kan functioneren na montage op een vervoermiddel of montage in een gebouw of bouwwerk;
 - samenstellen van machines als bedoeld onder het eerste, tweede en derde streepje, en/of niet voltooide machines als bedoeld onder g) die, teneinde tot hetzelfde resultaat te komen, zodanig zijn opgesteld en worden bestuurd dat zij als één geheel functioneren;
 - een samenstel van onderling verbonden onderdelen of componenten waarvan er ten minste één kan bewegen, en die in hun samenhang bestemd zijn voor het heffen van lasten en die uitsluitend rechtstreeks aangedreven worden door menselijke spierkracht;
- b) „verwisselbaar uitrustingsstuk”: een inrichting die na inbedrijfstelling van een machine of trekker door de bediener zelf hieraan wordt gekoppeld om deze een andere of bijkomende functie te geven, voorzover dit uitrustingsstuk geen gereedschap is;
- c) „veiligheidscomponent”: een component:
 - die een veiligheidsfunctie vervult,
 - die afzonderlijk in de handel wordt gebracht,
 - waarvan het niet en/of verkeerd functioneren de veiligheid van personen in gevaar brengt, en
 - die niet nodig is voor de werking van de machine of die door gewone componenten kan worden vervangen om de machine te doen werken.
- d) „hijs- of hefgereedschap”: niet vast met de hijs- of hefmachine verbonden onderdeel of uitrustingsstuk voor het hijsen of heffen van een last, dat tussen de machine en de last, of op de last zelf, wordt aangebracht dan wel bestemd is om een integrerend deel van de last uit te maken, en dat afzonderlijk in de handel wordt gebracht. Stroppen en hun onderdelen worden eveneens als hijs- of hefgereedschappen beschouwd;
- e) „kettingen, kabels en banden”: kettingen, kabels en banden die zijn ontworpen en geproduceerd voor hijs- en hefdoeleinden als onderdeel van hijs- of hefmachines of van hijs- of hefgereedschap;
- f) „verwijderbare mechanische overbrengingsinrichting”: verwijderbaar onderdeel dat is bestemd voor krachtoverbrenging van een aandrijfmachine of trekker naar de eerste vaste aslager van de aangedreven machine. Wanneer de inrichting mét de afscherming in de handel wordt gebracht, moet het als één product worden beschouwd;

- g) „niet voltooide machine”: een samenstel dat bijna een machine vormt maar dat niet zelfstandig een bepaalde toepassing kan realiseren. Een aandrijfsysteem is een niet voltooide machine. Een niet voltooide machine is slechts bedoeld om te worden ingebouwd in of te worden samengebouwd met een of meer andere machines of andere niet voltooide machine(s) of uitrusting, tot een machine waarop deze richtlijn van toepassing is;
- h) „in de handel brengen”: het voor het eerst tegen vergoeding of gratis in de Gemeenschap ter beschikking stellen van een machine of niet voltooide machine met het oog op de distributie of het gebruik ervan;
- i) „fabrikant”: elke natuurlijke persoon of rechtspersoon die een onder deze richtlijn vallende machine of niet voltooide machine ontwerpt en/of produceert, en die verantwoordelijk is voor de overeenstemming van deze machine of niet voltooide machine met deze richtlijn teneinde haar onder zijn eigen naam of merk of voor eigen gebruik in de handel te brengen of voor eigen gebruik. Bij gebreke van een fabrikant die aan deze definitie voldoet, wordt elke natuurlijke of rechtspersoon die een onder deze richtlijn vallende machine of niet voltooide machine in de handel brengt of in bedrijf stelt, als fabrikant beschouwd;
- j) „gemachtigde”: elke in de Gemeenschap gevestigde natuurlijke persoon of rechtspersoon die schriftelijk door de fabrikant is gemachtigd om namens hem alle of een deel van de in deze richtlijn bedoelde verplichtingen en formaliteiten te vervullen;
- k) „inbedrijfstelling”: eerste gebruik in de Gemeenschap van een onder deze richtlijn vallende machine overeenkomstig het gebruiksdoel;
- l) „geharmoniseerde norm”: niet-bindende technische specificatie die op grond van een door de Commissie volgens de procedures van Richtlijn 98/34/EG van het Europees Parlement en de Raad van 22 juni 1998 betreffende een informatieprocedure op het gebied van normen en technische voorschriften verstrekte opdracht is vastgesteld door een normalisatie-instelling, namelijk de Europese Commissie voor Normalisatie (CEN), het Europees Comité voor Elektrotechnische Normalisatie (CENELEC) of het Europees Instituut voor Telecommunicatienormen (ETSI).

Artikel 5

In de handel brengen en in bedrijf stellen

1. De fabrikant of diens gemachtigde moet, alvorens een machine in de handel te brengen en/of in bedrijf te stellen:
 - a) zich ervan vergewissen dat deze machine in overeenstemming is met de toepasselijke, in bijlage I vermelde essentiële gezondheids- en veiligheidseisen;
 - b) zich ervan vergewissen dat het in bijlage VII, afdeling A, bedoelde technisch dossier beschikbaar is;
 - c) inzonderheid de noodzakelijke informatie verstrekken, zoals de gebruiksaanwijzing;
 - d) de procedures ter beoordeling van de overeenstemming uitvoeren, overeenkomstig artikel 12;
 - e) de EG-verklaring van overeenstemming opstellen overeenkomstig bijlage II, deel 1, onder A, en zeker stellen dat deze de machine vergezelt;
 - f) overeenkomstig artikel 16 de CE-markering aanbrengen.
2. De fabrikant of diens gemachtigde moet, alvorens een niet voltooide machine in de handel te brengen, zich ervan vergewissen dat de in artikel 13 bedoelde procedures zijn afgewikkeld.

3. De fabrikant of diens gemachtigde moet, ten behoeve van de in artikel 12 bedoelde procedure, beschikken over of toegang hebben tot de middelen die nodig zijn om zich ervan te vergewissen dat de machine voldoet aan de essentiële gezondheids- en veiligheidseisen van bijlage I.
4. Wanneer de machines ook vallen onder andere richtlijnen, die betrekking hebben op andere aspecten en voorzien in het aanbrengen van de CE-markering, wordt door deze markering aangegeven dat de machines ook aan die andere richtlijnen voldoen.

Wanneer de fabrikant of diens gemachtigde op grond van een of meer van die richtlijnen echter gedurende een overgangperiode de toe te passen regeling kan kiezen, wordt door de CE-markering uitsluitend aangegeven dat de machine in overeenstemming is met de bepalingen van de door de fabrikant of diens gemachtigde toegepaste richtlijnen. De verwijzingen naar de toegepaste richtlijnen, zoals in het Publicatieblad van de Europese Unie bekendgemaakt, moeten in de EG-verklaring van overeenstemming worden vermeld.

BIJLAGE I

Essentiële veiligheids- en gezondheidseisen betreffende het ontwerp en de bouw van machines

ALGEMENE BEGINSELEN

1. De fabrikant van een machine of diens gemachtigde garandeert dat een risicobeoordeling wordt uitgevoerd om na te gaan welke veiligheids- en gezondheidseisen op die machine van toepassing zijn; bij ontwerp en bouw van de machine moet vervolgens rekening worden gehouden met de resultaten van deze risicobeoordeling.
Via het herhalen van bovenbedoelde risicobeoordeling en -beperking dient de fabrikant of diens gemachtigde:
 - de grenzen van de machines te bepalen, zowel uitgaande van het beoogde gebruik als van elk redelijkerwijs voorzienbare verkeerde gebruik daarvan,
 - na te gaan welke gevaren door de machines kunnen worden veroorzaakt en welke gevaarlijke situaties daaraan verbonden zijn,
 - de risico's in te schatten met inachtneming van de ernst van het mogelijke letsel of de aantasting van de gezondheid en de waarschijnlijkheid dat deze zich voordoet,
 - de risico's te beoordelen teneinde, overeenkomstig de doelstelling van deze richtlijn, te bepalen of risicoreductie vereist is,
 - de gevaren weg te nemen of de aan deze gevaren verbonden risico's te verminderen door de toepassing van beschermende maatregelen in de in punt 1.1.2, onder b) vastgestelde volgorde.
2. De verplichtingen die zijn vervat in de essentiële veiligheids- en gezondheidseisen zijn alleen van toepassing indien het gevaar in kwestie bij de betrokken machine aanwezig is wanneer deze op de door de fabrikant of diens gemachtigde bedoelde wijze, dan wel in voorzienbare abnormale omstandigheden wordt gebruikt. De beginselen van geïntegreerde veiligheid van punt 1.1.2 en de voorschriften inzake markering en gebruiksaanwijzing van de punten 1.7.3 en 1.7.4 gelden in ieder geval.
3. De in deze bijlage vermelde essentiële veiligheids- en gezondheidseisen zijn dwingend. Gezien de stand van de techniek is het evenwel mogelijk dat de daarin gestelde doelen niet kunnen worden bereikt. In dat geval moeten die doelstellingen bij het ontwerp en de bouw van de machine zoveel mogelijk worden nagestreefd.

4. Deze bijlage bestaat uit verschillende delen. Het eerste deel heeft een algemene werkingssfeer en is van toepassing op alle soorten machines. In de andere delen wordt verwezen naar bepaalde soorten meer specifieke gevaren. De gehele bijlage moet evenwel worden bekeken om zeker te zijn dat aan alle toepasselijke essentiële eisen is voldaan. Bij het ontwerpen van machines overeenkomstig punt 1 van deze algemene beginselen, worden de eisen van het algemene deel en de eisen van een of meer andere delen in aanmerking genomen, naar gelang van de resultaten van de risicobeoordeling, uitgevoerd overeenkomstig punt 1 van deze algemene beginselen.

1. ESSENTIËLE VEILIGHEIDS-EN GEZONDHEIDSEISEN

1.5. ALGEMEEN

1.5.1. Definities

In deze bijlage wordt verstaan onder:

- a) „gevaar”: een mogelijke bron van verwonding of aantasting van de gezondheid;
- b) „gevaarenzone”: zone in en/of rondom een machine waar een persoon blootstaat aan gevaar voor zijn veiligheid of gezondheid;
- c) „blootgestelde persoon”: persoon die zich geheel of gedeeltelijk in een gevaarenzone bevindt;
- d) „bediener”: persoon die een machine installeert, laat werken, afstelt, onderhoudt, reinigt, herstelt of verplaatst;
- e) „risico”: combinatie van de waarschijnlijkheid en de ernst van een letsel of aantasting van de gezondheid die zich kan voordoen in een gevaarlijke situatie;
- f) „afscherming”: een machineonderdeel dat specifiek wordt gebruikt om te beschermen door middel van een materiële barrière;
- g) „beveiligingsinrichting”: inrichting (anders dan een afscherming) die, alleen of in combinatie met een afscherming, een risico vermindert;
- h) „beoogd gebruik”: gebruik van een machine overeenkomstig de informatie in de gebruiksaanwijzing;
- i) „redelijkerwijs voorzienbaar verkeerd gebruik”: gebruik van een machine op een manier die niet in de gebruiksaanwijzing staat maar het resultaat kan zijn van gemakkelijk voorspelbaar menselijk gedrag.

1.5.2. Beginselen van geïntegreerde veiligheid

- a) De machine moet zodanig ontworpen en gebouwd zijn dat zij bediend, afgesteld en onderhouden kan worden zonder dat personen aan een risico worden blootgesteld, wanneer deze handelingen onder de vastgestelde omstandigheden worden verricht, tevens rekening houdend met redelijkerwijs voorzienbaar verkeerd gebruik.
De genomen maatregelen moeten erop gericht zijn elk risico gedurende de te verwachten levensduur van de machine, met inbegrip van de fasen van het vervoer, het monteren, het demonteren, de buitenbedrijfstelling en de sloop, uit te sluiten.
- b) Bij het kiezen van de meest geschikte oplossingen moet de fabrikant of diens gemachtigde de volgende beginselen toepassen, in de aangeduide volgorde:
 - de risico's uitsluiten of zoveel mogelijk verminderen (veiligheid in het ontwerp en de bouw van de machine integreren),
 - de noodzakelijke beveiligingsmaatregelen treffen voor risico's die niet kunnen worden uitgesloten,

- de gebruikers informeren over de risico's ten gevolge van een tekortkoming van de getroffen beveiligingsmaatregelen, aangeven of een bijzondere opleiding vereist is en vermelden dat persoonlijke beschermingsmiddelen vereist zijn.
- c) Bij ontwerp en bouw van de machine en bij het opstellen van de gebruiksaanwijzing moet de fabrikant of diens gemachtigde niet alleen het beoogde gebruik van de machine maar ook elk redelijkerwijs voorzienbare verkeerd gebruik voor ogen houden. De machine moet zo zijn ontworpen en gebouwd om abnormaal gebruik, indien dat een risico zou inhouden, te voorkomen. In voorkomend geval moet de gebruiksaanwijzing de aandacht van de gebruiker vestigen op te ontraden gebruik dat, zoals de ervaring heeft uitgewezen, van de machine kan worden gemaakt.
- d) Bij ontwerp en bouw van de machine moet rekening worden gehouden met de belemmeringen die de bediener ondervindt door een noodzakelijk of te voorzien gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.
- e) De machine moet worden geleverd met alle speciale uitrusting en accessoires die essentieel zijn om deze veilig te kunnen afstellen, onderhouden en gebruiken.

1.5.3. Materialen en producten

De materialen gebruikt om de machine te bouwen of producten gebruikt of ontstaan gedurende het gebruik ervan mogen geen gevaar voor de veiligheid of de gezondheid van personen opleveren. Met name bij het gebruik van vloeistoffen moet de machine zijn ontworpen en gebouwd om risico's als gevolg van vullen, gebruiken, opvangen en afvoeren te voorkomen.

1.5.4. Verlichting

De machine moet worden geleverd met een ingebouwde, aan de werkzaamheden aangepaste verlichting indien afwezigheid van die ingebouwde verlichting ondanks een normale ruimteverlichting een risico kan inhouden.

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat de verlichting geen hinderlijke schaduwzones, verblinding of gevaarlijke stroboscopische effecten op de bewegende delen veroorzaakt.

Indien bepaalde organen aan de binnenzijde dikwijls moeten worden geïnspecteerd en afgeregeld, moeten zij van een passende verlichting zijn voorzien; dit geldt tevens voor de zones waar afstelling en onderhoud plaatsvinden.

1.5.5. Ontwerp van de machine om het hanteren ervan gemakkelijker te maken

De machine of elk van de componenten moet:

- veilig kunnen worden gehanteerd en vervoerd,
- verpakt of ontworpen zijn om veilig en zonder beschadigingen te kunnen worden opgeslagen.

Bij vervoer van de machine en/of onderdelen daarvan mogen zich geen plotselinge verplaatsingen kunnen voordoen of mag geen gevaar ontstaan door gebrek aan stabiliteit, indien de machine en/of onderdelen daarvan volgens de gebruiksaanwijzing worden gehanteerd.

Wanneer het gewicht, de omvang of de vorm van de machine of de verschillende componenten ervan handmatige verplaatsing onmogelijk maakt, moet de machine of elk samenstellend deel:

- voorzien zijn van bevestigingspunten voor een hefinrichting, of

- zodanig zijn ontworpen dat dergelijke bevestigingspunten kunnen worden aangebracht, of
- een vorm hebben die gemakkelijke bevestiging van standaard hijs- en hefgereedschap mogelijk maakt.

Wanneer de machine of een van de samenstellende delen daarvan met de hand wordt verplaatst, moeten deze:

- hetzij gemakkelijk verplaatsbaar zijn,
- hetzij uitgerust om veilig te kunnen worden opgepakt en verplaatst.
- Bijzondere voorzieningen moeten worden getroffen voor het hanteren van gereedschappen en/of onderdelen van machines die gevaarlijk zouden kunnen zijn, zelfs als deze een gering gewicht hebben.

1.5.6. Ergonomie

Onder de beoogde gebruiksomstandigheden moeten hinder, vermoeidheid en fysieke en psychische belasting waarmee de bediener wordt geconfronteerd tot het minimum beperkt blijven, met inachtneming van ergonomische beginselen zoals:

- het rekening houden met de verscheidenheid aan fysieke afmetingen, kracht en uithoudingsvermogen van de bedieners,
- het voorhanden zijn van voldoende ruimte opdat de bediener zijn lichaamsdelen vrijelijk kan bewegen,
- het vermijden dat de machine het werktempo bepaalt,
- het vermijden dat langdurige concentratie is vereist,
- het aanpassen van het raakvlak tussen mens en machine op de te voorziene eigenschappen van de bedieners.

1.5.7. Bedienerspost

De bedienerspost moet zo zijn ontworpen en gebouwd dat ieder risico door uitlaatgassen en/of zuurstofgebrek wordt vermeden.

Indien de machine bedoeld is om te worden gebruikt in een gevaarlijke omgeving die risico's voor de gezondheid of de veiligheid van de bediener vertoont, dan wel indien de machine zelf een gevaarlijke omgeving creëert, moet er met passende middelen voor worden gezorgd dat de bediener in goede arbeidsomstandigheden werkt en beschermd is tegen alle voorzienbare gevaren.

In voorkomend geval, moet de werkplek van een deugdelijke cabine zijn voorzien, die zo moet zijn ontworpen, gebouwd en/of uitgerust dat aan de bovengenoemde eisen wordt voldaan. De uitgang moet een snelle ontruiming mogelijk maken. Bovendien moet, in voorkomend geval, een nooduitgang worden voorzien in een andere richting dan de gewone uitgang.

1.6. BESTURINGSSYSTEMEN

1.6.1. Veiligheid en betrouwbaarheid van de besturingssystemen

De besturingssystemen moeten zodanig ontworpen en gebouwd zijn dat er geen gevaarlijke situaties ontstaan. Meer bepaald moeten zij zodanig ontworpen en gebouwd zijn dat:

- zij bestand zijn tegen de normale bedrijfsbelasting en tegen invloeden van buitenaf,
- een storing in de apparatuur of de programmatuur van het besturingssysteem niet tot een gevaarlijke situatie leidt,

- fouten in de besturingslogica niet tot een gevaarlijke situatie leiden,
- redelijkerwijs voorzienbare menselijke fouten gedurende de werking niet tot een gevaarlijke situatie leiden.

Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de volgende punten:

- de machine mag zich niet onverwacht in werking stellen,
- de parameters van de machine mogen niet op een ongecontroleerde wijze veranderen wanneer dit tot gevaarlijke situaties kan leiden,
- het stopzetten van de machine mag niet worden verhinderd indien de opdracht tot stopzetten reeds is gegeven,
- geen enkel bewegend deel van de machine of geen enkel door de machine vastgehouden stuk mag vallen of worden uitgeworpen,
- het automatisch of manueel stopzetten van enig bewegend deel mag niet worden gehinderd,
- de beschermingsinrichtingen moeten volkomen functioneel blijven dan wel een opdracht tot stopzetten geven,
- de veiligheidsgerelateerde elementen van het besturingssysteem moeten op een coherente wijze gelden voor een samenstel van machines en/of niet voltooide machines.

Bij draadloze bediening wordt de machine automatisch stopgezet wanneer er geen correcte besturingssignalen worden ontvangen; dit is ook het geval wanneer de communicatie is weggefallen.

1.6.2. Bedieningsorganen

De bedieningsorganen moeten:

- duidelijk zichtbaar en herkenbaar zijn en, waar nodig, voorzien zijn van pictogrammen,
 - zodanig zijn geplaatst dat de bediening veilig, zonder aarzeling of tijdverlies en zonder misverstand kan geschieden,
 - zodanig zijn ontworpen dat er een logisch verband bestaat tussen de beweging van het bedieningsorgaan en het bewerkstelligde effect,
 - buiten de gevarenczones geplaatst zijn, behalve wanneer dit voor bepaalde bedieningsorganen, zoals noodstoporganen of hangende bedieningsstations, nodig is,
 - zodanig geplaatst zijn dat hun bediening geen extra risico met zich meebrengt,
 - zodanig zijn ontworpen of beveiligd dat het beoogde effect, indien dat gevaar kan opleveren, uitsluitend door een opzettelijke handeling kan plaatsvinden,
 - zodanig zijn vervaardigd dat zij aan de voorzienbare krachten kunnen weerstaan.
- Bijzondere aandacht moet worden geschonken aan de noodstopvoorzieningen, die sterk belast kunnen worden.

Als een bedieningsorgaan zodanig is ontworpen en gebouwd dat er verschillende handelingen mee kunnen worden verricht, dat wil zeggen dat de werking ervan niet eenduidig is, moet duidelijk worden aangegeven welke handeling is gekozen en moet deze keuze zo nodig worden bevestigd.

De bedieningsorganen moeten zodanig zijn uitgevoerd dat, rekening houdend met de ergonomische beginselen, de opstelling, het bereik en de bedieningsweerstand verenigbaar zijn met de te verrichten handeling.

De machine moet zijn voorzien van signalerings-en aanwijsinrichtingen die noodzakelijk zijn voor een veilige werking. De bediener moet deze signalen en aanwijzingen vanaf de bedieningspost kunnen waarnemen.

De bediener moet zich er vanaf iedere bedieningspost van kunnen vergewissen dat er zich geen personen in de gevarenczones bevinden of het bedieningssysteem moet zodanig zijn ontworpen en uitgevoerd dat het inschakelen van de machine wordt verhinderd zolang er zich iemand in de gevarenczone bevindt.

Wanneer geen van deze mogelijkheden kan worden toegepast, moet voor het inschakelen van de machine een geluids-en/of lichtsignaal worden gegeven.

Blootgestelde personen moeten voldoende tijd hebben om de gevarenczone te verlaten of het inschakelen van de machine te verhinderen.

Zo nodig moeten voorzieningen worden getroffen om zeker te stellen dat de machine uitsluitend vanaf bedieningsposten in een of meer vooraf bepaalde zones of plaatsen kan worden bediend.

Wanneer er meer dan één bedieningspost is, moet het besturingssysteem zodanig zijn ontworpen dat bij gebruik van één van de posten het gebruik van de overige posten onmogelijk wordt, met uitzondering van stopinrichtingen en noodstops.

Wanneer een machine twee of meer bedienersposten heeft, moet iedere post voorzien zijn van alle noodzakelijke bedieningsorganen, zonder dat de bedieners elkaar hinderen of in een gevaarlijke situatie brengen.

1.6.3. In werking stellen

Het in werking stellen van een machine mag alleen kunnen geschieden door een opzettelijk verrichte handeling met een hiervoor bestemd bedieningsorgaan.

Dezelfde eis geldt wanneer:

- de machine opnieuw in werking wordt gesteld na een stilstand, ongeacht de oorzaak daarvan;
- een belangrijke wijziging in de bedrijfsomstandigheden wordt bewerkstelligd.

Voorzover dit niet tot een gevaarlijke situatie leidt, mag het opnieuw in werking stellen of het wijzigen van de bedrijfsomstandigheden geschieden door een opzettelijk verrichte handeling met een ander orgaan dan het hiervoor bestemde bedieningsorgaan.

Bij machines die werken in automatische modus mag het in werking stellen, het opnieuw in werking stellen na een stilstand of het wijzigen van de bedrijfsomstandigheden, zonder ingreep kunnen plaatsvinden als dit geen gevaarlijke situatie oplevert.

Wanneer een machine door meer dan één bedieningsorgaan in werking kan worden gesteld, en de bedieners elkaar daardoor in gevaar kunnen brengen, moeten aanvullende inrichtingen worden aangebracht om dit risico uit te sluiten. Wanneer het om veiligheidsredenen nodig is de machine volgens een specifieke volgorde in werking te stellen en/of stop te zetten, moeten er inrichtingen zijn die waarborgen dat deze handelingen in de correcte volgorde worden uitgevoerd.

1.6.4. Stopzetting

1.6.4.1. Normale stopzetting

Een machine moet zijn voorzien van een bedieningsorgaan waarmee zij op veilige wijze volledig kan worden stopgezet.

Elke bedienerspost moet zijn voorzien van een bedieningsorgaan waarmee, naar gelang van de bestaande gevaren, hetzij alle functies van de machine, hetzij een aantal daarvan kunnen worden stilgelegd, zodat de machine in veilige toestand wordt gebracht.

De stopopdracht aan de machine moet voorrang hebben op opdrachten voor het in werking stellen.

Wanneer de machine of de gevaarlijke functies ervan tot stilstand zijn gekomen, moet de energievoorziening van de betrokken aandrijvingen worden onderbroken.

1.6.4.2. Operationele stop

Wanneer om operationele redenen een stopopdracht de energievoorziening van de aandrijvingen niet onderbreekt, dient de stoptoestand bewaakt en gehandhaafd te worden.

1.6.4.3. Noodstop

Een machine moet zijn voorzien van één of meer noodstopinrichtingen waarmee reële of dreigende gevaarlijke situaties kunnen worden afgewend.

Dit geldt niet voor:

- machines waarbij het risico niet verminderd zou worden door de noodstopinrichting, hetzij omdat deze
 - de normale tijd waarbinnen de machine stopt niet vermindert, hetzij omdat deze het niet mogelijk maakt de in verband met het risico vereiste bijzondere maatregelen te nemen,
 - met de hand vastgehouden en/of met de hand geleide draagbare machines.

De inrichting moet:

- duidelijk herkenbare, goed zichtbare en snel bereikbare bedieningsorganen hebben,
- stopzetting van een gevaarlijk proces binnen de kortst mogelijke tijd bewerkstelligen zonder extra risico's te scheppen,
- indien nodig, bepaalde veiligheidsbewegingen in gang zetten of mogelijk maken dat deze in gang worden gezet.

Wanneer de werking van de noodstopinrichting wordt beëindigd nadat een stopbevel is gegeven, moet het stopbevel door inschakeling van de noodstopinrichting gehandhaafd blijven totdat deze wordt opgeheven; inschakeling van de inrichting zonder dat deze een stopbevel genereert, mag niet mogelijk zijn. Het uitschakelen van de inrichting mag alleen door een passende handeling kunnen geschieden en mag de machine niet in werking stellen, maar mag alleen het opnieuw in werking stellen mogelijk maken.

De noodstopfunctie moet te allen tijde beschikbaar en operationeel zijn, ongeacht de bedrijfsmodus.

Noodstopinrichtingen dienen ter ondersteuning van andere veiligheidsmaatregelen, niet ter vervanging ervan.

1.6.4.4. *Complexe machines*

Machines of machinedelen die zijn ontworpen om in combinatie te functioneren, moeten zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat de stopinrichtingen — met inbegrip van de noodstopinrichtingen — niet alleen de machine, maar tevens alle daarmee verbonden installaties kunnen stopzetten, indien het blijven functioneren daarvan gevaar kan opleveren.

1.6.5. *Keuze van de bedienings-of bedrijfsmodus*

De gekozen bedienings-of bedrijfsmodus moet voorrang hebben op alle andere bedienings-of bedrijfsmodi, met uitzondering van de noodstopinrichting.

Als de machine is ontworpen en gebouwd om gebruikt te worden volgens verschillende bedienings- of bedrijfsmodi, waarbij verschillende beschermingsmaatregelen en/of werkwijzen vereist zijn, moet de machine voorzien zijn van een in elke stand vergrendelbare functiekeuzeschakelaar. Elke positie van de functiekeuzeschakelaar moet duidelijk herkenbaar zijn en mag slechts met één bedienings-of bedrijfsmodus verbonden zijn.

Om het gebruik van bepaalde functies van de machine tot bepaalde categorieën bedieners te beperken, mag de keuzeschakelaar door andere middelen worden vervangen.

Als de machine voor bepaalde handelingen moet kunnen functioneren met een verplaatste of verwijderde afscherming en/of een uitgeschakelde beveiligingsinrichting, moet de functiekeuzeschakelaar voor de bedienings- of bedrijfsmodus tegelijkertijd:

- alle andere bedienings-of bedrijfsmodi uitschakelen;
- de werking van gevaarlijke functies uitsluitend mogelijk maken door middel van bedieningsorganen die onafgebroken moeten worden bediend;
- de werking van gevaarlijke functies alleen mogelijk maken in omstandigheden met een verminderd risico en daarbij elk gevaar ingevolge aan elkaar geschakelde regelingen voorkomen;
- de werking van gevaarlijke functies door gewilde of ongewilde invloed op de sensoren van de machine, onmogelijk maken.

Indien aan deze vier voorwaarden niet gelijktijdig kan worden voldaan, moet de functiekeuzeschakelaar andere beschermingsvoorzieningen in werking stellen, die zijn ontworpen en gebouwd om een veilige werkruimte te garanderen.

Verder moet de bediener vanaf de bedieningspost het functioneren van de onderdelen waarop hij invloed uitoefent, kunnen beheersen.

1.6.6. *Defecten in de energievoorziening*

Een onderbreking, het herstel na een onderbreking of een schommeling van welke aard ook in de energievoorziening van de machine, mag niet tot gevaarlijke situaties leiden.

Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de volgende punten:

- de machine mag zich niet onverwacht in werking stellen,
- de parameters van de machine mogen niet op een ongecontroleerde wijze veranderen wanneer dit gevaarlijke situaties kan doen ontstaan;

- het stopzetten van de machine mag niet worden verhinderd indien de opdracht tot stopzetten reeds is gegeven;
- geen enkel bewegend deel van de machine of geen enkel door de machine vastgehouden stuk mag vallen of worden uitgeworpen;
- het automatisch of manueel stopzetten van enig bewegend deel mag niet worden gehinderd;
- de beschermende inrichtingen moeten volkomen functioneel blijven dan wel een opdracht tot stopzetting geven.

1.7. MAATREGELEN TER BEVEILIGING TEGEN MECHANISCHE GEVAREN

1.7.1. *Risico van verlies van stabiliteit*

De machine, haar onderdelen en toebehoren moeten voldoende stabiliteit bezitten opdat kantelen, omvallen of onbeheerste verplaatsingen worden vermeden tijdens het vervoeren, monteren, demonteren en elke andere handeling waarbij de machine betrokken is.

Als de vorm van de machine zelf of de bedoelde installatie, onvoldoende stabiliteit bieden, moeten passende verankeringsmiddelen worden ingebouwd, die in de gebruiksaanwijzing moeten zijn aangegeven.

1.7.2. *Risico van breuken tijdens het gebruik*

De verschillende delen van de machine en hun verbindingen moeten bestand zijn tegen de belastingen waaraan zij tijdens het gebruik worden blootgesteld.

De duurzaamheid van de gebruikte materialen moet toereikend zijn voor het soort gebruiksomgeving, dat verwacht wordt door de fabrikant of diens gemachtigde, inzonderheid wat betreft de verschijnselen moeheid, veroudering, corrosie en (af)slijting. In de gebruiksaanwijzing moeten de aard en de frequentie worden vermeld van het onderhoud en de inspecties die om veiligheidsredenen noodzakelijk zijn. Zo nodig dient te worden aangegeven welke onderdelen aan slijtage onderhevig zijn, en welke de criteria voor vervanging zijn.

Indien ondanks de getroffen voorzorgsmaatregelen gevaar voor scheuring of verwerking van betreffende onderdelen blijft bestaan, moeten de betreffende delen zodanig worden aangebracht, gepositioneerd en/of beschermd dat brokstukken worden ingekapseld en gevaarlijke situaties worden vermeden.

Zowel stijve als flexibele leidingen voor fluïda, in het bijzonder hogedrukleidingen, moeten bestand zijn tegen de bedoelde interne en externe spanningen waaraan zij normaal worden blootgesteld; zij moeten stevig zijn bevestigd en/of afgeschermd om er zeker van te zijn dat geen risico door het scheuren wordt gevormd.

Bij automatische toevoer van het te bewerken materiaal naar het gereedschap moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan om risico's voor personen te vermijden:

- wanneer het werktuig in contact raakt met het gereedschap moet het laatstgenoemde zijn normale gebruiksomstandigheden hebben bereikt;

- wanneer het gereedschap (al dan niet opzettelijk) in werking wordt gesteld en/of stopgezet, moet de aanvoerbeweging en de beweging van het gereedschap gecoördineerd zijn.

1.7.3. Risico's in verband met vallende of uitgeworpen voorwerpen

Er moeten voorzorgsmaatregelen worden genomen om risico's in verband met vallende of uitgeworpen voorwerpen te voorkomen.

1.7.4. Risico's in verband met oppervlakken, scherpe kanten, hoeken

Bereikbare machineonderdelen mogen, voorzover dat in verband met hun functie toegelaten is, geen scherpe kanten en hoeken of ruwe oppervlakken vertonen die gemakkelijk verwondingen kunnen veroorzaken.

1.7.5. Risico's in verband met gecombineerde machines

Wanneer een machine is bedoeld om een aantal verschillende bewerkingen te verrichten, waarbij het werkstuk na iedere bewerking met de hand wordt verwijderd (gecombineerde machine), moet zij zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat het mogelijk is ieder deel afzonderlijk te gebruiken zonder dat de overige machinedelen voor de blootgestelde persoon een risico inhouden. Met het oog hierop moet ieder deel, dat niet volledig is afgeschermd, afzonderlijk in werking gesteld of gestopt kunnen worden.

1.7.6. Risico's in verband met de verschillende bedrijfsomstandigheden

Bij bewerkingen in verschillende gebruiksomstandigheden, moet de machine zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat deze gebruiksomstandigheden veilig en betrouwbaar kunnen worden gekozen en ingesteld.

1.7.7. Risico's in verband met de bewegende delen

De bewegende delen van de machine moeten zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat wat betreft risico voor aanraking waardoor zich ongelukken zouden kunnen voordoen, wordt voorkomen, of, wanneer risico's blijven bestaan, voorzien zijn van afschermingen of beveiligingsinrichtingen.

Alle nodige maatregelen moeten worden genomen om het onverwacht blokkeren van bewegende delen die bij het werk zijn betrokken, te verhinderen. Wanneer ondanks deze voorzorgsmaatregelen het waarschijnlijk is dat een blokkering kan optreden, moet waar nodig worden gezorgd dat deze blokkering met de nodige specifieke beschermingsmiddelen en gereedschappen zonder gevaar kan worden verholpen. Deze specifieke beschermingsmiddelen moeten in de gebruiksaanwijzing en, indien mogelijk, op de machine zelf worden vermeld, met een beschrijving van het gebruik ervan.

1.7.8. Keuze van de beveiliging tegen risico's in verband met bewegende delen

Afschermingen of beveiligingsinrichtingen ontworpen om te beschermen tegen risico's veroorzaakt door bewegende delen, moeten worden gekozen op grond van de aard van het risico. De volgende richtsnoeren moeten als hulp worden gehanteerd om de keuze te maken.

1.7.8.1. Bewegende overbrengingsorganen

Afschermingen ontworpen ter beveiliging van personen tegen de gevaren die worden veroorzaakt door bewegende overbrengingsorganen, moeten:

- hetzij vaste afschermingen zijn als bedoeld in punt 1.4.2.1,
- hetzij beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening als bedoeld in punt 1.4.2.2.

Als frequente toegang te verwachten is, zouden beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening moeten worden gebruikt.

1.7.8.2. *Bewegende delen die voor de bewerking dienen*

Afschermingen of beveiligingsinrichtingen ter beveiliging van personen tegen gevaren veroorzaakt door bewegende delen die voor de bewerking dienen, moeten:

- hetzij vaste afschermingen zijn als bedoeld in punt 1.4.2.1,
- hetzij beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening zijn als bedoeld in punt 1.4.2.2,
- hetzij beveiligingsinrichtingen zijn als bedoeld in punt 1.4.3,
- hetzij een combinatie zijn van bovenstaande elementen.

Wanneer echter bepaalde bewegende delen die dienen voor de uitvoering van de werkzaamheden, niet volledig onbereikbaar kunnen worden gemaakt wanneer zij in werking zijn, wegens handelingen die het ingrijpen van de bediener noodzakelijk maken, moeten deze delen worden voorzien van:

- vaste schermen of beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening, waardoor de toegang tot de niet bij het werk gebruikte delen onmogelijk wordt, en
- instelbare afschermingen als bedoeld in punt 1.4.2.3, waardoor de toegang beperkt wordt tot de bij de werkzaamheden gebruikte bewegende delen waarvan de toegang nodig is.

1.7.9. *Risico's ten gevolge van niet-gecontroleerde bewegingen*

Wanneer een machinedeel tot stilstand is gebracht, moet iedere verschuiving vanuit die stilstandpositie door ongeacht welke andere oorzaak dan het hanteren van de bedieningsorganen, worden voorkomen of dusdanig zijn dat ze geen enkel gevaar oplevert.

1.8. VEREISTE KENMERKEN VAN DE AFSCHERMINGEN EN BEVEILIGINGSINRICHTINGEN

1.8.1. *Algemene eisen*

Afschermingen en beveiligingsinrichtingen:

- moeten stevig zijn uitgevoerd,
- moeten stevig op hun plaats worden gehouden,
- mogen geen bijkomende gevaren met zich brengen,
- mogen niet op eenvoudige wijze omzeild of buiten werking gesteld kunnen worden,
- moeten voldoende ver van de gevarezone verwijderd zijn,
- moeten het zicht op het verloop van het werk zo min mogelijk belemmeren, en
- moeten de noodzakelijke werkzaamheden voor het aanbrengen en/of vervangen van de gereedschappen en voor de onderhoudswerkzaamheden mogelijk maken, waarbij de toegang nauwlettend wordt beperkt tot de sector waar het werk moet worden verricht, zo mogelijk zonder dat de afscherming moet worden verwijderd of de beveiligingsinrichting moet worden uitgeschakeld.

Tevens moeten de afschermingen, voorzover mogelijk, bescherming bieden tegen het wegspringen of vallen van materialen of voorwerpen en tegen de emissies voortgebracht door de machine.

1.8.2. Bijzondere eisen voor afschermingen

1.8.2.1. Vaste afschermingen

Vaste afschermingen moeten zodanig zijn bevestigd dat zij alleen met behulp van gereedschappen kunnen worden geopend of verwijderd.

Bij demontage moeten de bevestigingsmiddelen met de afschermingen of de machine verbonden blijven.

Waar mogelijk, mogen afschermingen niet zonder hun bevestigingsmiddelen op hun plaats kunnen blijven.

1.8.2.2. Beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening

Beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening moeten:

- wanneer geopend, zoveel mogelijk met de machine verbonden blijven,
- zodanig worden ontworpen en gebouwd dat ze enkel met een opzettelijke handeling kunnen worden afgesteld.

Beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening moeten gecombineerd zijn met een vergrendelinrichting die:

- voorkomt dat gevaarlijke machinefuncties in werking treden totdat de afscherming gesloten is, en
- een opdracht tot stopzetting geeft wanneer de afscherming niet meer gesloten is.

Wanneer het mogelijk is dat een bediener de gevarenzone bereikt voordat het risico dat voortvloeit uit de gevaarlijke machinefuncties is geweken, moeten de beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening niet alleen met een vergrendelinrichting, maar ook met een voorziening voor het vergrendelen van de afscherming worden gecombineerd die:

- voorkomt dat gevaarlijke machinefuncties in werking treden voordat de afscherming gesloten en vergrendeld is, en
- de afscherming gesloten en vergrendeld houdt totdat het risico van verwonding door de gevaarlijke machinefuncties is geweken.

Beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening moeten zodanig worden ontworpen dat het ontbreken van of een defect aan een van de onderdelen het op gang brengen van gevaarlijke machinefuncties verhindert of gevaarlijke machinefuncties tot stilstand brengt.

1.8.2.3. Instelbare afschermingen die de toegang beperken

Instelbare afschermingen die de toegang beperken tot de bewegende delen die voor de werkzaamheden strikt noodzakelijk zijn, moeten:

- afhankelijk van de aard van de te verrichten werkzaamheden, met de hand of automatisch instelbaar zijn,
- gemakkelijk kunnen worden ingesteld zonder het gebruik van gereedschap.

1.8.3. Bijzondere eisen voor beveiligingsinrichtingen

Beveiligingsinrichtingen moeten zodanig worden ontworpen en ingebouwd in het besturingssysteem dat:

- de bewegende delen niet in beweging kunnen worden gesteld zolang zij binnen het bereik van de bediener zijn;
- personen de bewegende delen tijdens de beweging niet kunnen bereiken, en

- het ontbreken van of een defect aan een van de onderdelen het op gang brengen verhindert of de bewegende delen tot stilstand brengt.

De veiligheidsvoorzieningen moeten enkel met een opzettelijke handeling kunnen worden ingesteld.

1.9. RISICO'S INGEVOLGE ANDERE GEVAREN

1.9.1. Risico ten gevolge van de elektriciteitsvoorziening

Wanneer de machine een stroomvoorziening heeft, moet zij zodanig zijn ontworpen, gebouwd en uitgerust dat alle gevaren in verband met elektriciteit worden of kunnen worden voorkomen.

De veiligheidsdoelstellingen van Richtlijn 73/23/EEG zijn van toepassing op machines. Evenwel vallen de verplichtingen betreffende de overeenstemmingsbeoordeling en het in de handel brengen en/of de inbedrijfstelling van machines, wat betreft de gevaren door elektriciteit, uitsluitend onder de bepalingen van de richtlijn.

1.9.2. Risico's door statische elektriciteit

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat accumulatie van elektrostatische lading die gevaar kan opleveren, wordt verhinderd of beperkt, en/of uitgerust met een systeem van massaverbinding.

1.9.3. Risico's ten gevolge van energievoorziening andere dan elektrische

Indien de machine door een andere energiebron dan elektriciteit wordt aangedreven, moet de machine zodanig zijn ontworpen, gebouwd en uitgerust dat alle risico's voortvloeiend uit het gebruik van deze energiebronnen worden voorkomen.

1.9.4. Risico's ten gevolge van montagefouten

Voor de hand liggende fouten bij het monteren of opnieuw monteren van bepaalde onderdelen waardoor risico's kunnen ontstaan, moeten onmogelijk gemaakt worden door het ontwerp en de bouw van deze onderdelen of anders door aanwijzingen op de onderdelen zelf en/of op de behuizing. Dezelfde aanwijzingen moeten zijn aangebracht op de bewegende delen en/of de behuizing ervan, indien men de richting van de beweging moet kennen om risico te voorkomen.

In voorkomend geval moet de gebruiksaanwijzing aanvullende informatie over deze risico's geven.

Indien een gebrekkige aansluiting risico kan opleveren, moeten verkeerde verbindingen uitgesloten zijn door het ontwerp ervan, of, anders, door aanwijzingen op de aan te sluiten elementen en, indien van toepassing, op de aansluitingsmiddelen.

1.9.5. Risico's ten gevolge van extreme temperaturen

Er moeten voorzieningen worden getroffen om elk risico voor verwondingen door aanraking van of geringe afstand tot onderdelen of materialen met een hoge of zeer lage temperatuur te voorkomen.

Tevens moeten de nodige voorzieningen worden getroffen om het risico van het uitwerpen van warm of zeer koud materiaal te voorkomen of er bescherming tegen te bieden.

1.9.6. Risico's door brand

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat elk risico van brand of oververhitting, veroorzaakt door de machine zelf of door gassen, vloeistoffen, stofdeeltjes, dampen en andere door de machine geproduceerde of gebruikte stoffen, wordt vermeden.

1.9.7. Risico's door ontploffing

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat de machine zelf en de gassen, vloeistoffen, stofdeeltjes, dampen en andere door de machine geproduceerde of gebruikte stoffen geen risico van ontploffing opleveren.

De machine moet, wat betreft de risico's van ontploffing door gebruik in een omgeving met ontploffingsgevaar, in overeenstemming zijn met de specifieke communautaire richtlijnen.

1.9.8. Risico's door geluid

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat risico's als gevolg van de emissie van luchtgeluid tot een minimum worden teruggebracht, rekening houdend met de vooruitgang van de techniek en de beschikbaarheid van middelen om geluid te verminderen, in het bijzonder bij de bron.

Voor de beoordeling van het niveau van de geluidsemisatie mag worden uitgegaan van vergelijkbare emissiegegevens voor soortgelijke machines.

1.9.9. Risico's door trillingen

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat risico's voortvloeiend uit door de machine veroorzaakte trillingen tot een minimum worden teruggebracht, rekening houdend met de vooruitgang van de techniek en de beschikbaarheid van middelen om trillingen te verminderen, in het bijzonder bij de bron.

Voor de beoordeling van het niveau van de trillingsemisatie mag worden uitgegaan van vergelijkbare emissiegegevens voor soortgelijke machines.

1.9.10. Risico's door straling

Ongewenste emissie van straling van de machine moet worden geëlimineerd of verminderd tot een niveau dat geen nadelige gevolgen heeft voor personen.

Functionele emissie van ioniserende straling van de machine moet worden beperkt tot het laagste niveau dat volstaat voor de goede werking van de machine tijdens het installeren, het werken en het schoonmaken.

Wanneer er een risico bestaat, moeten de nodige beschermende maatregelen worden genomen.

Iedere functionele emissie van niet-ioniserende straling tijdens het installeren, het werken en het schoonmaken moet worden beperkt tot een niveau dat geen nadelige gevolgen heeft voor personen.

1.9.11. Risico's door uitwendige straling

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat uitwendige straling de werking ervan niet kan verstoren.

1.9.12. Risico's door laserstraling

Als laserapparatuur wordt gebruikt, moeten de volgende voorschriften in acht worden genomen:

- de laserapparatuur op een machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat iedere onopzettelijke straling wordt vermeden,
- de laserapparatuur op een machine moet zodanig zijn beveiligd dat noch de nuttige straling, noch de straling
- door reflectie of diffusie, noch de secundaire straling schade aan de gezondheid toebrengt,
- de optische apparatuur voor de waarneming of het afstellen van de laserapparatuur op een machine moet van dien aard zijn dat de laserstraling geen enkel gevaar voor de gezondheid oplevert.

1.9.13. Risico's door emissie van gevaarlijke materialen en stoffen

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat het risico van inademing, inslikken, contact met de huid, ogen en slijmvliezen en penetratie door de huid van gevaarlijke materialen en stoffen die deze produceert, wordt vermeden.

Indien dergelijke gevaren niet kunnen worden geëlimineerd, moet de machine zijn uitgerust met voorzieningen om gevaarlijke materialen en stoffen op te vangen, af te zuigen, neer te slaan door waterverneveling, te filteren of te behandelen met een andere, even doeltreffende methode.

Wanneer het werkproces niet in een volledig afgesloten ruimte verloopt tijdens de normale werking van de machine, moeten de opvang-en/of afzuigvoorzieningen zich op de plaats bevinden waar zij een maximaal effect sorteren.

1.9.14. Risico om in een machine opgesloten te geraken

De machine moet zijn ontworpen, gebouwd of uitgerust met een voorziening die verhindert dat een persoon erin opgesloten kan raken of, indien dit niet kan worden voorkomen, voorzien zijn van middelen om hulp te kunnen vragen.

1.9.15. Risico van uitglijden, struikelen of vallen

De delen van de machine waarop voorzien is dat personen zich moeten verplaatsen of staan, moeten zodanig zijn ontworpen en uitgevoerd dat deze personen niet kunnen uitglijden, struikelen of vallen.

Deze delen moeten, in voorkomend geval, voorzien zijn van vaste handgrepen die de gebruikers in staat stellen hun stabiliteit te behouden.

1.9.16. Risico's door blikseminslag

Machines die tegen blikseminslag tijdens het bedrijf moeten worden beschermd, moeten een systeem hebben om de hieruit voortvloeiende elektrische lading naar de aarde te geleiden.

1.10. ONDERHOUD

1.10.1. Onderhoud van de machine

De afstel- en onderhoudspunten moeten zich buiten de gevarenczones bevinden.

Afstelling, onderhoud, reparatie en reiniging moeten kunnen plaatsvinden als de machine tot stilstand is gekomen.

Indien aan één of meer van bovenstaande voorwaarden om technische redenen niet kan worden voldaan, moeten maatregelen worden genomen om te waarborgen dat deze verrichtingen veilig kunnen worden uitgevoerd (zie punt 1.2.5).

Voor automatisch werkende machines en indien nodig voor andere machines moet zijn voorzien in een aansluiting voor diagnostische foutopsporingsapparatuur.

Onderdelen van automatisch werkende machines die regelmatig moeten worden verwisseld, moeten zodanig zijn dat eenvoudige en veilige verwijdering en vervanging mogelijk is. Deze onderdelen moeten zodanig bereikbaar zijn dat de desbetreffende taken met de benodigde technische middelen op een aangegeven wijze kunnen worden uitgevoerd.

1.10.2. Toegang tot bedienersposten en plaatsen waar onderhoud wordt verricht

Machines moeten zo ontworpen en gebouwd zijn dat alle plaatsen waar tijdens het bedrijf, de afstelling en het onderhoud van de machine handelingen moeten worden verricht, veilig toegankelijk zijn.

1.10.3. Afsluiten van de krachtbronnen

De machine moet zijn voorzien van inrichtingen waarmee zij van elk van haar krachtbronnen kan worden afgesloten. Deze inrichtingen moeten duidelijk herkenbaar zijn. Zij moeten vergrendeld kunnen worden indien het opnieuw aansluiten een gevaar voor personen zou kunnen opleveren. Deze inrichtingen moeten ook kunnen worden vergrendeld indien de bediener niet vanaf alle plaatsen die hij kan bereiken, kan controleren of de krachtbron nog altijd ontkoppeld is.

Bij machines die via een stekerverbinding van elektrische energie kunnen worden voorzien, volstaat het de stekker uit te trekken, mits de bediener vanaf alle plaatsen die hij kan bereiken, kan controleren of de stekker nog steeds uitgetrokken is.

Nadat de krachtbron is afgesloten, moet het mogelijk zijn de in de stroomkringen van de machine overblijvende of opgeslagen energie zonder gevaar voor personen af te voeren. In afwijking van het voorschrift in de vorige alinea's is toegestaan dat bepaalde circuits verbonden blijven met hun krachtbronnen, teneinde bijvoorbeeld bepaalde delen op hun plaats te houden, bepaalde informatie te behouden, het inwendige te verlichten enz. In dit geval moeten speciale voorzorgsmaatregelen worden genomen om de veiligheid van de bedieners te waarborgen.

1.10.4. Handelingen van de bediener

De machine moet zodanig zijn ontworpen, gebouwd en uitgerust dat de noodzaak voor ingrijpen door de bediener beperkt is. Wanneer tussenkomst van de bediener onvermijdelijk is, moet het mogelijk zijn deze ingreep eenvoudig en veilig uit te voeren.

1.10.5. Reiniging van inwendige delen

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat de inwendige delen van de machine die gevaarlijke stoffen of preparaten hebben bevat, kunnen worden gereinigd zonder dat in de inwendige delen hoeft te worden binnengegaan; ook een noodzakelijke ontstopping moet van buitenaf kunnen worden uitgevoerd.

Indien het binnengaan in de inwendige delen onmogelijk te vermijden is, moet de machine zodanig ontworpen en gebouwd zijn dat het reinigen veilig kan geschieden.

1.11. INFORMATIE

1.11.1. Informatie en waarschuwingen op de machine

Informatie en waarschuwingen op de machine moeten bij voorkeur worden verstrekt in de vorm van gemakkelijk te begrijpen symbolen of pictogrammen. Schriftelijke of mondelinge informatie en waarschuwingen moeten worden gesteld in de officiële taal (of talen) van de Gemeenschap die overeenkomstig het Verdrag kunnen worden bepaald door de lidstaat waar de machine op de markt zal worden gebracht en/of zal worden in bedrijf gesteld en kunnen desgevraagd vergezeld gaan van versies in een andere officiële taal (of talen) van de Gemeenschap die de bedieners begrijpen.

1.11.1.1. Informatie en informatiesystemen

De informatie die nodig is voor het bedienen van een machine, moet in een ondubbelzinnige en gemakkelijk te begrijpen vorm worden verstrekt. Zij mag niet zo uitgebreid zijn dat te hoge eisen aan de bediener worden gesteld.

Beeldschermen en andere interactieve middelen voor de communicatie tussen de bediener en de machine moeten gemakkelijk te begrijpen en te gebruiken zijn.

1.11.1.2. Alarminrichtingen

Wanneer de veiligheid of de gezondheid van personen in gevaar kan komen door de gebrekkige werking van een zonder toezicht werkende machine, moet deze machine zijn uitgerust met een inrichting die een passend geluids-of lichtsignaal geeft.

Indien de machine is uitgerust met alarminrichtingen, moeten de signalen ondubbelzinnig zijn en gemakkelijk kunnen worden opgemerkt. De bediener moet mogelijkheden hebben om te controleren of deze alarminrichtingen te allen tijde goed werken.

De voorschriften van specifieke communautaire richtlijnen inzake kleuren en veiligheidssignalen moeten worden toegepast.

1.11.2. Waarschuwing voor restrisico's

Indien ondanks de maatregelen die eigen zijn aan een veilig ontwerp, de genomen beschermingsmaatregelen en bijkomende voorzieningen gevaren, blijven bestaan, moeten de nodige waarschuwingen, met inbegrip van alarminrichtingen, worden voorzien.

1.11.3. Markering op machines

Op elke machine moeten zichtbaar, duidelijk leesbaar en onuitwisbaar ten minste de volgende gegevens zijn aangebracht:

- de firmanaam en het volledige adres van de fabrikant en, in voorkomend geval, diens gemachtigde;
- de aanduiding van de machine;
- de CE-markering (zie bijlage III);
- de serie-of typeaanduiding;
- het serienummer, voorzover toegekend;
- het bouwjaar, dat wil zeggen het jaar waarin het fabricageproces is afgerond.

Het is verboden de machine te ante-dan wel postdateren wanneer de CE-markering wordt aangebracht.

Als een machine ontworpen en gebouwd is om in een potentieel explosieve omgeving te worden gebruikt, moet dit eveneens worden vermeld.

Op de machine moet tevens alle informatie wat betreft de aard ervan worden vermeld die noodzakelijk is voor een veilig gebruik. Deze informatie is onderworpen aan de eisen genoemd in punt 1.7.1.

Wanneer een onderdeel van de machine tijdens het gebruik ervan met behulp van hijs- of hefwerktuigen moet worden verplaatst, moet de massa van dit onderdeel leesbaar, onuitwisbaar en ondubbelzinnig worden aangegeven.

1.11.4. Gebruiksaanwijzing

Bij iedere machine moet een gebruiksaanwijzing zijn gevoegd in de officiële Gemeenschapstaal (of talen) van de lidstaat waar de machine op de markt wordt gebracht en/of in bedrijf gesteld.

De bij de machine gevoegde gebruiksaanwijzing moet een „oorspronkelijke gebruiksaanwijzing” of een „vertaling van de oorspronkelijke gebruiksaanwijzing” zijn; in het laatste geval moet bij de vertaling een „oorspronkelijke gebruiksaanwijzing” zijn gevoegd.

In afwijking hiervan hoeven onderhoudsinstructies die bestemd zijn voor gespecialiseerd personeel dat in zeggenschap werkt van de fabrikant of diens gemachtigde, slechts in één door dat personeel begrepen taal van de Gemeenschap te worden verstrekt.

De gebruiksaanwijzing moet zijn opgesteld volgens de hierna genoemde uitgangspunten.

1.11.4.1. Algemene uitgangspunten voor het opstellen

- a) De gebruiksaanwijzing moet in één of meer officiële taal (talen) van de Gemeenschap worden opgesteld. De fabrikant of diens gemachtigde voorziet de versie(s) die hij heeft geverifieerd van de vermelding „oorspronkelijke gebruiksaanwijzing”.
- b) Wanneer een „oorspronkelijke gebruiksaanwijzing” in de officiële taal of talen van het land van gebruik ontbreekt, moet een vertaling in die taal of talen worden verstrekt door de fabrikant of diens gemachtigde, dan wel door degene die de machine in het bewuste taalgebied introduceert. Deze vertalingen moeten zijn voorzien van de vermelding „vertaling van de oorspronkelijke gebruiksaanwijzing”.
- c) De inhoud van de gebruiksaanwijzing moet niet alleen uitgaan van het beoogde gebruik van de machine, maar tevens rekening houden met elk redelijkerwijs voorzienbaar verkeerd gebruik daarvan.
- d) Indien de machines voor niet-professionele gebruikers bestemd zijn, moet bij de formulering en de presentatie van de gebruiksaanwijzing rekening worden gehouden met het algemene opleidingsniveau en het inzicht dat men redelijkerwijze van deze gebruikers mag verwachten.

1.11.4.2. Inhoud van de gebruiksaanwijzing

Iedere gebruiksaanwijzing moet, in voorkomend geval, ten minste de volgende informatie bevatten:

- a) firmanaam en volledig adres van de fabrikant en van diens gemachtigde;
- b) typeaanduiding van de machine als aangegeven op de machine zelf, met uitzondering van het serienummer (zie punt 1.7.3);
- c) EG-verklaring van overeenstemming, of een document waarin de inhoud van de EG-verklaring van overeenstemming wordt weergegeven, waarin een opsomming

wordt gegeven van de kenmerken van de machine, niet noodzakelijk met inbegrip van het serienummer en een handtekening;

- d) een algemene beschrijving van de machine;
- e) de tekeningen, schema's, beschrijvingen en toelichtingen die nodig zijn voor het gebruik, onderhoud en herstellen van de machine en voor de controle op de correcte werking ervan;
- f) een beschrijving van de werkplek(ken) die door de bedieners kan (kunnen) worden ingenomen;
- g) een beschrijving van het beoogde gebruik van de machine;
- h) waarschuwingen betreffende te ontraden gebruik dat, naar uit ervaring is gebleken, van de machine kan worden gemaakt;
- i) instructies voor de montage, installatie en aansluiting van de machine, met inbegrip van tekeningen, schema's en de bevestigingsmiddelen, en aanduiding van het chassis of de installatie waarop de machine moet worden gemonteerd;
- j) instructies voor een zodanige installatie en montage dat het geluid en de trillingen worden beperkt;
- k) instructies voor de inbedrijfstelling en het gebruik van de machine en zo nodig instructies voor de opleiding van de bedieners;
- l) informatie over de restrycties die, ondanks de geïntegreerde veiligheid bij het ontwerp van de machine en de genomen beschermingsmaatregelen en bijkomende voorzieningen, blijven bestaan;
- m) instructies inzake de door de gebruiker te nemen beschermende maatregelen, waaronder, in voorkomend geval, de te voorziene persoonlijke beschermingsuitrusting;
- n) de essentiële kenmerken van de gereedschappen die op de machine kunnen worden gemonteerd;
- o) de voorwaarden waaronder de machines voldoen aan de stabiliteitseis tijdens gebruik, vervoer, montage en demontage, alsmede wanneer zij buiten bedrijf zijn, tijdens beproevingen en bij voorzienbare storingen;
- p) instructies met het oog op een veilig vervoer, verplaatsen en opslaan, met vermelding van de massa van de machine en van de verschillende delen ervan, indien zij regelmatig afzonderlijk moeten worden vervoerd;
- q) de te volgen werkwijze bij ongevallen of storingen; indien blokkering kan optreden, de werkwijze volgens welke de blokkering zonder risico kan worden verholpen;
- r) de beschrijving van de afstellings- en onderhoudswerkzaamheden die de gebruiker moet verrichten alsook de in acht te nemen voorkomingsmaatregelen;
- s) instructies met het oog op een veilig afstellen en onderhoud, met inbegrip van de daarbij te nemen beschermingsmaatregelen;
- t) specificaties betreffende de te gebruiken vervangingsonderdelen, indien deze van invloed zijn op de gezondheid en de veiligheid van de bedieners;
- u) de volgende informatie over de emissie van luchtgeluid:
 - de A-gewogen geluidsemissiedruk op de werkplekken, voorzover deze hoger is dan 70 dB(A); als het niveau lager of gelijk is aan 70 dB(A), dan moet dit worden vermeld,
 - de maximale waarde van de C-gewogen momentane geluidsemissiedruk op de werkplekken, wanneer deze meer dan 63 Pa bedraagt (130 dB ten opzichte van 20 µPa),

- het A-gewogen niveau van het door de machine uitgestraalde geluidsvermogen, indien het niveau van de A-gewogen geluidsemissiedruk op de werkplekken hoger is dan 80 dB(A).

Deze waarden worden hetzij voor de betrokken machine reëel gemeten, hetzij vastgesteld uitgaande van metingen bij een technisch vergelijkbare machine die representatief is voor de te fabriceren machine.

Wanneer de machine zeer grote afmetingen heeft, kan de aanduiding van het A-gewogen geluidsvermogen worden vervangen door de aanduiding van de A-gewogen niveaus van de geluidsemissiedruk op gespecificeerde plaatsen rondom de machine.

Wanneer de geharmoniseerde normen niet worden toegepast, moeten de geluidsniveaus worden gemeten met de voor de machine meest geschikte meetmethode. Indien geluidsemissiewaarden worden vermeld, moeten de onzekerheidsfactoren in verband met deze waarden worden gespecificeerd. De bedrijfsomstandigheden van de machine tijdens de metingen en de voor de metingen gebruikte methoden, moeten worden beschreven.

Wanneer de werkplek of werkplekken niet of niet kunnen worden bepaald, moet de meting van het A-gewogen geluidsdruk-niveau worden verricht op 1 m van het machine-oppervlak en op een hoogte van 1,60 m boven het grondvlak of het toegangsplatform. De positie en de waarde van de maximale geluidsdruk moeten worden aangegeven.

Als specifieke richtlijnen van de Gemeenschap andere voorschriften geven voor het meten van het geluidsdruk- of geluidsvermogen-niveau, moeten deze richtlijnen worden toegepast en zijn de desbetreffende bepalingen van dit punt niet van toepassing;

- v) indien de machine niet-ioniserende straling kan uitzenden die gevaarlijk kan zijn voor personen, in het bijzonder personen met actieve of niet-actieve implanteerbare medische hulpmiddelen, informatie over de hoeveelheid uitgezonden straling waaraan de bediener en eventuele andere personen zijn blootgesteld.

1.11.4.3. Verkoopsliteratuur

Verkoopsliteratuur waarin de machine wordt beschreven, mag niet in tegenspraak zijn met de gebruiksaanwijzing inzake de gezondheids- en veiligheidsaspecten.

Verkoopsliteratuur waarin de prestatiekenmerken van de machine worden beschreven, moet dezelfde gegevens over emissies bevatten als de gebruiksaanwijzing.

2. AANVULLENDE ESSENTIËLE VEILIGHEIDS-EN GEZONDHEIDSEISEN VOOR BEPAALDE CATEGORIEËN MACHINES

Machines voor voedingsnijverheid, machines bestemd voor cosmetische of farmaceutische industrie, met de hand vastgehouden en/of handgeleide machines, draagbare bevestigingswerktuigen en andere slagwerktuigen, alsook machines voor de bewerking van hout en materiaal met vergelijkbare fysische kenmerken, moeten aan alle in dit hoofdstuk opgenomen essentiële veiligheids- en gezondheidseisen voldoen (zie Algemene beginselen, punt 4).

2.1. MACHINES VOOR DE VOEDINGSNIJVERHEID EN MACHINES BESTEMD VOOR COSMETISCHE OF FARMACEUTISCHE PRODUCTEN

2.1.1. Algemeen

Machines bestemd voor gebruik met levensmiddelen of voor cosmetische of farmaceutische producten moeten zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat elk risico voor infectie-, ziekte- en besmettingsrisico wordt voorkomen.

De volgende voorschriften moeten in acht worden genomen:

- a) materialen die met levensmiddelen, cosmetische of farmaceutische producten in aanraking komen of bestemd zijn te komen, moeten aan de desbetreffende richtlijnen voldoen. De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat deze materialen vóór elk gebruik gereinigd kunnen worden; indien dit niet mogelijk is, moeten wegwerponderdelen worden gebruikt;
- b) alle oppervlakken, andere dan die van wegwerponderdelen, die met levensmiddelen, cosmetische of farmaceutische producten in aanraking komen, moeten:
 - glad zijn en mogen geen rillen of spleten bevatten waarin zich organisch materiaal kan ophopen; dit geldt ook voor de verbindingen tussen twee oppervlakken,
 - zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat uitstekende delen, opstaande randen en holten bij de verbindingen zoveel mogelijk worden vermeden,
 - gemakkelijk gereinigd en gedesinfecteerd kunnen worden, indien nodig na verwijdering van eenvoudig te demonteren delen; oppervlakken aan de binnenkant moeten gebogen verbindingen hebben met een straal die voldoende groot is om een grondige reiniging mogelijk te maken;
- c) uit levensmiddelen, cosmetische of farmaceutische producten afkomstige vloeistoffen, gassen en aërosolen, alsmede reinigings-, ontsmettings- en spoelmiddelen moeten volledig uit de machine kunnen worden afgevoerd (indien mogelijk in een stand „reiniging”);
- d) de machine moet zo zijn ontworpen en gebouwd dat iedere infiltratie van stoffen of binnendringing van levende wezens, met name van insecten, en iedere ophoping van organische stoffen in zones die niet gereinigd kunnen worden, wordt voorkomen;
- e) de machine moet zo zijn ontworpen en gebouwd dat voor de gezondheid gevaarlijk hulpproducten, met inbegrip van de gebruikte smeermiddelen, niet met levensmiddelen, cosmetische of farmaceutische producten in aanraking kunnen komen. Zo nodig moet de machine zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat kan worden gecontroleerd of aan deze eis blijvend wordt voldaan.

2.1.2. Gebruiksaanwijzing

De gebruiksaanwijzing voor machines voor de voedingsnijverheid en machines bestemd voor gebruik met cosmetische of farmaceutische producten moet de aanbevolen producten en methoden aanduiden voor het schoonmaken, desinfecteren en reinigen, niet alleen voor de gemakkelijk bereikbare delen, maar ook voor de delen die niet of beter niet bereikbaar zijn.