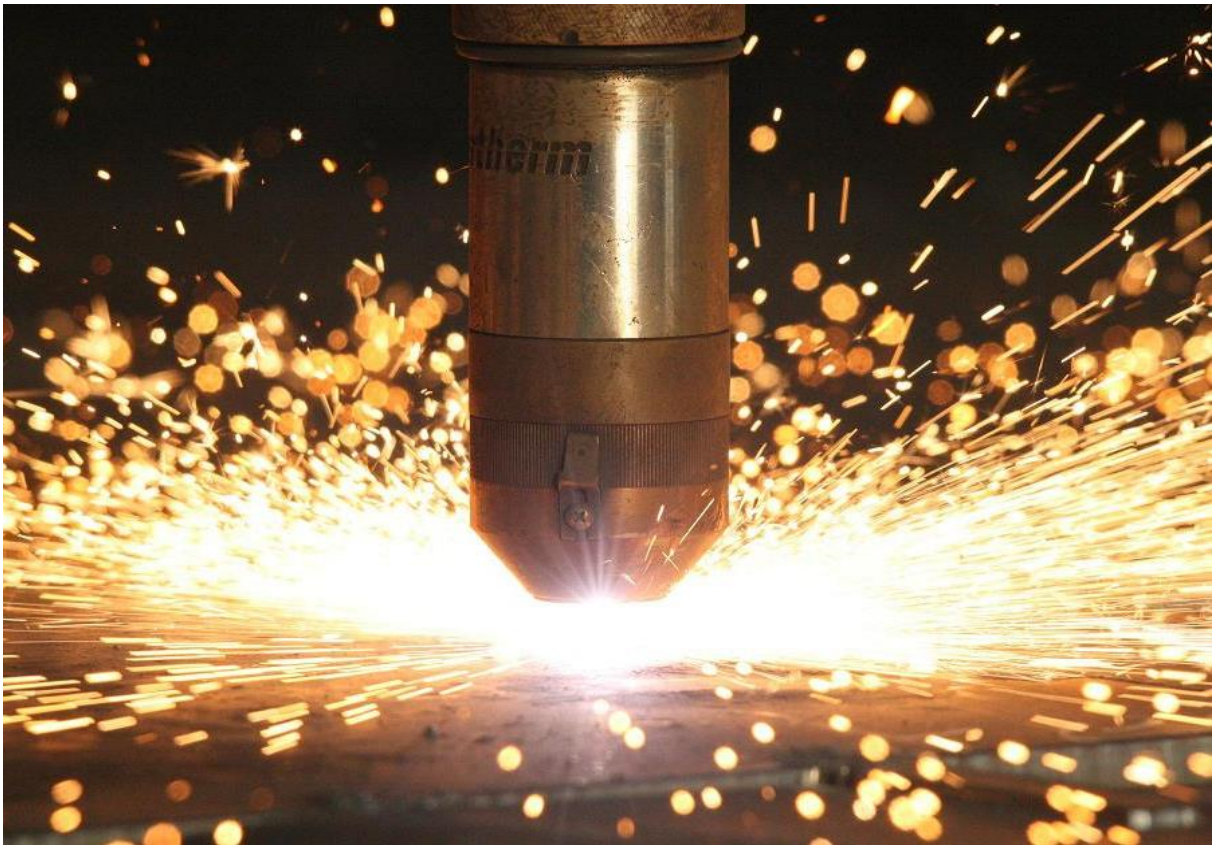

DE AUTOMATISERING VAN DE PLASMASNIJROBOT VAN BLUE WORKX B.V.

Bijlage eindverslag



Niek Fitten

Werktuigbouwkunde

Afstudeerstage

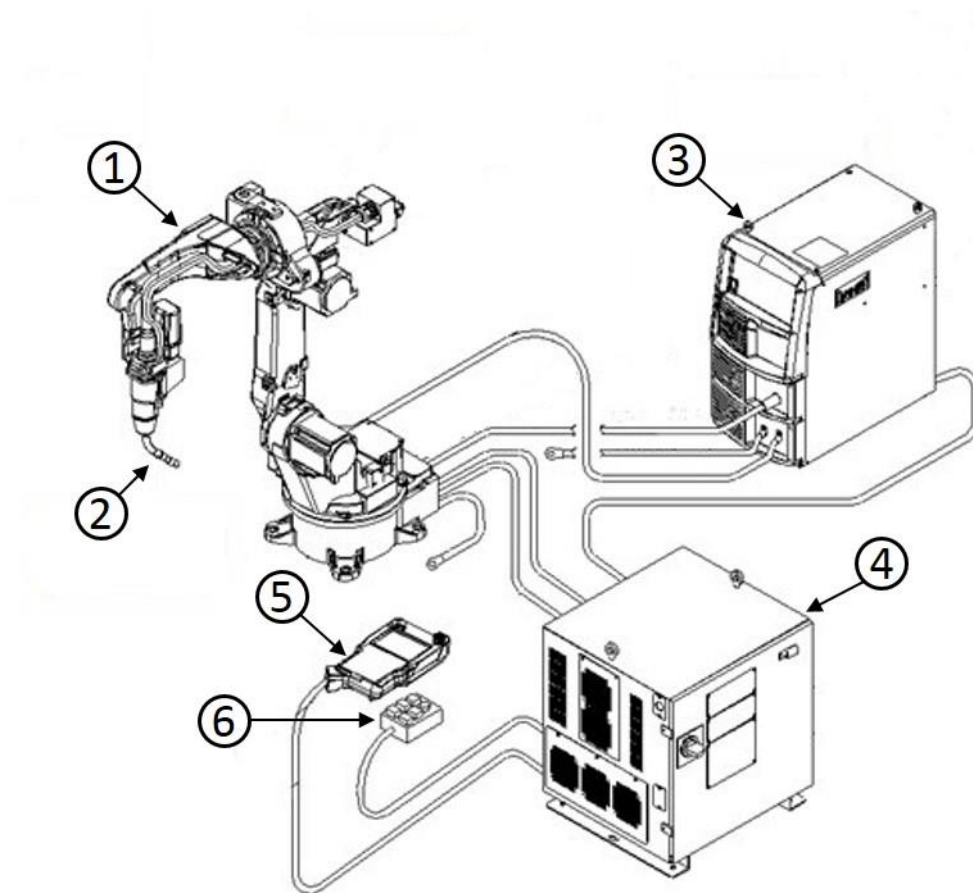
11-6-2018

In samenwerking met Blue Engineering en Fontys hogeschool Venlo

Inhoudsopgave

Bijlage 1a: Onderzoek naar de specificaties van de snijrobot.....	1
Bijlage 1b: Onderzoek naar de specificaties van de snijrobot.....	2
Bijlage 1c: Controleonderzoek naar specificaties van de snijrobot	5
Bijlage 2a: Onderzoek naar de specificaties van de lasrobot	7
Bijlage 2b: Extra informatie over de onderdelen van het lasrobotsysteem	8
Extra informatie: Track.....	8
Extra informatie: Panasonic Desktop Programming and Simulation System	8
Extra informatie: Arc-Eye laser sensor	8
Extra informatie: Zoeksystemen	9
Bijlage 3a: Ontwerp van de snijrobotopstelling	10
Bijlage 3b: Ontwerp van de snijtafel	12
Bijlage 3c: Ontwerp van de snijmallen	17
Bijlage 3d: Gebruikers ergonomie	25
Bijlage 3e: Constructie berekeningen	30
Bijlage 4a: Ontwerp van de lasrobotopstelling	34
Bijlage 5a: Creëren van programma's	35
Bijlage 5b: Instellingen	36
Bijlage 5c: Doorlooptijd	37

Bijlage 1a: Onderzoek naar de specificaties van de snijrobot



Nummer	Benaming
1	Robot arm
2	Snijtoorts
3	Power source
4	Robot controller
5	Teach pendant
6	Bedieningskast

Figuur 1: Schematisch overzicht van de plasmasnijrobot.

Bijlage 1b: Onderzoek naar de specificaties van de snijrobot

Discription robotic arm			Specifications	Beschrijving
Name			AX-MV6	Naam
Stucture			Vertical articulated type	Type
Number of axes			6	Aantal vrijheidsgraden
Max. payload capacity			6 kg	Maximale laadcapaciteit
Positional repeatability			±0,08mm	Nauwkeurigheid van positionale herhaalbaarheid
Drive system			AC Servo motor	Motortype
Drive capacity			2750 W	Motorvermogen
Position feedback			Absolute encoder	Positieterugkoppelingstype
Working range	Arm	J1 (Revolving)	340° (±170°)	Bewegingsvrijheid per arm (Joint)
		J2 (Lower arm)	245° (-155°/+90°)	
		J3 (Upper arm)	360° (-170°/+190°)	
	Wrist	J4 (Swing)	360° (±180°)	
		J5 (Bending)	260° (-50°/+230°)	
		J6 (Twist	720° (±360°)	
Max. velocity	Arm	J1 (Revolving)	2,62rad/s (150°/s)	Maximale rotatiesnelheid per arm (Joint)
		J2 (Lower arm)	2,79rad/s (160°/s)	
		J3 (Upper arm)	2,97rad/s (170°/s)	
	Wrist	J4 (Swing)	5,93rad/s (340°/s)	
		J5 (Bending)	5,93rad/s (340°/s)	
		J6 (Twist	9,08rad/s (520°/s)	
Wrist load	Allowable Moment	J4 (Swing)	11,8 Nm	Maximaal toegestaan moment
		J5 (Bending)	9,8 Nm	
		J6 (Twist	5,9 Nm	
	Allowable moment of inertia	J4 (Swing)	0,30 kg*m^2	Maximaal toegestaan traagheidsmoment
		J5 (Bending)	0,25 kg*m^2	
		J6 (Twist	0,06 kg*m^2	
Arm operation cross-sectional area			3,14m^2 x 340°	Inhoudsbereik robotarm
Ambient temperature and humidity			0 - 45°C, 20 - 80% RH	Toegestane temperatuur en luchtvochtigheid
Mass (Weight)			155 kg	Gewicht
Upper arm payload capacity			10 kg	Maximale laadcapaciteit bovenarm
Installation type			Floor, ceiling, wall hanging	Uitvoeringsmogelijkheden
Origin return			Not necessary	Beginpunts calibratie
Paint color			Arm: white, Base: blue	Kleur

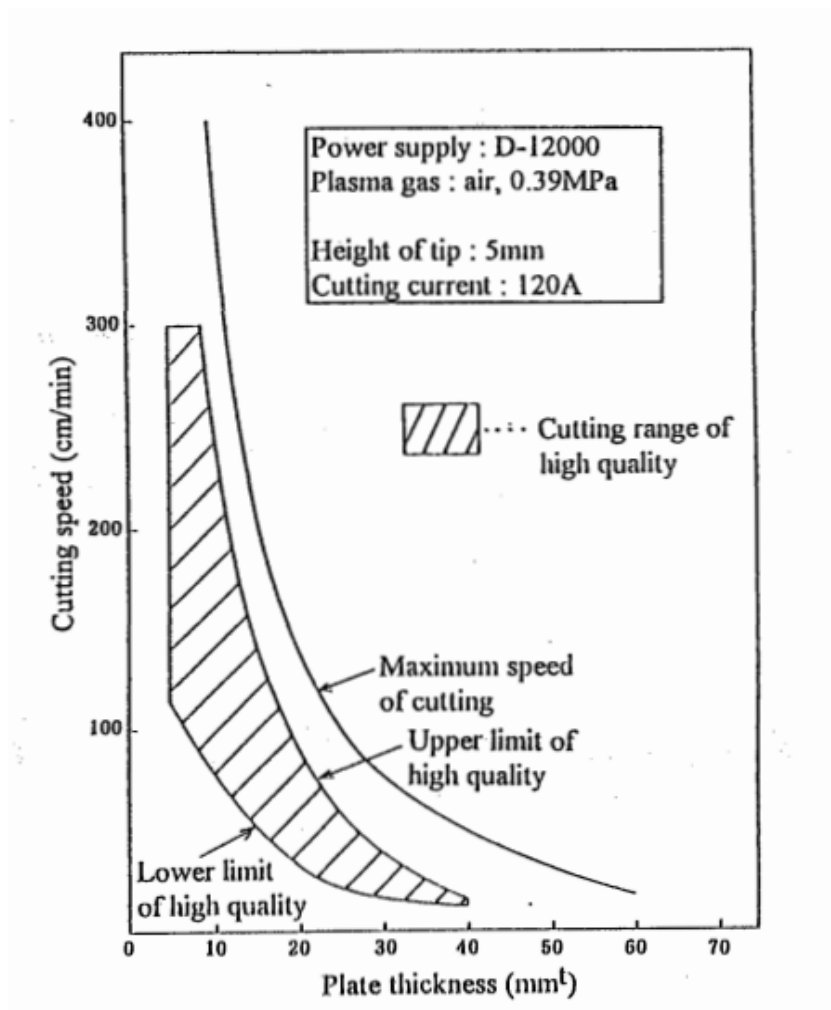
Tabel 1: Specificatie gegevens van de robotic arm volgens de datasheet.

Discription cutting power source			Specifications	Beschrijving
Name			TRC-121	Naam
Phase			3 Phase	Fases
Rated input voltage			380/415 V	Nominale ingangsspanning
Rated frequency			50/60 Hz	Nominale frequentie
Rated input			28,3 kVA (27,5kW)	Nominale input
Rated input current			43/40 A	Nominale ingangsstroomsterkte
Rated output current			120 A	Nominale uitgangsstroomsterkte
Rated output voltage			200 V	Nominale uitgangsspanning
Max. cutting capacity			60 mm	Maximale te snijden plaatdikte
Max. no-load voltage			270 V	Maximale onbelaste spanning
Rated duty cycle			100%	Nominale arbeidscyclus
Dimension (W x D x H)			602 x 902 x 854 mm	Afmetingen
Mass			186 kg	Gewicht
IP Protection Rating			IP-21	IP-beschermingsgraad

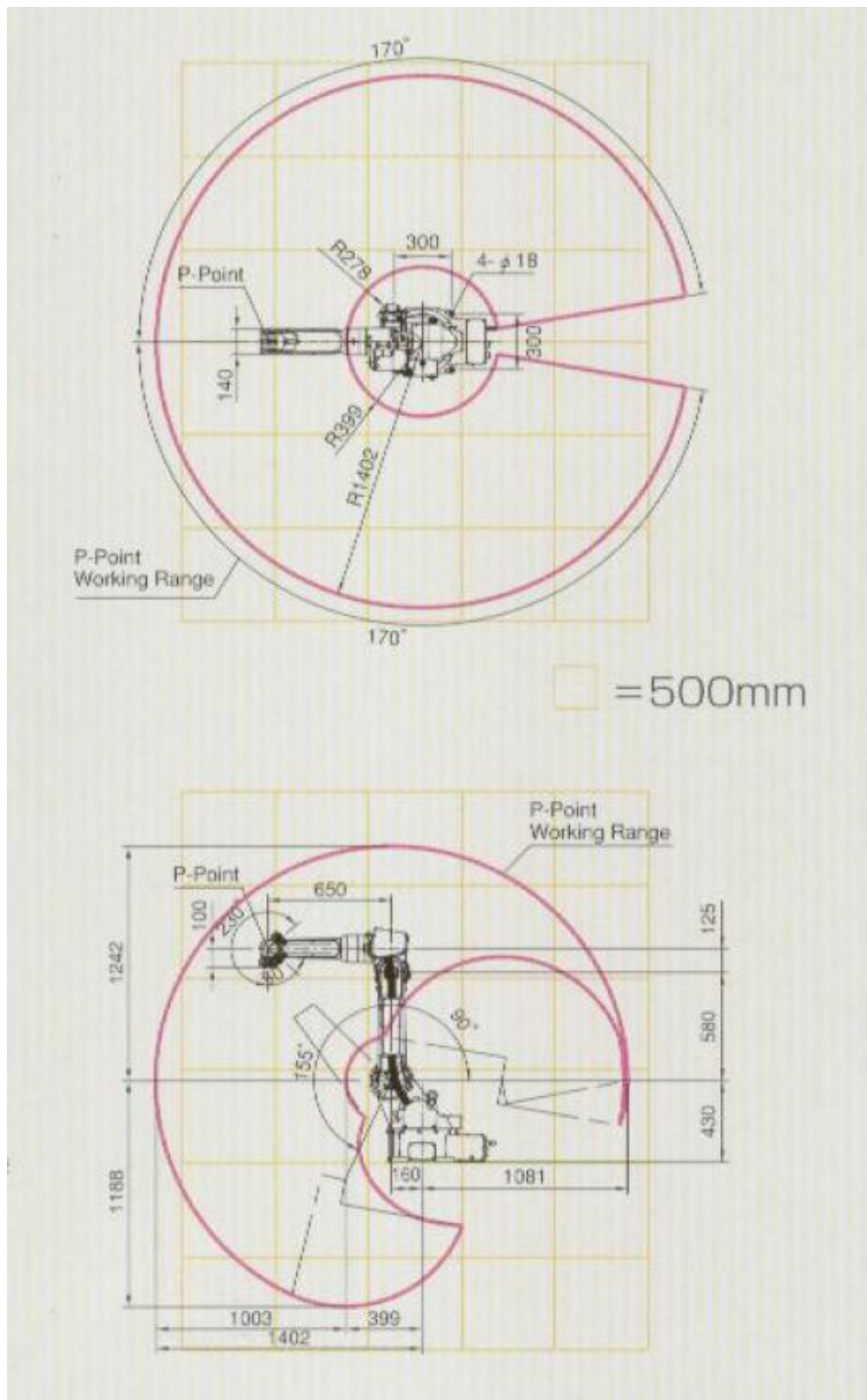
Tabel 2: Specificatie gegevens van de power source volgens de datasheet.

Discription cutting torch	Specifications	Beschrijving
Name	CTPW-1201	Naam
Rated current	120 A	Nominale stroomsterkte
Rated duty cycle	100%	Nominale arbeidscyclus
Cooling type	Water cooling	Koelsysteem
Cable length	10 m	Kabellengte
Using gas	Air	Gebruikte gassoort
Mass	250 g	Gewicht
Torch shape	Straight type	toorts model

Tabel 3: Specificatie gegevens van de cutting torch volgens de datasheet.



Figuur 2: Overige gegevens (snij snelheid en plaatdikte) van de power source volgens de datasheet.



Figuur 3: Overige gegevens (afmetingen) van de robotic arm volgens de datasheet.

Bijlage 1c: Controleonderzoek naar specificaties van de snijrobot

Tabel gegevens (robotic arm)			Specifications	Controle uitvoering van de specificaties
Name			AX-MV6	
Stucture			Vertical articulated type	Gecontroleerd
Number of axes			6	Gecontroleerd
Max. payload capacity			6 kg	Aangenomen
Positional repeatability			±0,08mm	Aangenomen
Drive system			AC Servo motor	Gecontroleerd
Drive capacity			2750 W	Aangenomen
Position feedback			Absolute encoder	Aangenomen
Working range	Arm	J1 (Revolving)	340° (±170°)	Gecontroleerd
		J2 (Lower arm)	245° (-155°/+90°)	Gecontroleerd
		J3 (Upper arm)	360° (-170°/+190°	Gecontroleerd
	Wrist	J4 (Swing)	360° (±180°)	Gecontroleerd
		J5 (Bending)	260° (-50°/+230°)	Gecontroleerd
		J6 (Twist)	720° (±360°)	Gecontroleerd
Max. velocity	Arm	J1 (Revolving)	2,62rad/s (150°/s)	Aangenomen
		J2 (Lower arm)	2,79rad/s (160°/s)	Aangenomen
		J3 (Upper arm)	2,97rad/s (170°/s)	Aangenomen
	Wrist	J4 (Swing)	5,93rad/s (340°/s)	Aangenomen
		J5 (Bending)	5,93rad/s (340°/s)	Aangenomen
		J6 (Twist)	9,08rad/s (520°/s)	Aangenomen
Wrist load	Allowable Moment	J4 (Swing)	11,8 Nm	Aangenomen
		J5 (Bending)	9,8 Nm	Aangenomen
		J6 (Twist)	5,9 Nm	Aangenomen
	Allowable moment of inertia	J4 (Swing)	0,30 kg*m^2	Aangenomen
		J5 (Bending)	0,25 kg*m^2	Aangenomen
		J6 (Twist)	0,06 kg*m^2	Aangenomen
Arm operation cross-sectional area			3,14m^2 x 340°	Aangenomen
Ambient temperature and humidity			0 - 45°C, 20 - 80% RH	Aangenomen
Mass (Weight)			155 kg	Aangenomen
Upper arm payload capacity			10 kg	Aangenomen
Installation type			Floor, ceiling, wall hanging	Gecontroleerd
Origin return			Not necessary	Aangenomen
Paint color			Arm: white, Base: blue	Gecontroleerd

Tabel 4: Uitkomst van de controle uitvoering van de specificaties van de robotic arm.

Tabel gegevens (power source)	Specifications	Controle uitvoering van de specificaties
Alle specificaties	-	Aangenomen

Tabel 5: Uitkomst van de controle uitvoering van de specificaties van de power source.

Tabel gegevens (cutting torch)	Specifications	Controle uitvoering van de specificaties
Cooling type	Water cooling	Gecontroleerd
Cable length	10 m	Gecontroleerd
Overige specificaties	-	Aangenomen

Tabel 6: Uitkomst van de controle uitvoering van de specificatie van de cutting torch.

Afbeelding gegevens (power source)	Specifications	Controle uitvoering van de specificaties
Alle specificaties	-	Aangenomen

Tabel 7: Uitkomst van de controle uitvoering overige gegevens uit de afbeelding van de power source.

Afbeelding gegevens (robotic arm)	Specifications	Controle uitvoering van de specificaties
Max. radius	1402 mm	Gecontroleerd
Min. radius	399mm	Gecontroleerd
Overige afmetingen	-	Aangenomen

Tabel 8: Uitkomst van de controle uitvoering van de overige gegeven uit de afbeelding van de robotic arm.

Bijlage 2a: Onderzoek naar de specificaties van de lasrobot

Bedrijf	Merk robotic arm	Softwarpakket
ABB	ABB	Delfoi
Fanuc	Fanuc	Roboguide
CLOOS	CLOOS	RoboPlan
KUKA	KUKA	Delfoi
Kawasaki	Kawasaki	Delfoi
Nachi	Nachi	Delfoi
OTC	OTC	Delfoi
IGM	IGM	Delfoi
Yaskawa motoman	Yaskawa	Motosim
Valk Welding	Panasonic	Panasonic DTPS

Tabel 9: Overzicht van bedrijven die gespecialiseerd zijn complete lasrobotsystemen.

Discription lasrobot	TL-1800	TL-2000	TM-1100	TM-1400	TM-1600	TM-1800	TM-2000	Eenheid
Max. draaglast	8	6	6	6	4	6	6	kg
Aantal vrijheidsgraden	6							-
Max. bereik	1801	1999	1163	1437	1639	1809	2011	mm
Max. snelheid	180							m/min
Herhalingsnauwkeurigheid	±0,15		±0,08					mm
Gewicht	215	216	156	170	180	215	217	kg

Tabel 10: Specificatie gegevens van de TL- en TM-serie lasrobots volgens de datasheets.

Discription manipulator	Specifications PanaDice 250-IV	Specifications PanaDice 500-IV	Specifications PanaDice 1000-IV	Otten-Dice 3000-II
Motor	AC servo motor	AC servo motor	AC servo motor	AC servo motor
Encoder	Absolute encoder	Absolute encoder	Absolute encoder	Absolute encoder
Max. laadvermogen	250 kg	500 kg	1000 kg	3000 kg
Max. rotatie snelheid	190 omw/s (31,6 rad/min)	120 omw/s (31,6 rad/min)	120 omw/s (31,6 rad/min)	Onb.
Toegeestaan draaimoment	196 Nm	490 Nm	1470 Nm	7500 Nm
Herhalingsnauwkeurigheid	Ca. 0,05 mm	Ca. 0,05 mm	Ca. 0,05 mm	Ca. 0,05 mm
Diameter van de holle as	55 mm	55 mm	75 mm	Onb.
Rem	Aanwezig	Aanwezig	Aanwezig	Aanwezig
Omgevingstemperatuur	0°C tot 45°C	0°C tot 45°C	0°C tot 45°C	0°C tot 45°C
Luchtvochtigheid	20% RH tot 90% RH	20% RH tot 90% RH	20% RH tot 90% RH	20% RH tot 90% RH
Trillingen	4,9 m/s ²	4,9 m/s ²	4,9 m/s ²	4,9 m/s ²
Kleur behuizing	Grijs	Grijs	Grijs	Grijs
Toegeestane lasstroom	500 A	500 A	500 A	500 A
Toepasselijke lasmethoden	CO ₂ / MAG / MIG / TIG	CO ₂ / MAG / MIG / TIG	CO ₂ / MAG / MIG / TIG	CO ₂ / MAG / MIG / TIG
Massa	125 kg	125 kg	255 kg	Onb.
Motervermogen	1600 W	1600 W	3500 W	Onb.

Tabel 11: Specificatie gegevens van de verschillende manipulators volgens de datasheets.

Bijlage 2b: Extra informatie over de onderdelen van het lasrobotsysteem

Extra informatie: Track

In figuur 3 is een robotic arm te zien die bevestigd zit op een track. De robotic arm kan bewegen over deze rails waardoor een breder bereik behaald kan worden met dezelfde lasrobot. Er kunnen meerdere lasrobots op een track geplaatst worden. Het softwarepakket zorgt er ten alle tijden voor dat dit veilig gebeurt zonder botsingen. Het te lassen product kan zich aan beide zijdes van de track bevinden.



Figuur 4: Robotic arm op een Track.

Extra informatie: Panasonic Desktop Programming and Simulation System

Panasonic DTPS, het lastraject kan volledig offline worden geprogrammeerd en gesimuleerd, waarbij tevens cyclustijden kunnen worden bepaald. Daarnaast biedt het pakket de mogelijkheid om lasprogramma's te beheren en is het behulpzaam bij het aansturen van de productie. Met DTPS wordt een volwaardig werkvoorbereidingspakket op de markt gezet, waarmee een inschakelduur van bijna 100% haalbaar is.

Hoe werkt DTPS?

DTPS is snel en gebruiksvriendelijk:

1. De vooraf éénmalige systeemdefinitie door Valk Welding.

Omdat iedere opstelling uniek is, wordt deze voor ingebruikname eerst door de specialisten van Valk Welding in de 3D omgeving gedefinieerd.

2. Het te lassen product in DTPS in 3D ontwerpen of het product importeren vanuit een CAD systeem.

DTPS beschikt over alle tools om ieder werkstuk in 3D te kunnen tekenen zoals in een standaard CAD programma. De andere manier is om bestaande tekeningen uit andere CAD-systemen, zoals WRL, XGL, ZGL, 3DXML, STL, IGES of DXF te importeren.

3. Het programmeren van de robot.

De robot kan eenvoudig, in het softwareprogramma, bedient worden met de cursor. Een andere manier is om de onderdelen die gelast moeten worden eenvoudig aan geklikt. Lasparameters kunnen eenvoudig bepaald worden met behulp van de unieke standaard Weld Navigation functie.

4. Het controleren.

Het programma kan gecontroleerd worden door een volledige simulatie van de bewegingen te simuleren en tevens wordt er gecontroleerd op botsingen.

5. De programma's naar de robot verzenden en produceren.

De offline geprogrammeerd programma's kunnen via een usb verbinding verzonden worden naar de robot.

Extra informatie: Arc-Eye laser sensor

Waarom een Arc-Eye laser sensor systeem?

Producten die aan elkaar gelast worden kunnen tijdens het proces of in de basis van het product altijd licht verschillen van elkaar. Als deze afwijkingen niet tijdig ontdekt en aangepast worden kan dit (met name op grotere afstanden), afwijkingen van de lasnaad veroorzaken van enkele centimeters. Eerdere ontwikkelingen van Valk Welding, zoals Touch Sensing en het Quick Touch systeem maakte het meten op het werkstuk zelf al mogelijk. Het grote voordeel van het Arc-Eye systeem ten opzichte van de andere meetsystemen is dat het real-time gemeten en aangepast wordt. Bij het Quick Touch systeem wordt er bij de start van het lassen eerst gemeten aan de hand van het lasdraad. Daarna wordt pas gestart met lassen, waarbij het meten en het lassen met het Arc-Eye systeem tegelijkertijd gebeurt. Dit zorgt dus voor een aanzienlijke verkorting van de cyclustijd.

Complexe werkstukken in enkel stuks of kleine series

De Arc-Eye laser kan bijna alle lasnaden die voorkomen in de praktijk, detecteren en volgen. Door middel van het Arc-Eye systeem is het mogelijk de robot in te zetten voor laswerkstukken met onregelmatige afstanden tussen de te lassen delen, niet constante toleranties en complexe vormen zonder dat er vooraf handmatige correcties of lasnaadzoeksystemen nodig zijn. Dit maakt het produceren van complexe werkstukken in enkelstuks of kleine series mogelijk.

De voordelen van het Arc-Eye laser systeem op een rijtje:

- Het levert een nauwkeurig gelaste naad op
- Handmatige aanpassingen aan het lasprogramma zijn niet meer nodig
- Het real-time terug koppelen van het lasproduct
- Het verkort de tijd van het gehele proces
- Het verhoogt de precisie van het gehele proces
- Het voorkomt afkeur van gelaste producten.

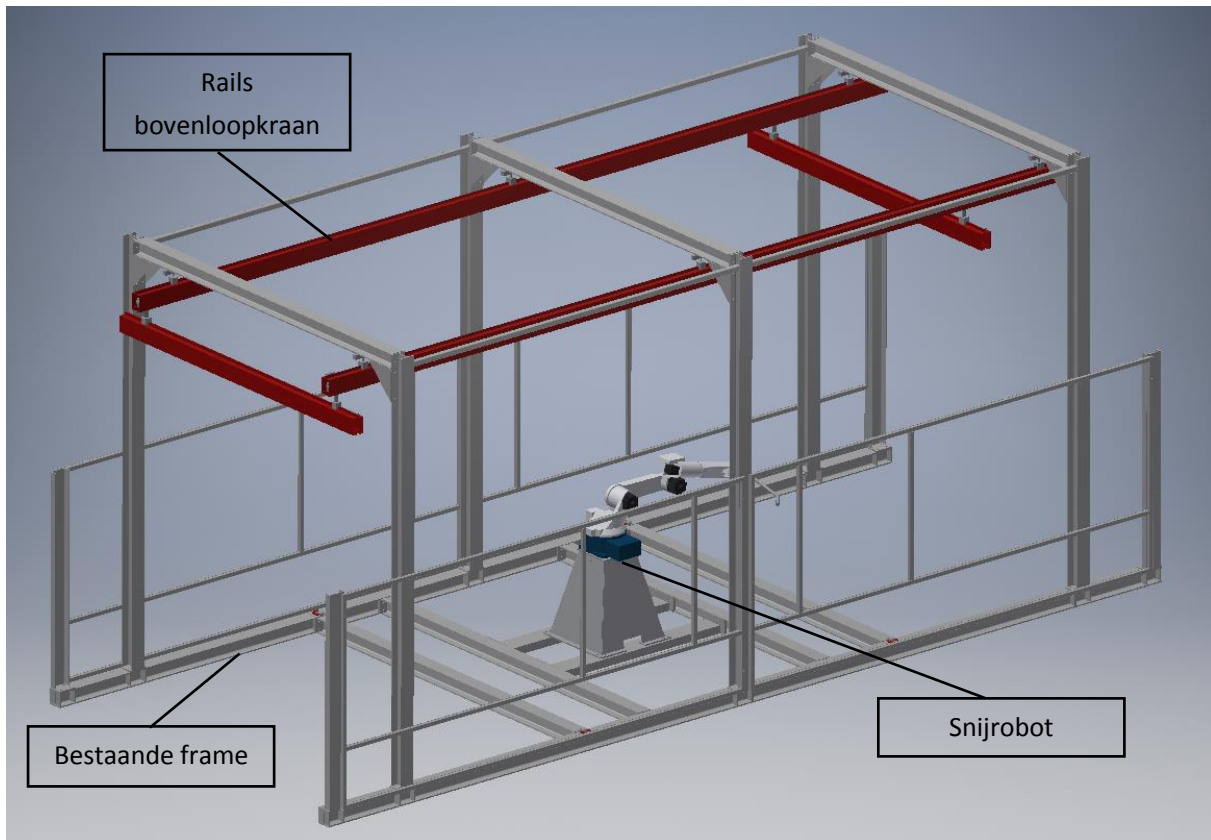
Extra informatie: Zoeksystemen

De Panasonic lasrobots kunnen worden uitgerust met verschillende soorten zoeksystemen. Deze systemen passen automatisch correcties aan in bestaande robotprogramma's wanneer het werkstuk hierom vraagt. In ieder werkstuk wat gelast gaat worden met de lasrobot kunnen afwijkingen aanwezig zijn. Om de tolerantie van deze afwijkingen zo laag mogelijk te houden kan de robot uitgerust worden met deze zoeksystemen. Deze systemen controleren het werkstuk en bepalen op deze wijze per product of het referentiepunt uit het robotprogramma klopt met het daadwerkelijke referentiepunt van het werkstuk. Indien de robot dankzij deze zoeksystemen een afwijking in het werkstuk en daarmee dus de lasnaad ontdekt zal deze aan de hand van de nieuw gemeten referentiepunten zijn positie en het programma opnieuw bepalen inclusief de correcties.

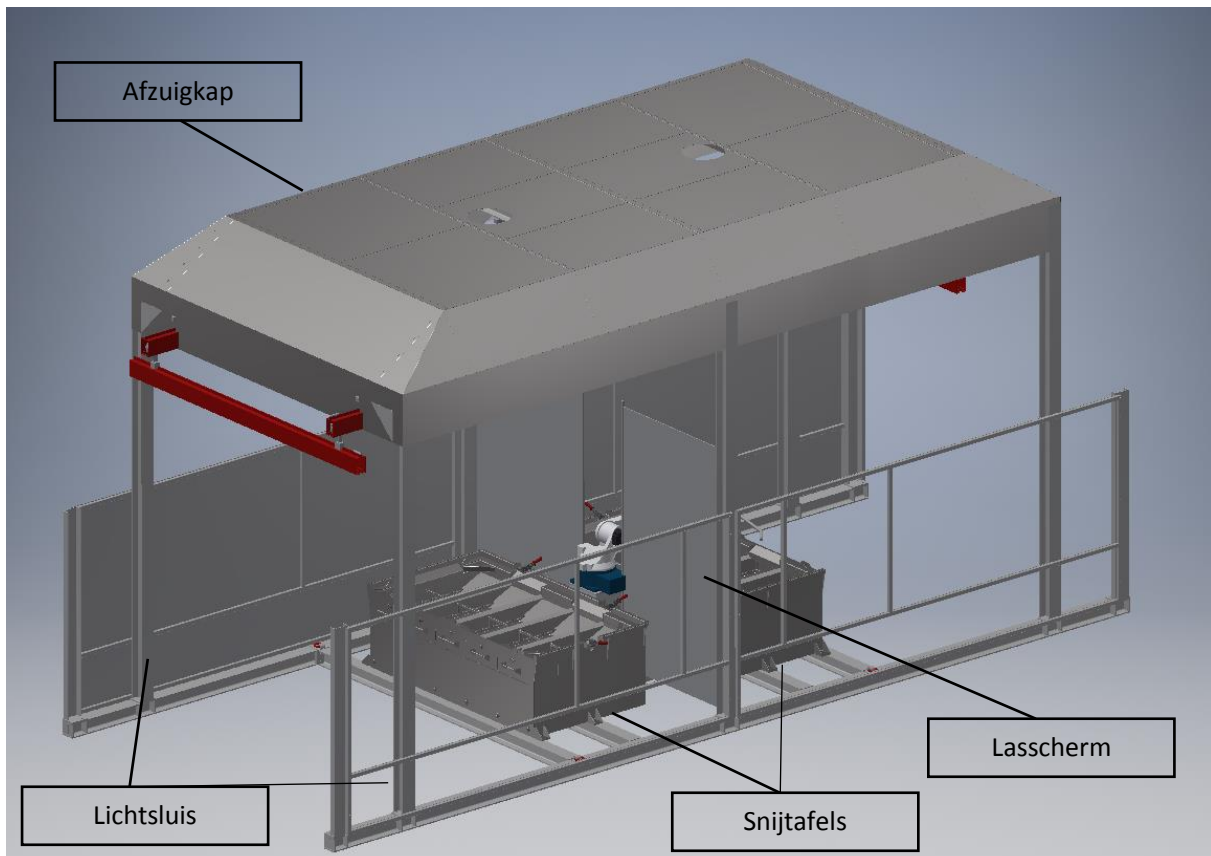
De Panasonic lasrobots kan uitgerust worden met de volgende zoeksystemen:

- *Mechanisch tactiel zoeksysteem;*
Het referentiepunt wordt gevonden door middel van spanning op de gaskop.
- *Elektrisch tactiel zoeksysteem (quick touch);*
Hierbij wordt het referentiepunt bepaald door middel van spanning op het lasdraad
- *Naadvolgsysteem;*
Bij dit systeem wordt dankzij een pendelende beweging gecontroleerd of de referentiepunten kloppen
- *Vision systeem (Arc-Eye laser sensor);*
Hierbij wordt door middel van laser sensor techniek de lasnaad real-time gevolgd waarna het pad van de robot aangepast kan worden indien nodig.

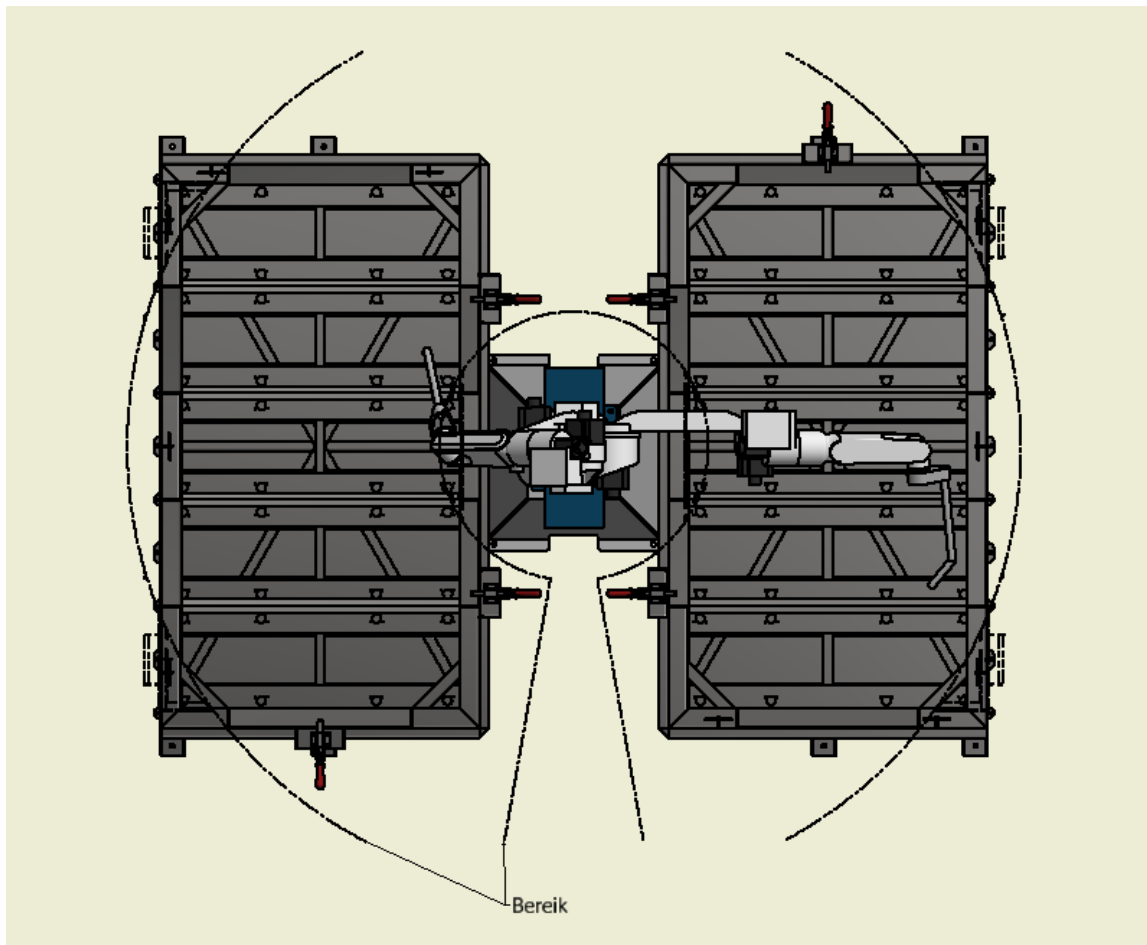
Bijlage 3a: Ontwerp van de snijrobotopstelling



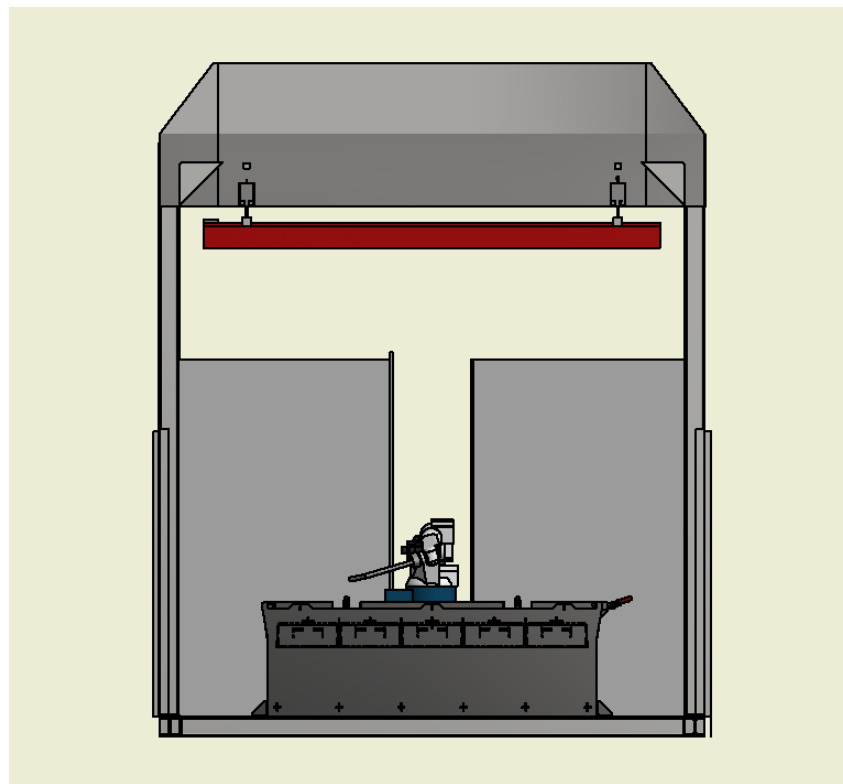
Figuur 4: Beginsituatie van het snijrobotsysteem.



Figuur 5: Ontworpen opstelling van het snijrobotsysteem.

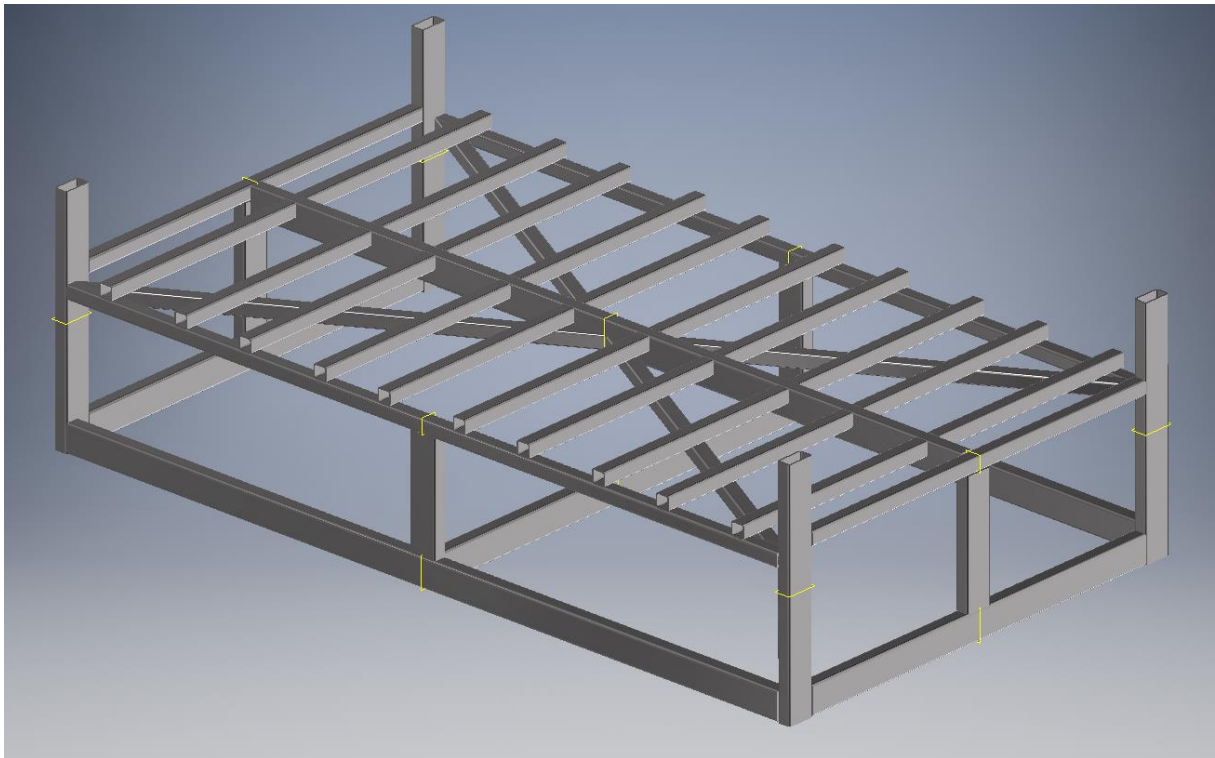


Figuur 6: Bovenaanzicht van de snijtafels en robot, inclusief het bereik van de robotic arm.

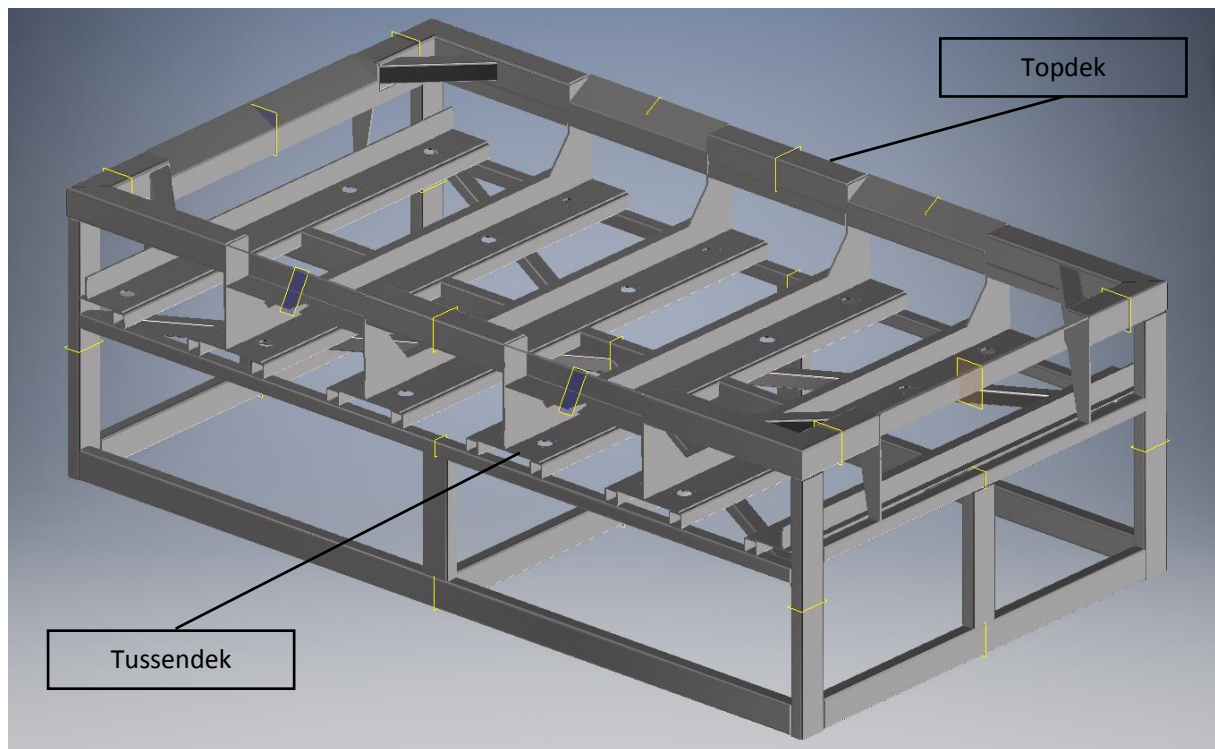


Figuur 7: Vooraanzicht van de snijrobotopstelling.

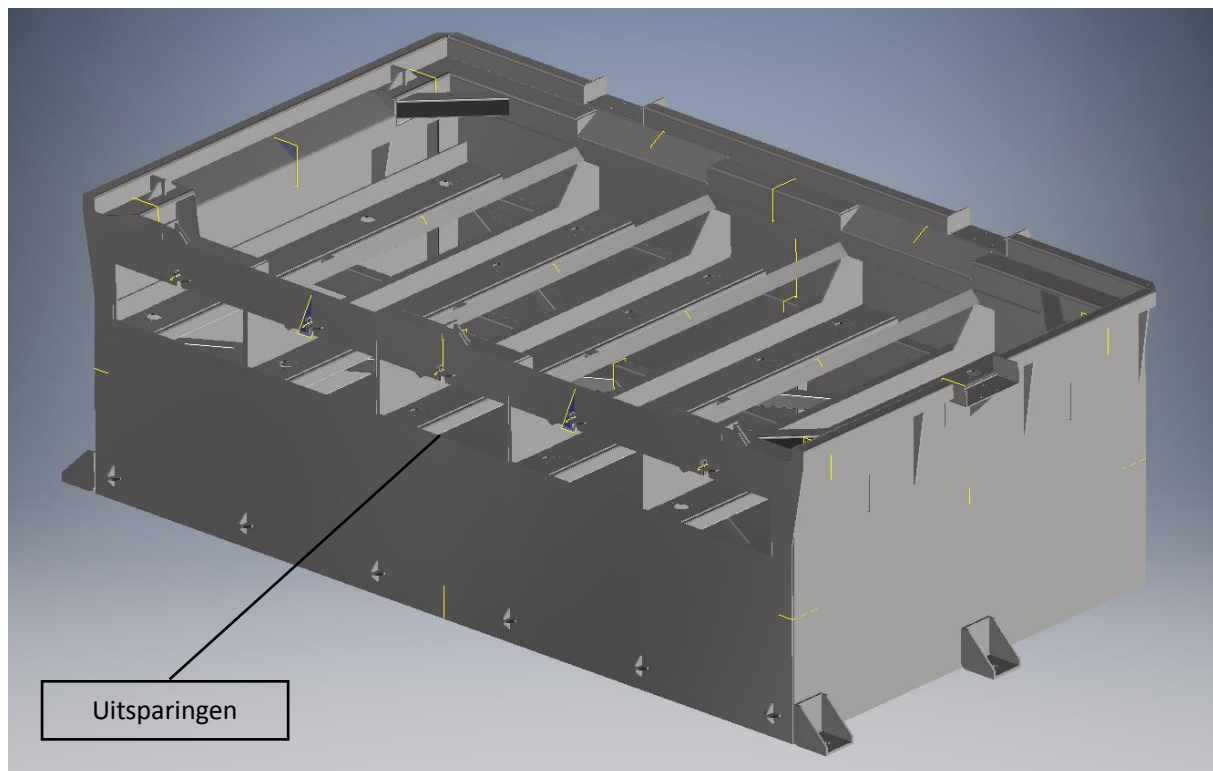
Bijlage 3b: Ontwerp van de snijtafel



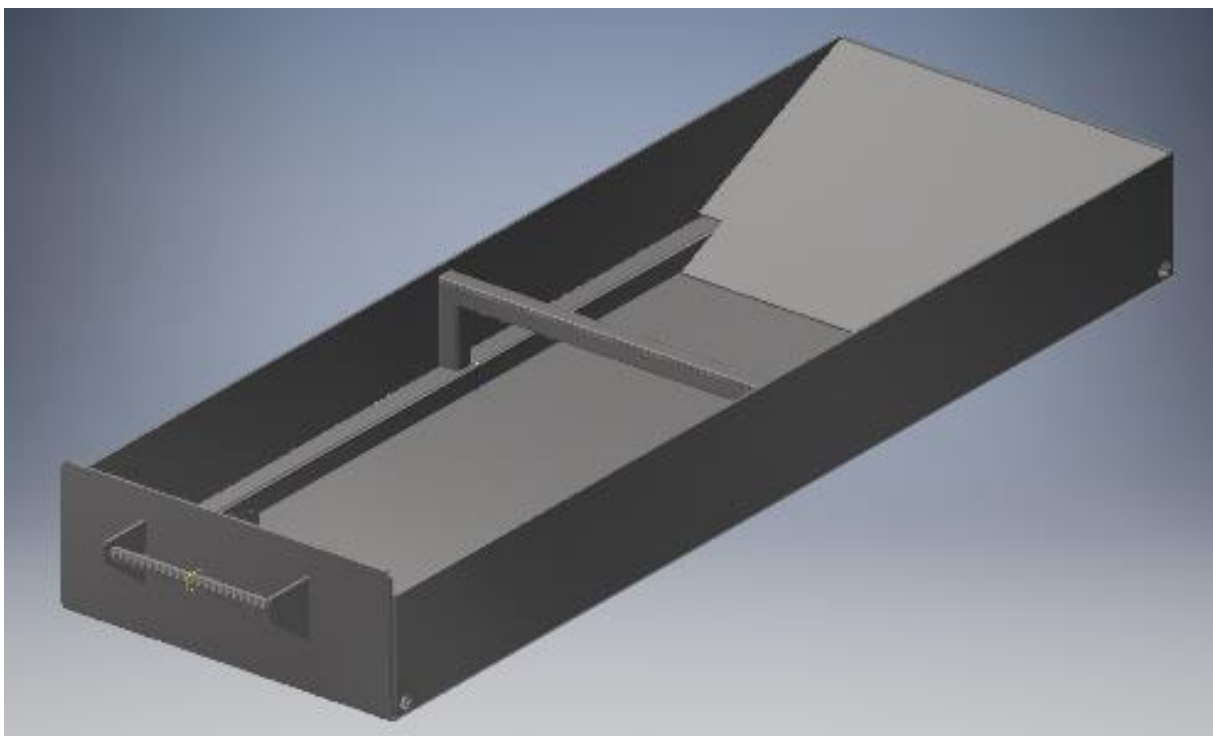
Figuur 8: Stap 1 van de opbouw van de snijtafel.



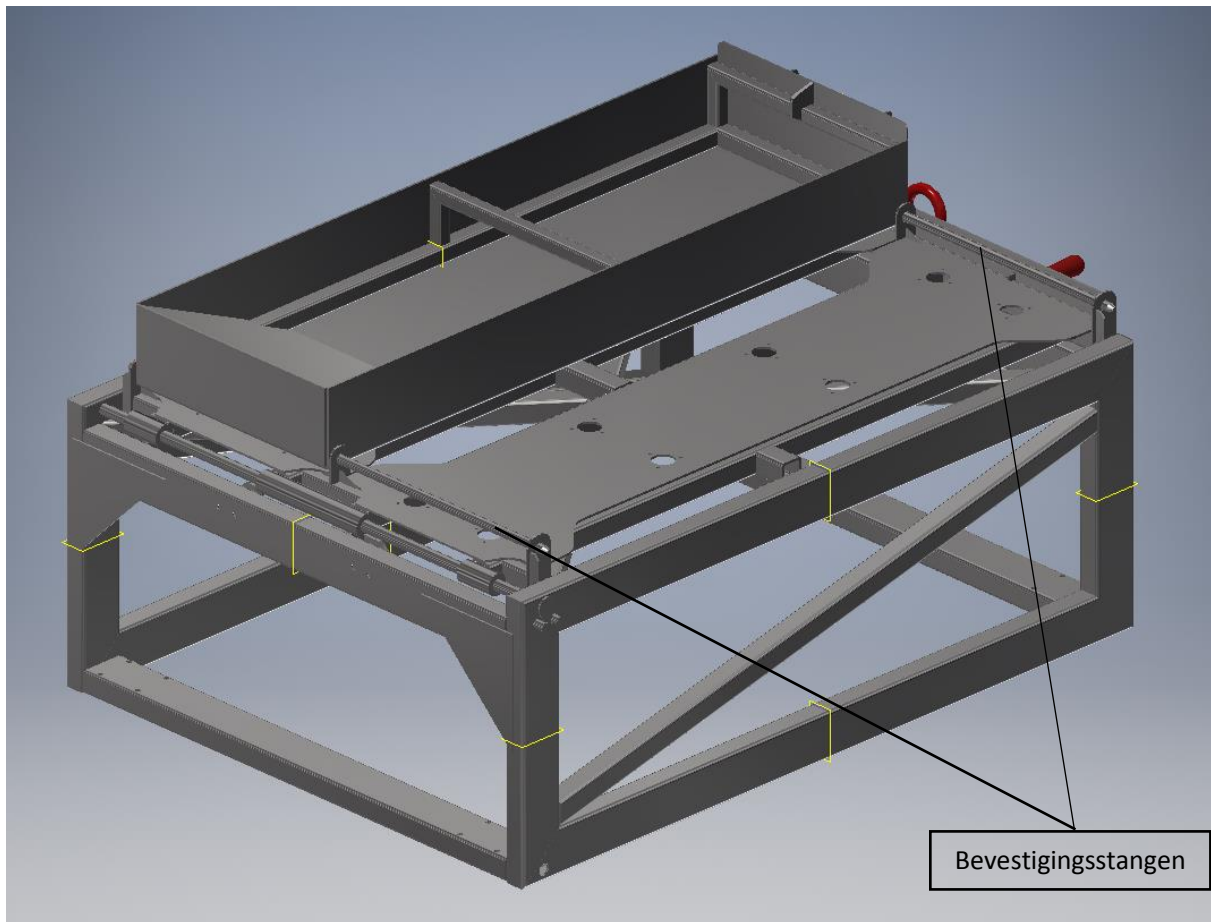
Figuur 9: Stap 2 van de opbouw van de snijtafel.



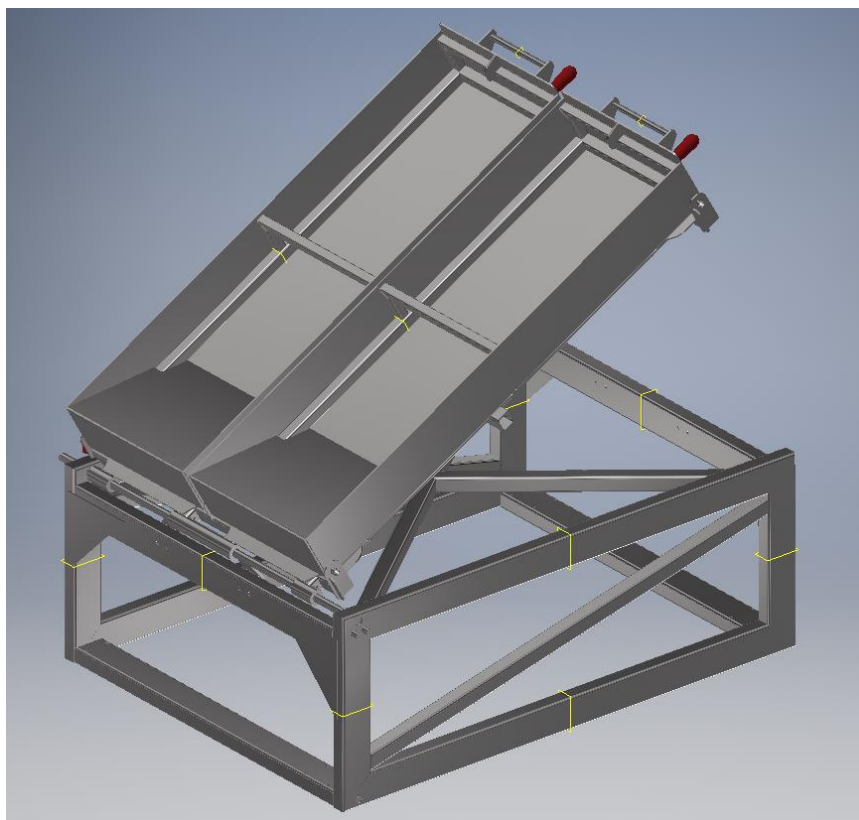
Figuur 10: Stap 3 van de opbouw van de snijtafel.



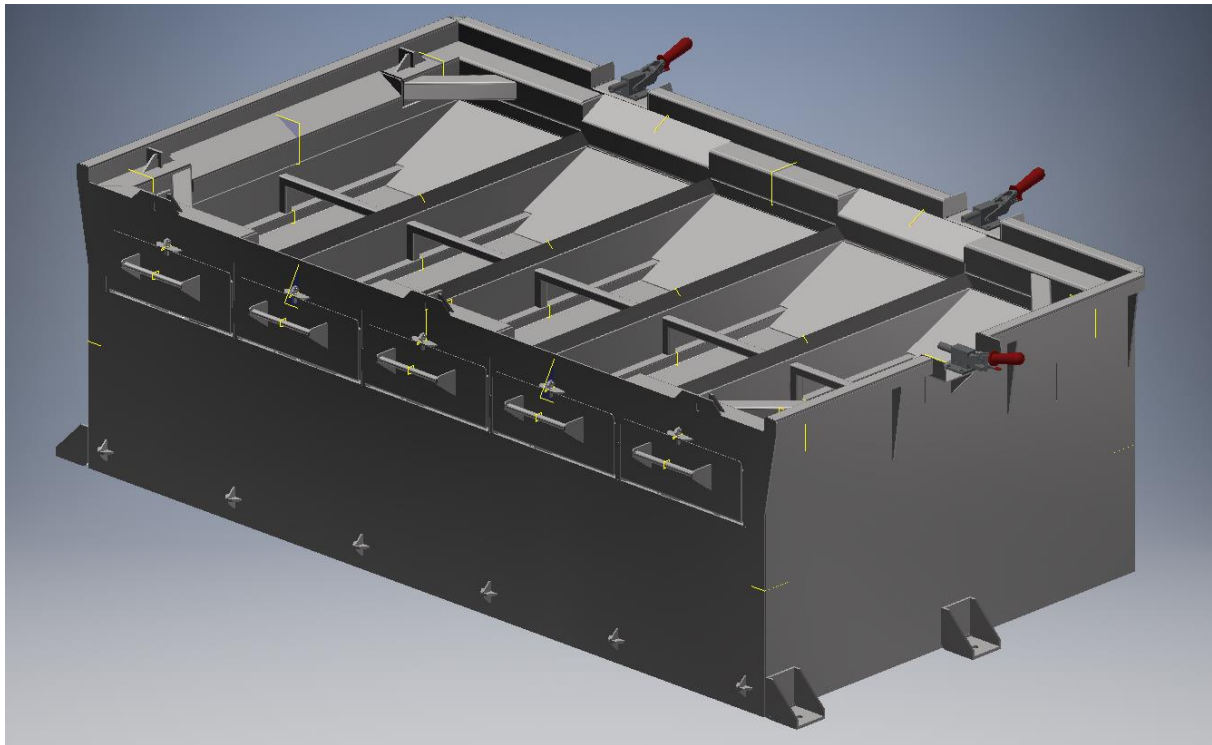
Figuur 11: Afvallade van de snijtafel.



Figuur 12: Afvalwagen voor het legen van de afvallades (de zwenkwielen onder het frame zijn niet zichtbaar).



Figuur 13: Kiepstand van de afvalwagen.



Figuur 14: Totale snijtafel

Discription snijtafels	Specifications
Materiaal	S235
Lengte	2300 mm
Breedte	1300 mm
Hoogte (enkel de snijtafel)	790 mm
Hoogte (vloer t/m bovenkant mal)	930 mm
Aantal afvallades	5
Gewicht	± 700 kg
Kosten per stuk	± € 1500,-
Aantal nodig	2
Kosten totaal	± € 3000,-

Tabel 12: Specificaties van de snijtafel.

Discription afvallades	Specifications
Materiaal	S235
Lengte	1232 mm
Breedte	410 mm
Hoogte	132 mm
Inhoud	58,6 L
Plaatdikte	4 mm
Gewicht (leeg)	± 45 kg
Kosten per stuk	± € 100,-
Aantal nodig	10
Kosten totaal	± € 1000,-

Tabel 13: Specificaties van de afvallades.

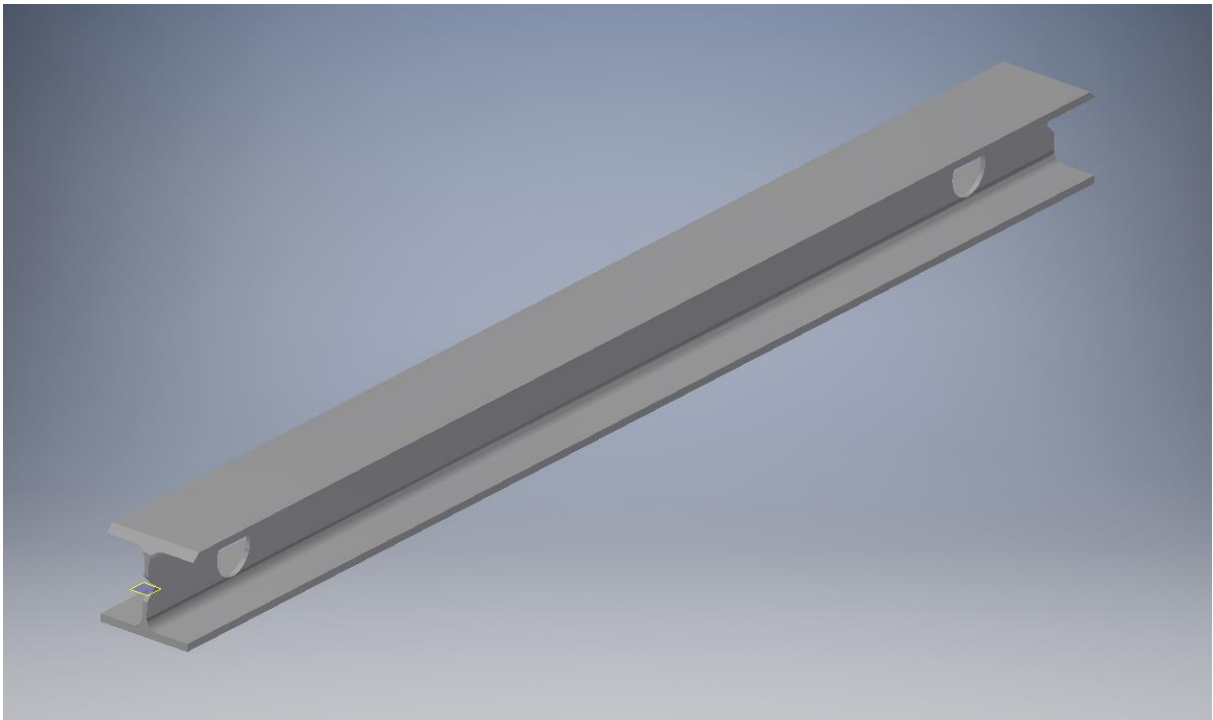
Discription kogelpotten	Specifications
Naam	KR-S-25
Behuizing	Gegalvaniseerd
Materiaal kogel	Staal
Kogeldiameter	25,4 mm
Bouwhoogte	14,2 mm
Draag capaciteit	55 kg
Buiten diameter	73 mm
Kosten per stuk	€ 6,50
Aantal nodig	80
Kosten totaal	€ 520,00

Tabel 14: Specificaties van de kogelpot.

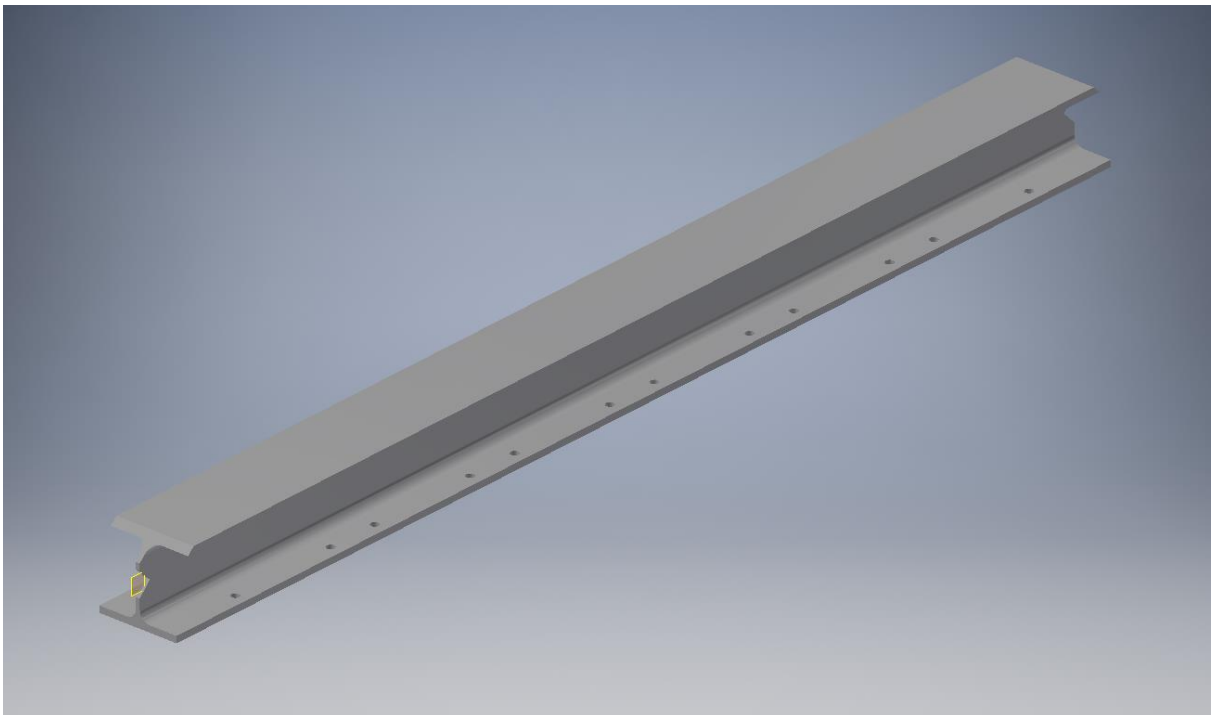
Discription snelspanners	Specifications
Name	5130-M
Max. spancapaciteit	25800 N
Zuiger bewegingslengte	44,5 mm
Handel opening	125 °
Material	Staal
Product type	Heavy Duty
Gewicht	1,30 kg
Kosten per stuk	€ 95,62
Aantal nodig	6
Kosten totaal	€ 573,72

Tabel 15: Specificaties van de snelspanner.

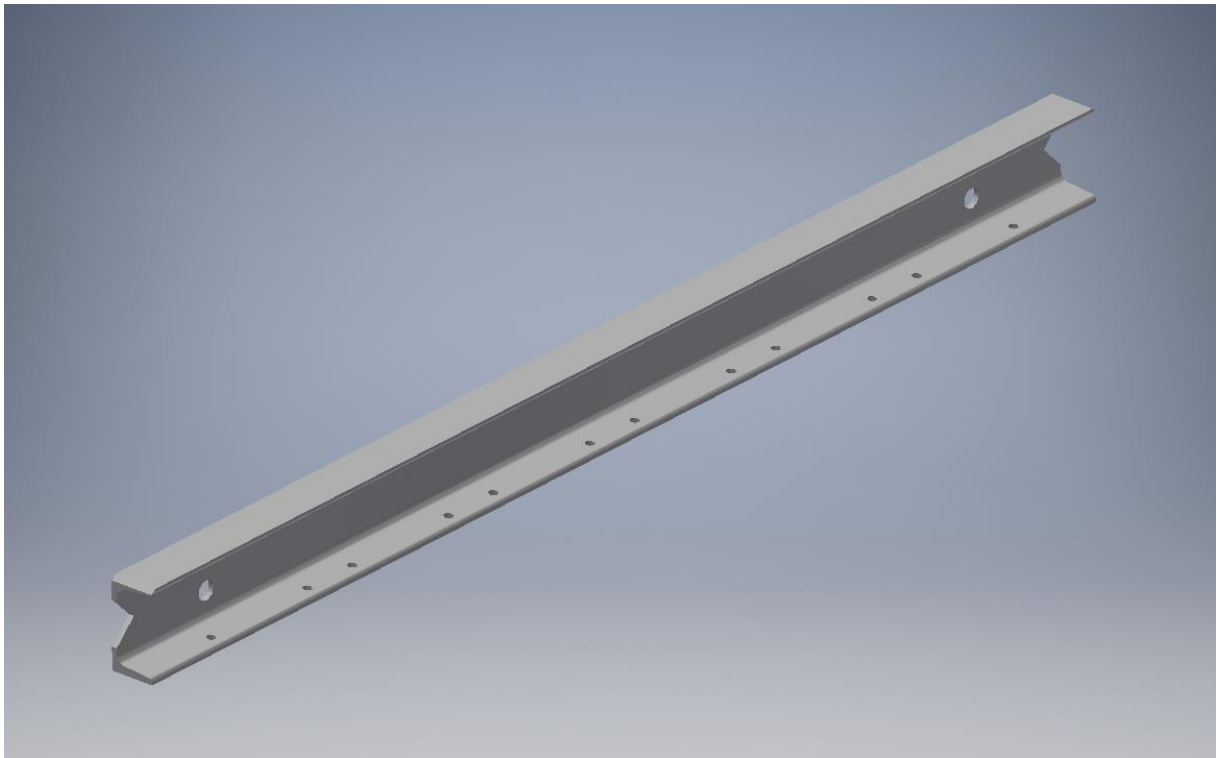
Bijlage 3c: Ontwerp van de snijmallen



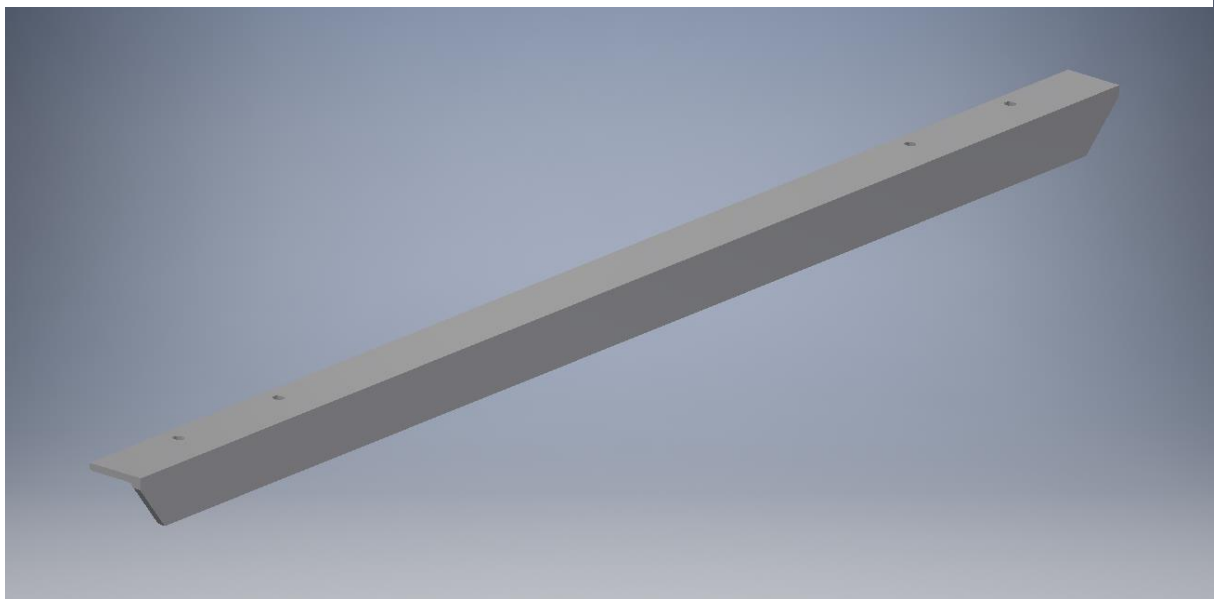
Figuur 15: Snijdeel, Kops H-profiel.



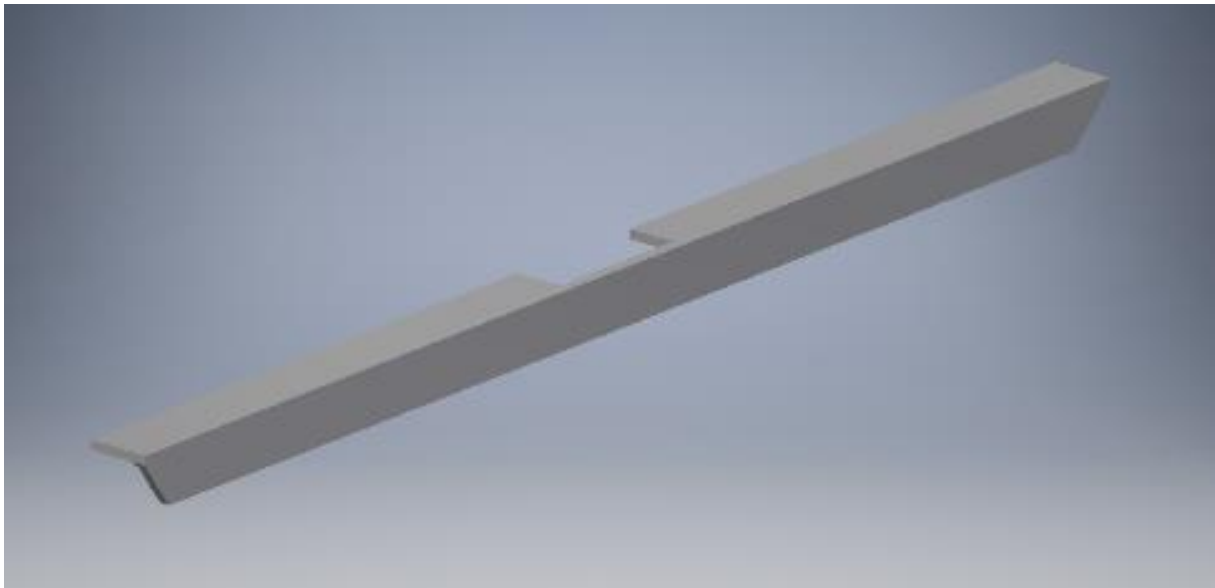
Figuur 16: Snijdeel, Tussen H-profiel.



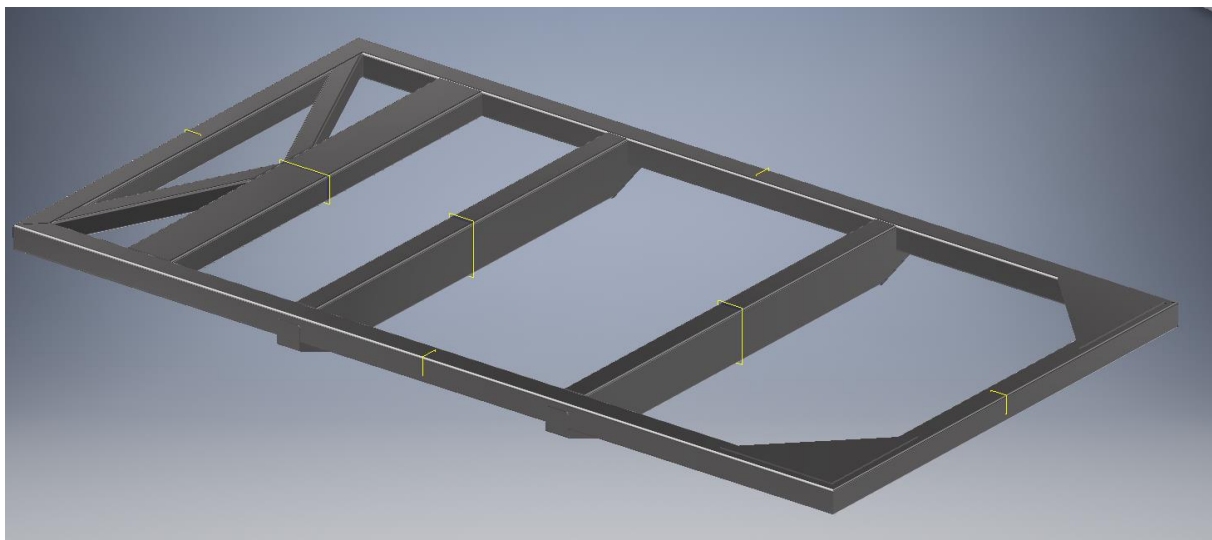
Figuur 17: Snijdeel, U-profiel.



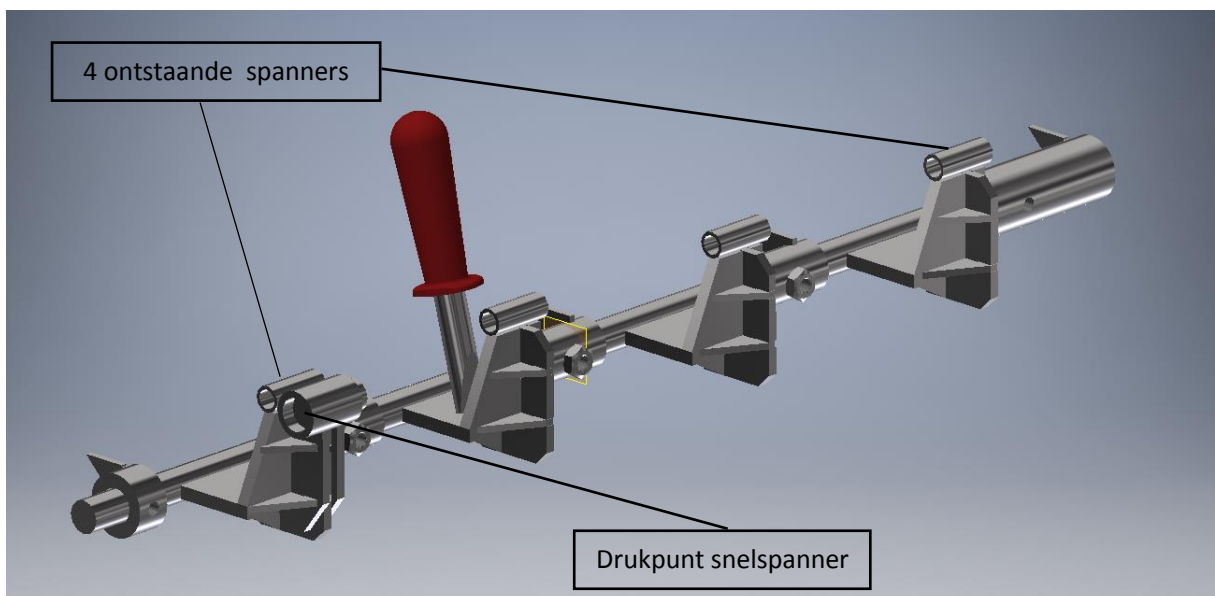
Figuur 18: Snijdeel, 6mm Hoekprofiel



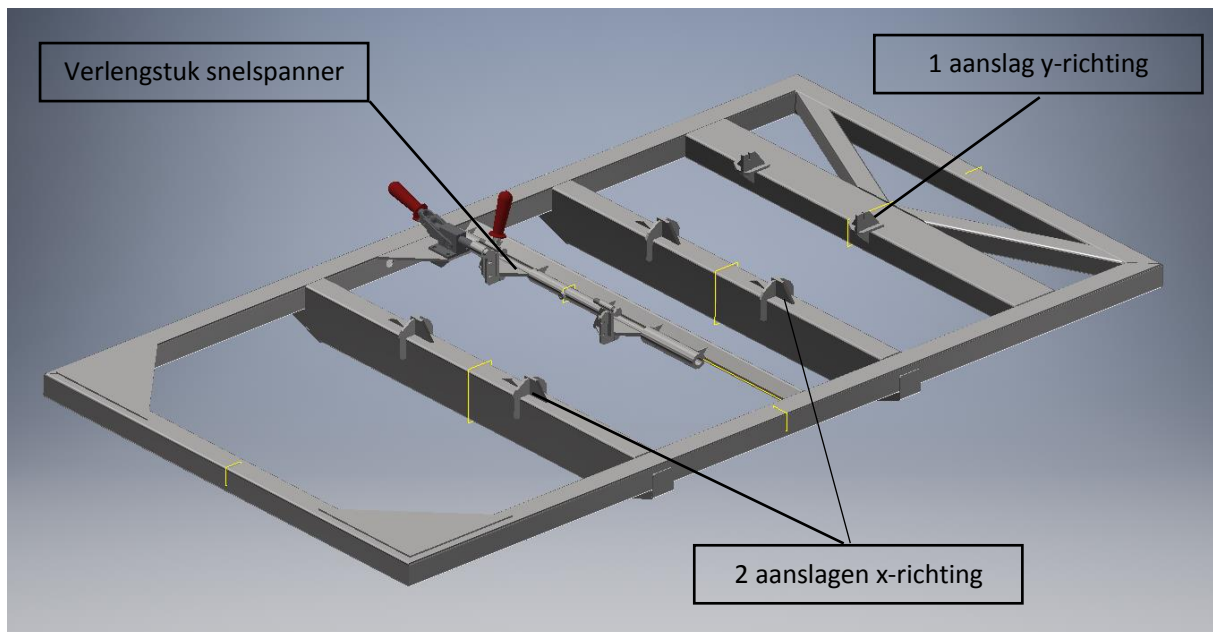
Figuur 19: Snijdeel, 8mm Hoekprofiel.



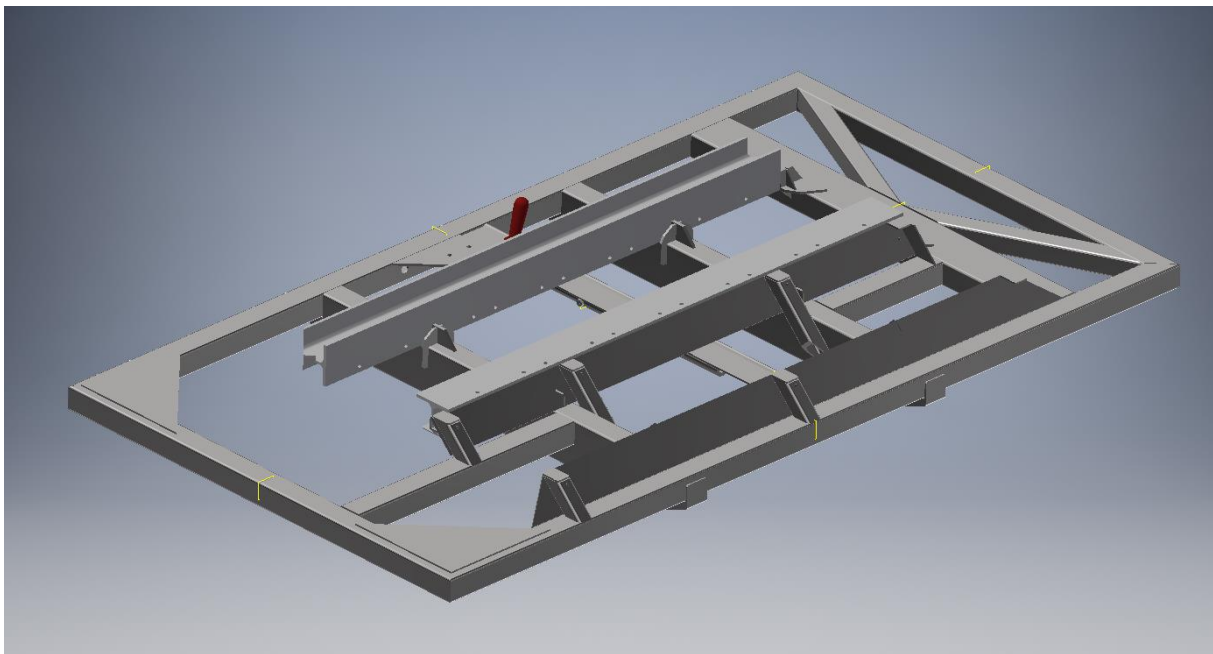
Figuur 20: Frame van de snijmallen.



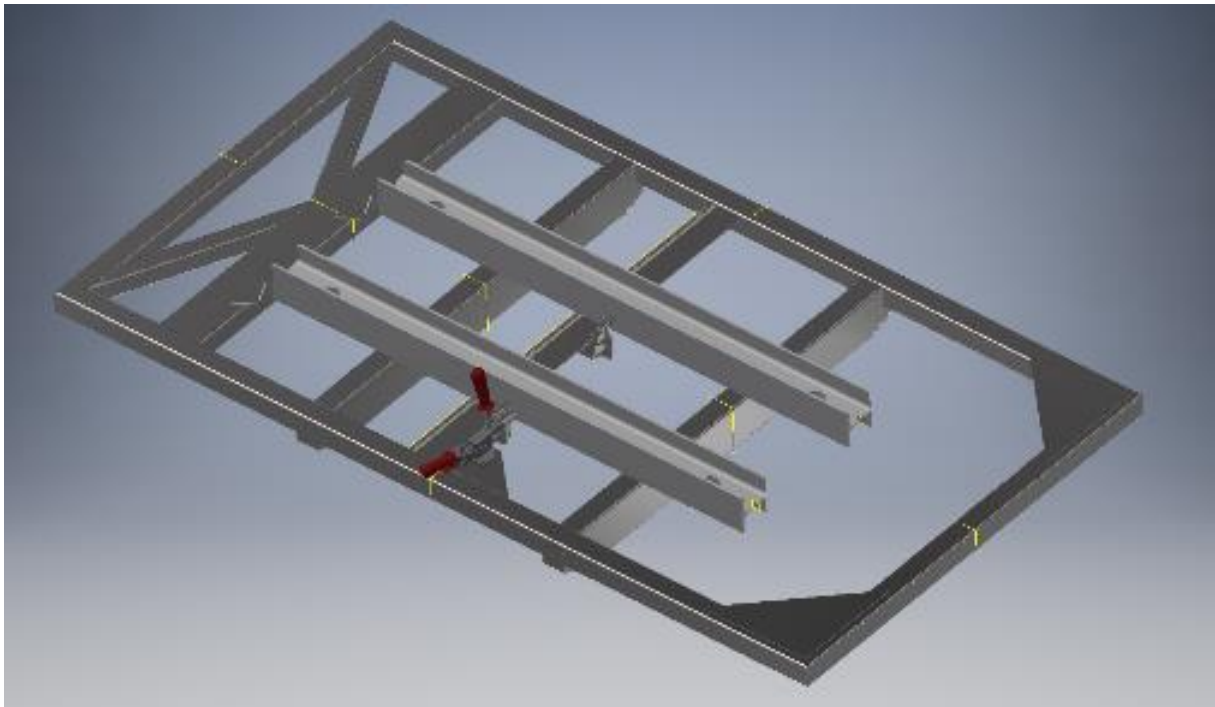
Figuur 21: Verlengstuk voor de snelspanner voor het inspannen van meerdere snijdelen met één handeling.



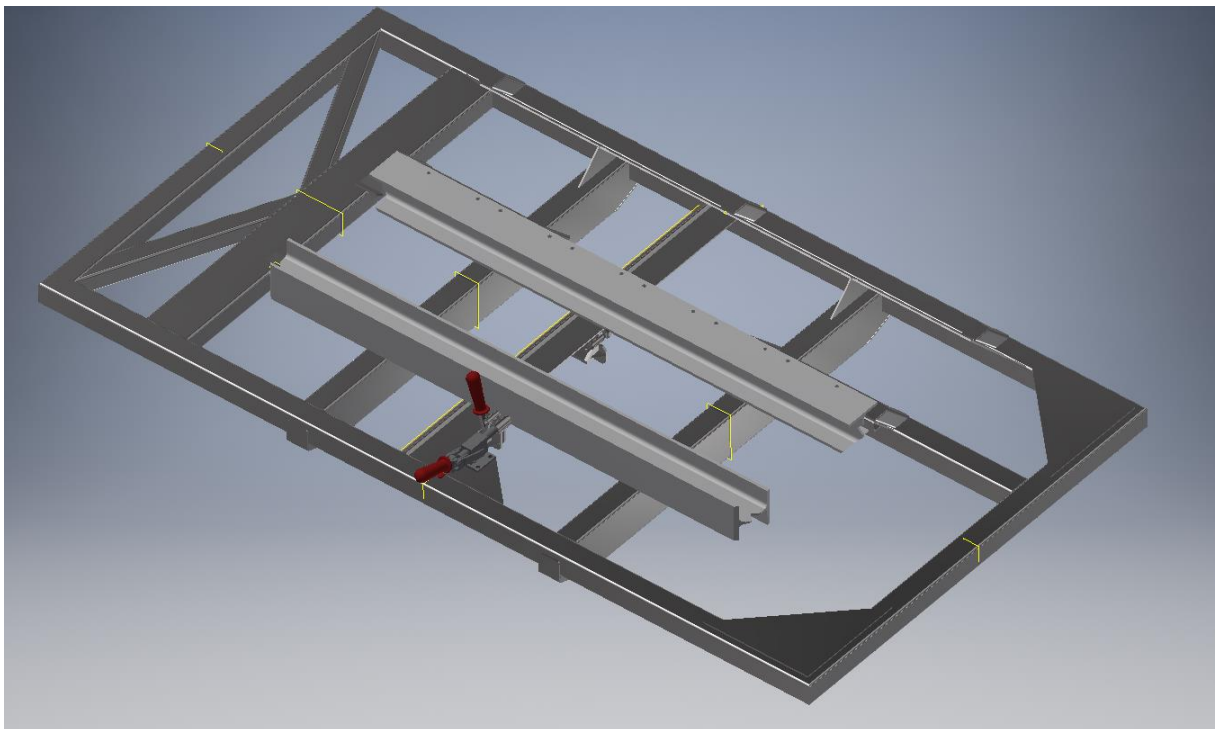
Figuur 22: Complete snijmal, inclusief het frame, de snelspanner met verlengstuk en de aanslagen.



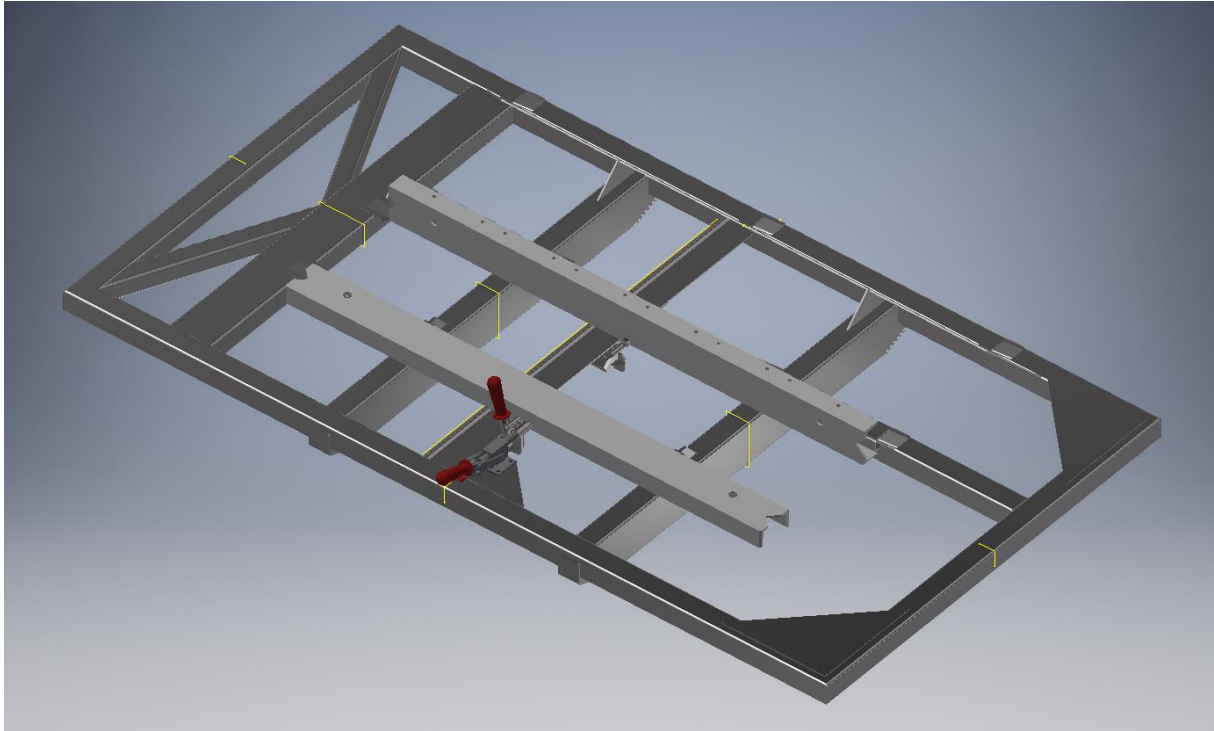
Figuur 23: De afscherming die zorgt dat er geen afval op het profiel terecht komt.



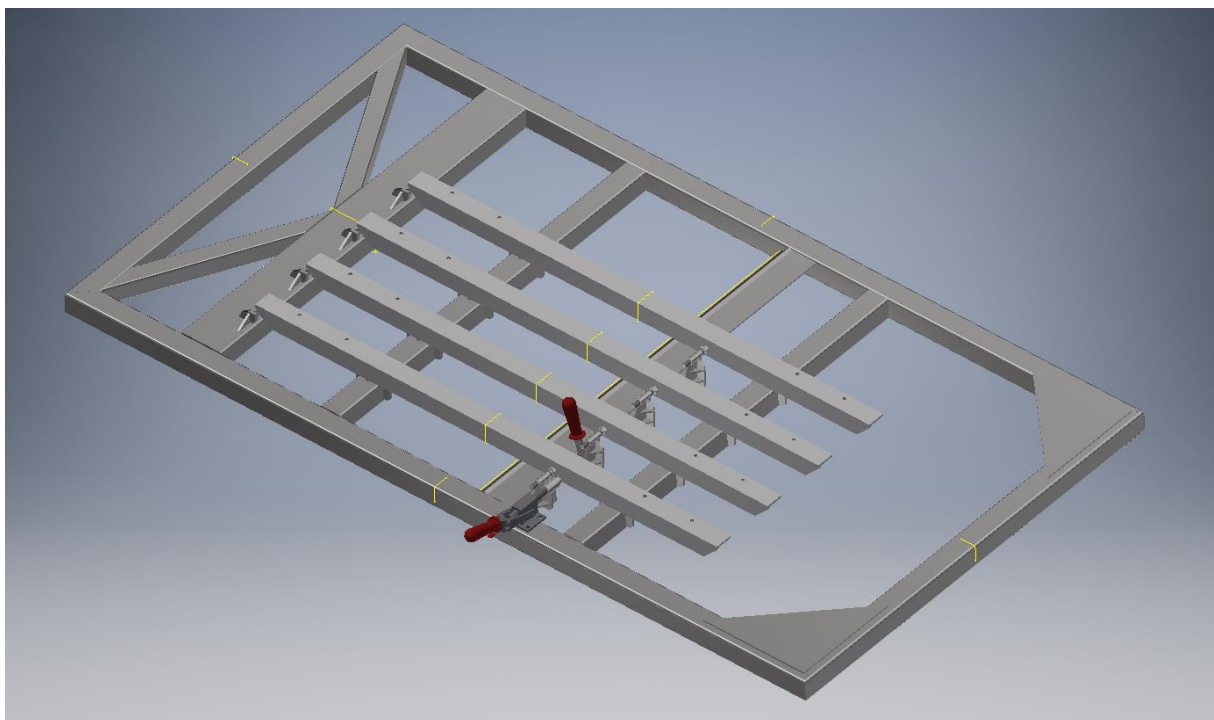
Figuur 24: Snijmal voor het kops H-profiel.



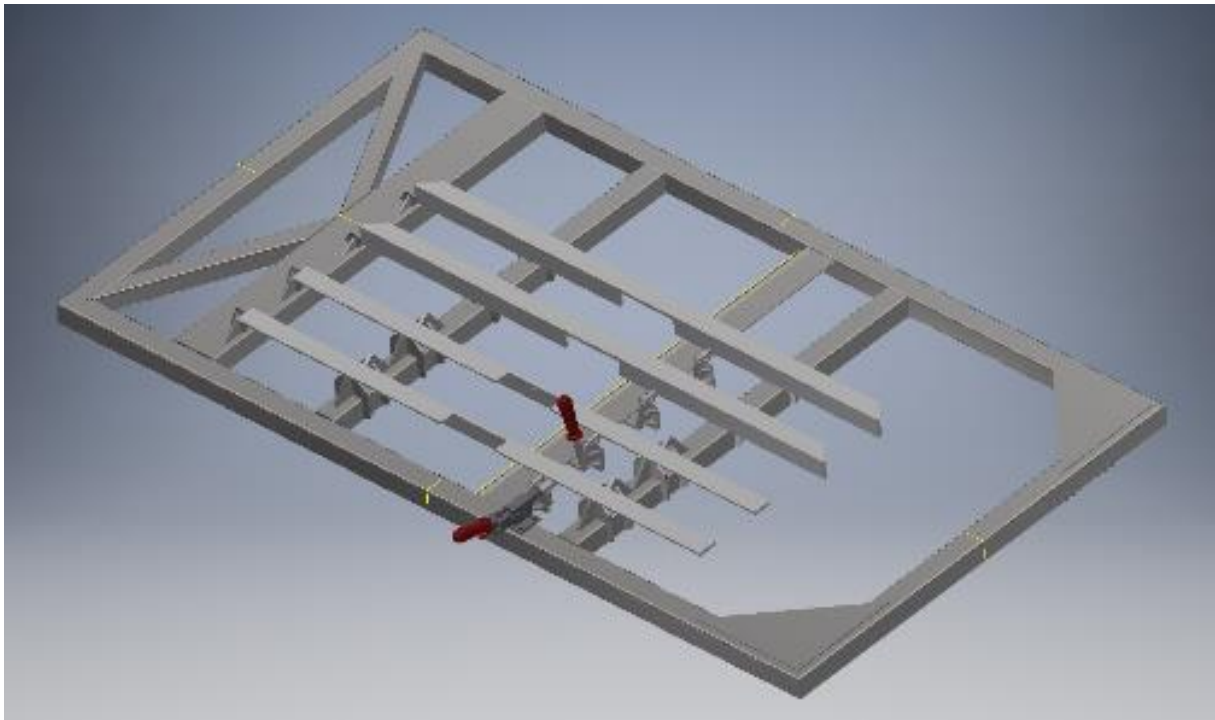
Figuur 25: Snijmal voor het tussen H-profiel.



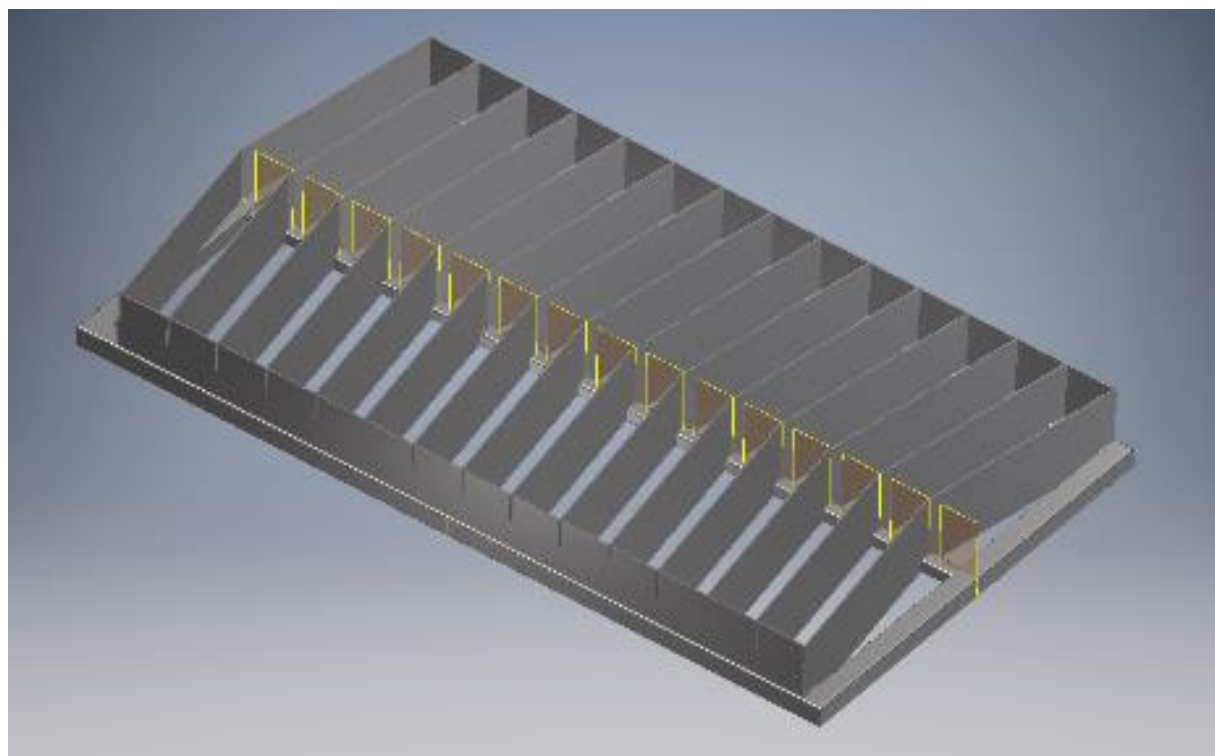
Figuur 26: Snijmal voor het U-profiel.



Figuur 27: Snijmal voor het 6 mm Hoekprofiel.



Figuur 28: Snijmal voor het 8 mm Hoekprofiel.



Figuur 29: Snijmal voor het plaatwerk.

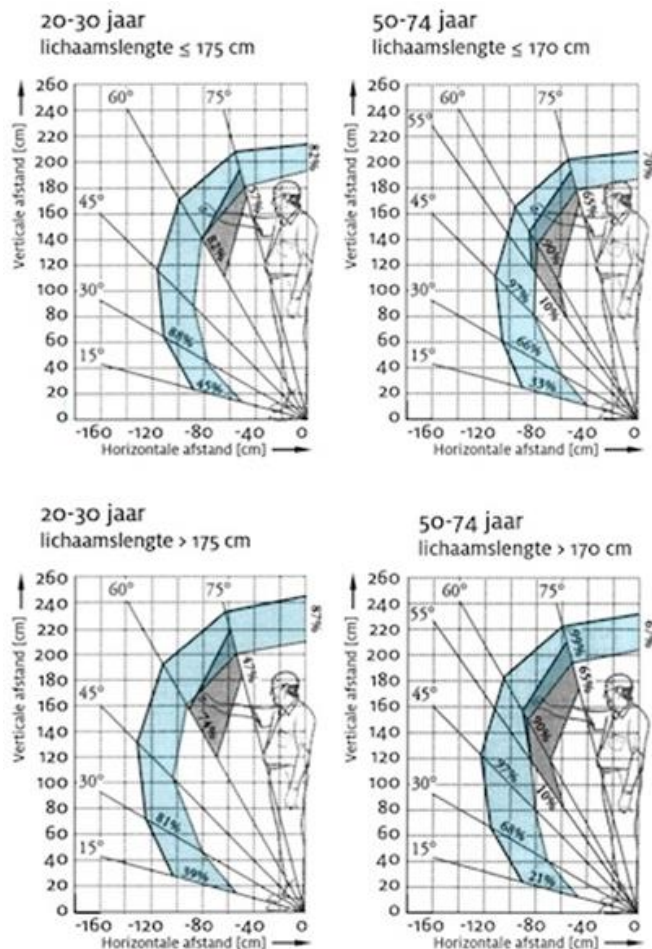
Discription snijmal	Specifications					
Te snijden product	Kops H-profiel	Tussen H-profiel	U-profiel	6mm Hoekprofiel	8mm Hoekprofiel	Plaatwerk
Materiaal	S235					
Frame lengte	2200 mm					
Frame breedte	1200 mm					
Aantal snijdelen per mal	2			4		n.v.t.
Aantal keer omleggen	0 x	1 x	1 x	0 x	1 x	0 x
Afscherming (ja/nee)	Nee	Ja	Ja	Nee		
Kosten per stuk	€ 150,-	€ 170,-	€ 170,-	€ 160,-	€ 160,-	€ 270,-
Aantal nodig	1					
Kosten totaal	€ 150,-	€ 170,-	€ 170,-	€ 160,-	€ 160,-	€ 270,-

Tabel 16: Specificaties van de snijmallen.

Bijlage 3d: Gebruikers ergonomie

De reikwijdte tijdens het verleggen van de profielen. Zie figuur 30a.							
Handeling:	Dwarsligger	Gewicht (kg)	Max. horizontale afstand (cm)	Max. toegestane horizontale afstand (cm) *Zie figuur 30a	Comfortabele horizontale afstand (cm) *Zie figuur 30a	Ergonomisch verantwoord	
Inleggen profielen	Hoek-prof.	6	79,9	110	80	Ja	
	U-prof.	15	72,7				
	H-prof.	23	75,9				
Omleggen profielen	Hoek-prof.	6	van 79,9 naar 39,3				
	U-prof.	15	van 72,7 naar 40,6				
	H-prof.	23	van 75,9 naar 38,1				
Uithalen profielen	Hoek-prof.	6	39,3				
	U-prof.	15	40,6				
	H-prof.	23	39,3				
De krachtsinspanning tijdens het schuiven van de lades. Zie figuur 30b.							
Handeling:	Gewicht (kg)	Min. horizontale kracht (N)	Max. toegestane horizontale kracht (N) *Zie figuur 30b	Ergonomisch verantwoord			
Inschuiven lege afvallade	40	30	200	Ja			
Uitschuiven volle afvallade	110	70	145				
Uitschuiven lege afvallade	40	30					
De krachtsinspanning tijdens het kiepen van het afval. Zie figuur 30b.							
Handeling:	Gewicht (kg)	Min. verticale hefkracht (N)	Max. toegestane verticale hefkracht (kg) *Gegeven waarde	Max. toegestane verticale hefkracht (N)	Ergonomisch verantwoord		
Kiepen lege afvalwagen	140	(140 x 9,81 / 2) = 686,7	23	225,63	Nee		
Kiepen volle afvalwagen	280	(280 x 9,81 / 2) = 1373,4					
De krachtsinspanning tijdens het inspannen van de snelspanner. Zie figuur 30b.							
Handeling:	Aantal profielen in te klemmen	Max. spankracht per profiel (N)	Verticale drukkracht op de hendel (N)	Max. toegestane verticale drukkracht (N) *Zie figuur 30b	Ergonomisch verantwoord		
Inspannen snelspanner	2	12900	50	75	Ja		
	4	6450					

Tabel 17: Handelingen van de operator en de ergonomie van de handelingen.



Figuur 30a: Richtlijnen voor een ergonomisch verantwoorde arbeidshandelingen. (Reikwijdte)

		Arbeid	Thuis
binnen ← → buiten duwen trekken op neer	Hand (1 hand)		
	* krachtgreep	250 N	184 N
	Armen (zit, 1 arm)		
	* op	50	31
	* neer	75	44
	* buiten	55	31
	* binnen	75	49
	* duwen met rugsteun	275	186
	* duwen zonder rugsteun	62	30
	* trekken met rugsteun	225	169
	* trekken zonder rugsteun	55	28
	Hele lichaam (staand)		
	* duwen	200	119
	* trekken	145	96

Figuur 30b: Richtlijnen voor een ergonomisch verantwoorde arbeidshandeling. (Krachtsinspanning)

Benadering	Dwarsligger:	Afvalproductie/ cyclus (cm ³)	Tijd/cyclus (sec)	Afvalproductie/uur (cm ³ /u) *zonder stapel verlies	Afvalproductie/uur (cm ³ /u) *met stapel verlies (3x z.s.v.)	Inhoud 1 afvallade (cm ³)	Tijd 1 volle afvallade (u)
Theoretisch	Tussen H-prof.	46,6	111	1511	4534	40000	8,8
	Kops H-prof.	34,3	101	1223	3668		10,9
	U-prof.	20,6	126	589	1766		22,7
	Hoek-prof. 6 mm	28,1	onb.	onb.	onb.		onb.
	Hoek-prof. 8 mm	76,8	onb.	onb.	onb.		onb.
	Tussen H-prof.	onb.	111	onb.	onb.		8
Praktisch	Kops H-prof.	onb.	101	onb.	onb.		8
	U-prof.	onb.	126	onb.	onb.		8
	Hoek-prof. 6 mm	onb.	onb.	onb.	onb.		onb.
	Hoek-prof. 8 mm	onb.	onb.	onb.	onb.		onb.

Tabel 18: Afvalproductie, theoretisch en praktisch.

$$\frac{\text{Afvalproductie}}{\text{cyclus}} = \text{Volume afval} = 46,6 \text{ cm}^3$$

Vergelijking 1: Theoretische afvalproductie per cyclus.

$$\frac{\text{Afvalproductie}}{\text{uur}} \text{ zonder stapel verlies} = \frac{\left(\frac{\text{Afvalproductie}}{\text{cyclus}} \right)}{\left(\frac{\text{tijd}}{\text{cyclus}} \right)} = \frac{46,6}{\frac{111}{3600}} = 1511 \frac{\text{cm}^3}{\text{u}}$$

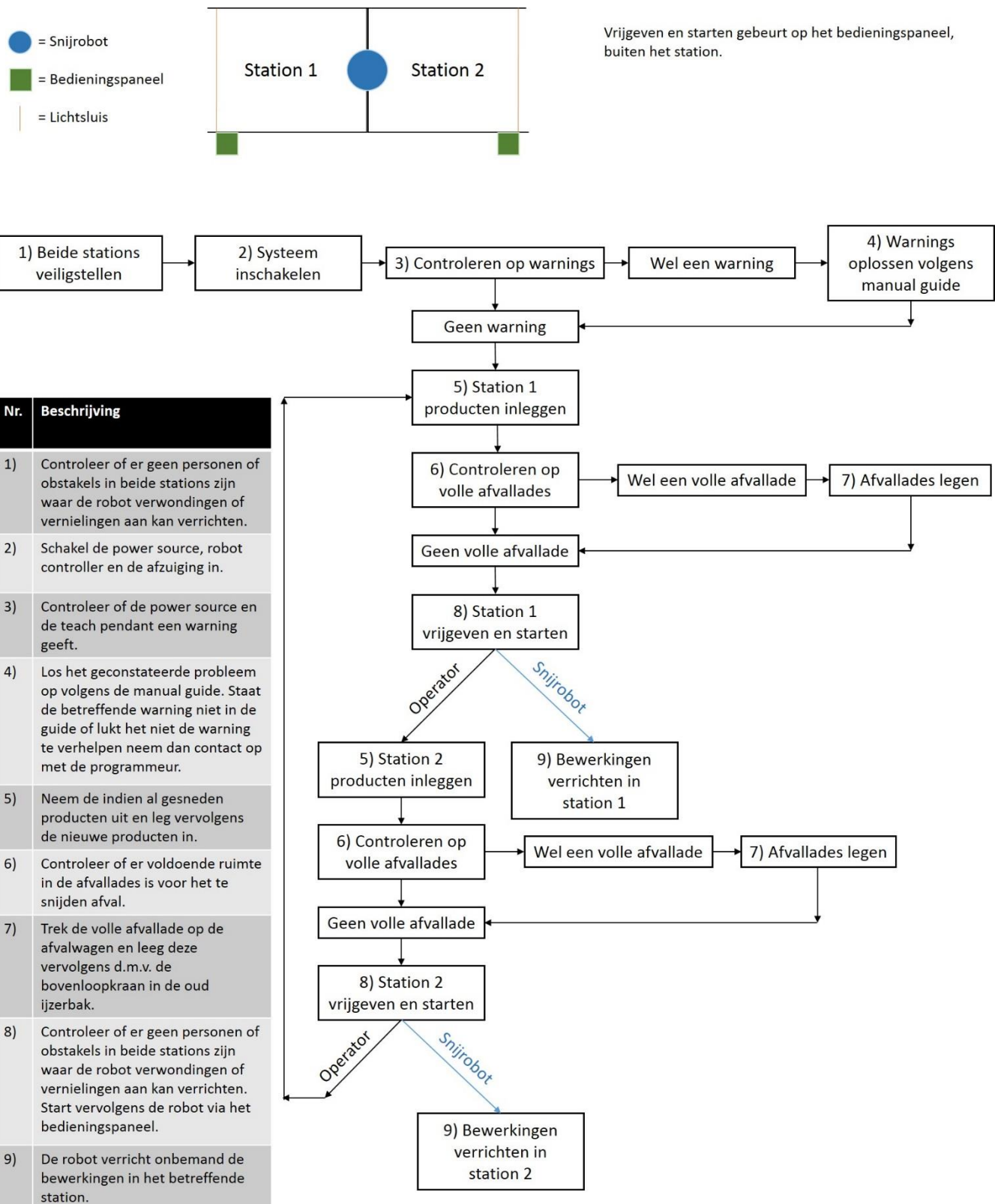
Vergelijking 2: Theoretische afvalproductie per uur zonder stapel verlies.

$$\frac{\text{Afvalproductie}}{\text{uur}} \text{ met stapel verlies} = 3 * \frac{\text{Afvalproductie}}{\text{uur}} \text{ z. s. v.} = 3 * 1511 = 4534 \frac{\text{cm}^3}{\text{u}}$$

Vergelijking 3: Theoretische afvalproductie per uur met stapel verlies.

$$\text{Tijd 1 volle afvalbak} = \frac{\text{Inhoud 1 afvalbak}}{\frac{\text{Afvalproductie}}{\text{uur}} \text{ m. s. v.}} = \frac{40000}{4534} = 8,8 \text{ u}$$

Vergelijking 4: Theoretische tijd voor 1 volle afvalbak.



Figuur 31: Functieanalyse plasmasnijrobot.

Bijlage 3e: Constructie berekeningen

$$\text{Verdeelde belasting} = \frac{\left(\frac{\text{Totaal gewicht op pallet} * g}{\text{Aantal dwarsliggers}} \right)}{\text{Lengte dwarsligger}} = \frac{\left(\frac{28000 * 9.81}{14} \right)}{1371} = 14.31 \frac{N}{mm}$$

Vergelijking 5: Verdeelde belasting over de dwarsligger met een totaal gewicht van 28ton op de gehele palletbodem.

$$\text{Oppervlaktetraagheidsmoment} = \frac{b * h - (b - l)(h - 2f)^3}{12} = \frac{100 * 96 - (100 - 5)(96 - 2 * 8)^3}{12} = 3319467 \text{ mm}^4$$

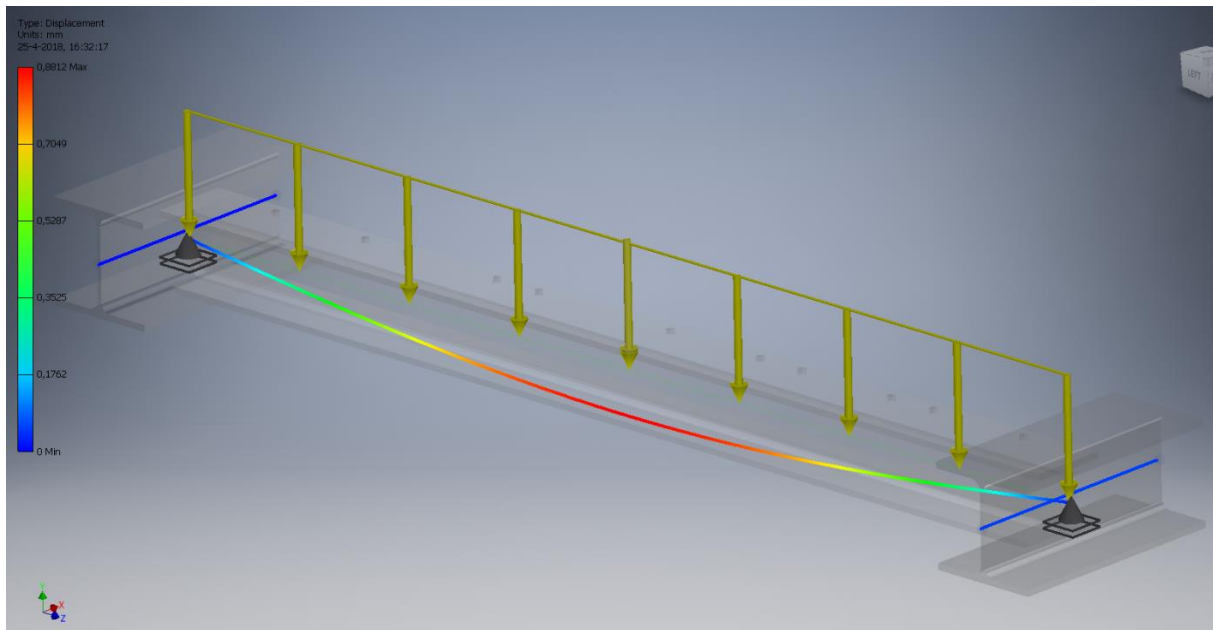
Vergelijking 6: Oppervlaktetraagheidsmoment H-profiel. (l=lijfdikte, f=flensdikte)

Huidige situatie:				
Omschrijving	Grootheid	Waarde	Eenheid	Bron
Doorbuiging	f	gevraagd	mm	
Verdeelde belasting	Q	14,31	N/mm	Vergelijking 5
Lengte	L	1371	mm	Inventor
Elasticiteitsmodulus	E	235000	N/mm ²	R&M tabellenboek
Oppervlaktetraagheidsmoment	I	3473774	mm ⁴	Inventor / vergelijking 6

Tabel 19: Gegevens H-profiel van de huidige situatie.

$$\text{Doorbuiging} = \frac{5 * Q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 14,31 * 1371^4}{384 * 235000 * 3473774} = 0,806415 \text{ mm}$$

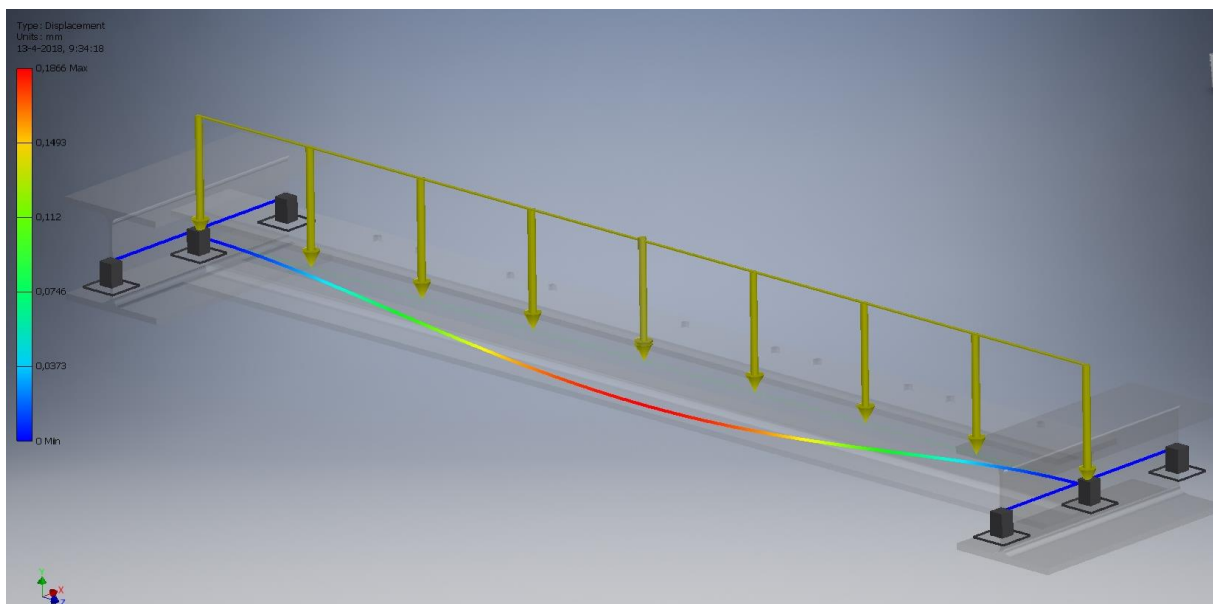
Vergelijking 7: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele oplegging voor de huidige situatie.



Figuur 32: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele oplegging voor de huidige situatie. (maximale waarde = 0,8812mm)

$$\text{Doorbuiging} = \frac{Q * L^4}{384 * E * I} = \frac{14,31 * 1371^4}{384 * 235000 * 3550221} = 0,161283 \text{ mm}$$

Vergelijking 8: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele inklemming voor de huidige situatie.



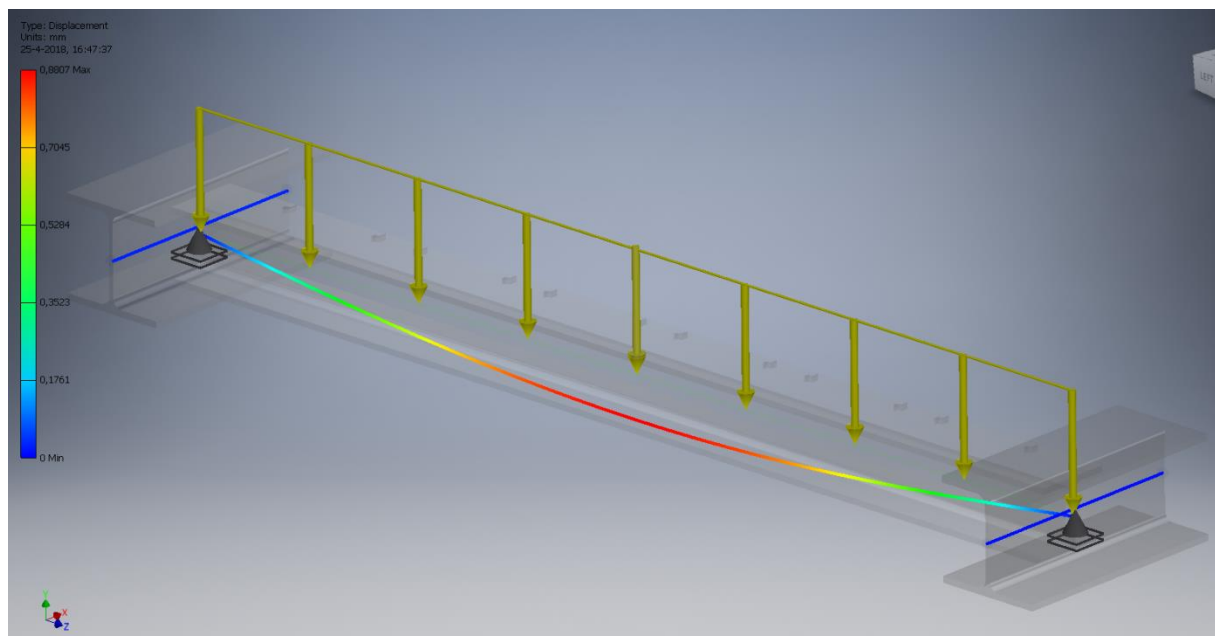
Figuur 33: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele inklemming voor de huidige situatie. (maximale waarde = 0,1866mm)

Toekomstige situatie:				
Omschrijving	Grootheid	Waarde	Eenheid	Bron
Doorbuiging	f	gevraagd	mm	
Verdeelde belasting	Q	14,31	N/mm	Vergelijking 5
Lengte	L	1371	mm	Inventor
Elasticiteitsmodulus	E	235000	N/mm ²	R&M tabellenboek
Oppervlaktetraagheidsmoment	I	3550221	mm ⁴	Inventor / vergelijking 6

Tabel 20: Gegevens H-profiel van de toekomstige situatie.

$$\text{Doorbuiging} = \frac{5 * Q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 14,31 * 1371^4}{384 * 235000 * 3550221} = 0,789051 \text{ mm}$$

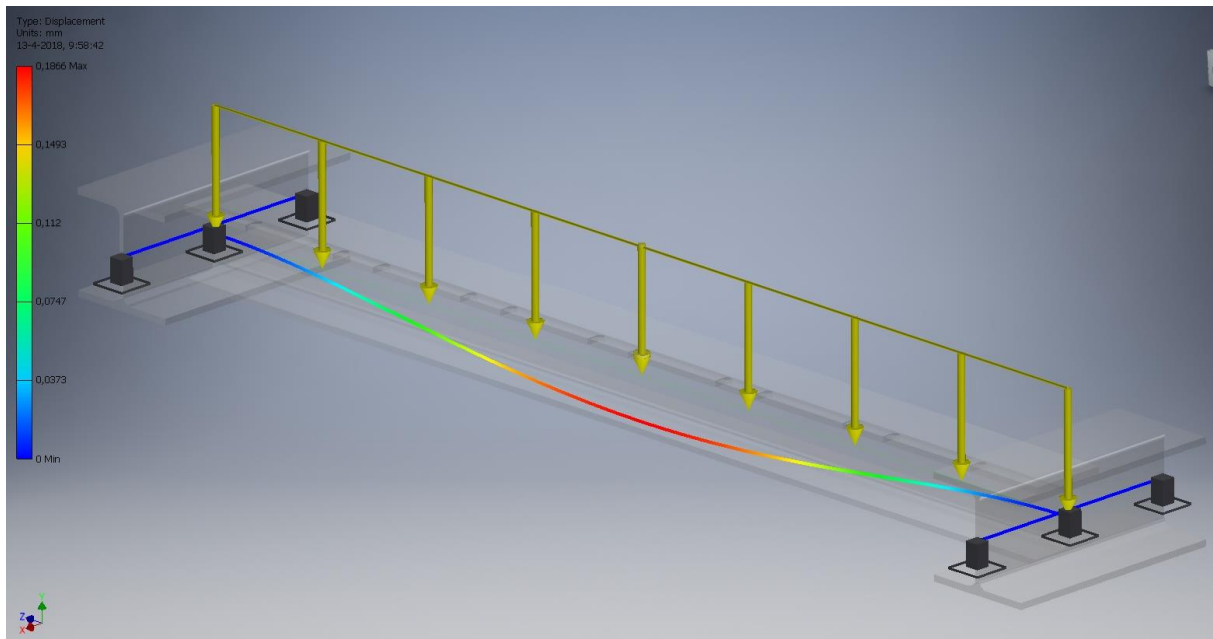
Vergelijking 9: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele oplegging voor de toekomstige situatie.



Figuur 34: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele oplegging voor de toekomstige situatie. (maximale waarde = 0,8807mm)

$$\text{Doorbuiging} = \frac{Q * L^4}{384 * E * I} = \frac{14,31 * 1371^4}{384 * 235000 * 3473774} = 0,157810 \text{ mm}$$

Vergelijking 10: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele inklemming voor de toekomstige situatie.



Figuur 35: Doorbuiging van een gelijkmatig verdeelde belasting bij een dubbele inklemming voor de toekomstige situatie. (maximale waarde = 0,1866mm)

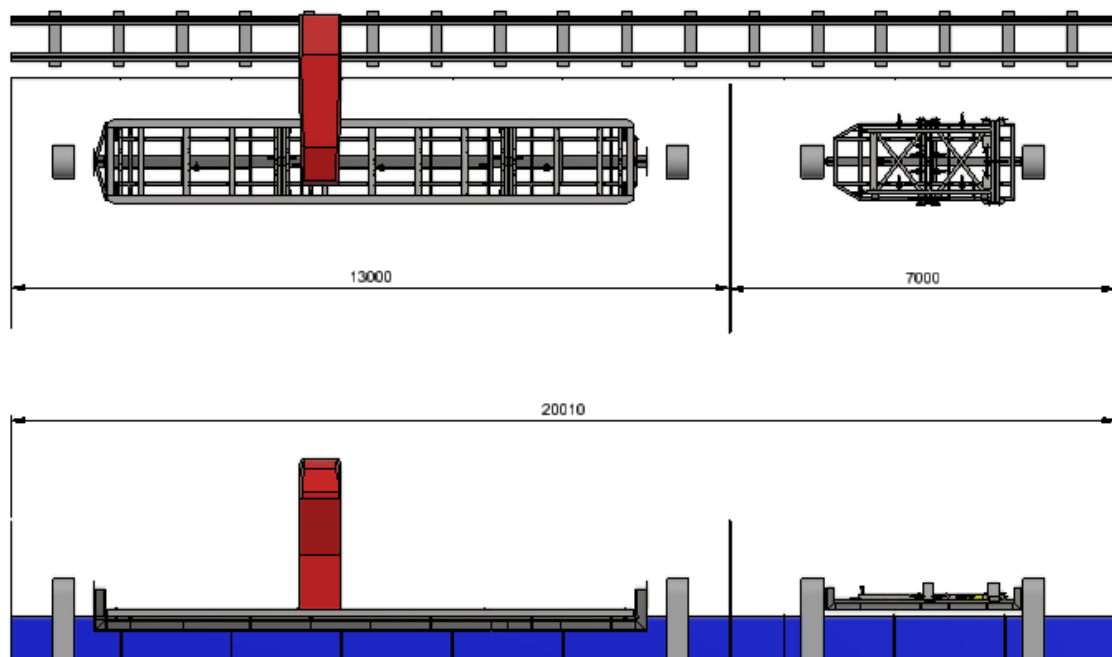
Huidige situatie:				
Omschrijving	Grootheid	Waarde	Eenheid	Bron
Doorbuiging	f	gevraagd	mm	
Verdeelde belasting	Q	7,16	N/mm	Vergelijking 5 x 0,5
Lengte	L	1371	mm	Inventor
Elasticiteitsmodulus	E	235000	N/mm ²	R&M tabellenboek
Oppervlaktetraagheidsmoment	I	2253954	mm ⁴	Inventor

Tabel 21: Gegevens U-profielen van de huidige situatie.

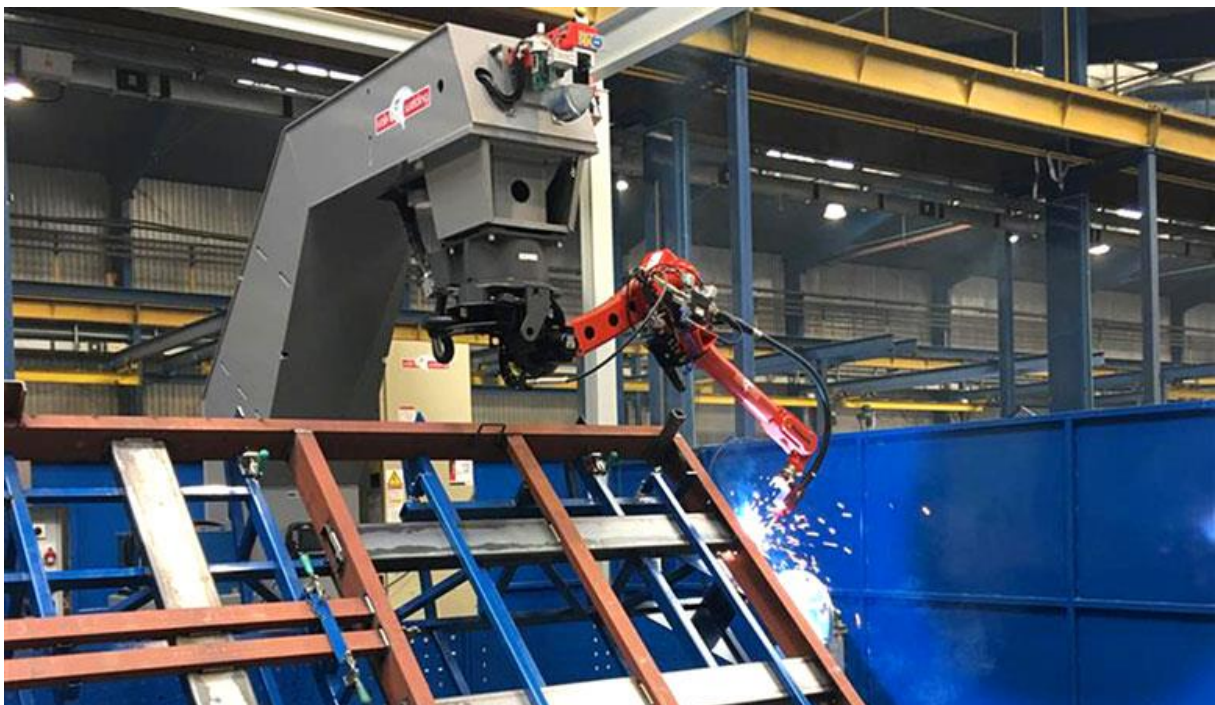
Toekomstige situatie:				
Omschrijving	Grootheid	Waarde	Eenheid	Bron
Doorbuiging	f	gevraagd	mm	
Verdeelde belasting	Q	7,16	N/mm	Vergelijking 5 x 0,5
Lengte	L	1371	mm	Inventor
Elasticiteitsmodulus	E	235000	N/mm ²	R&M tabellenboek
Oppervlaktetraagheidsmoment	I	2232690	mm ⁴	Inventor

Tabel 22: Gegevens U-profielen van de toekomstige situatie.

Bijlage 4a: Ontwerp van de lasrobotopstelling



Figuur 36: Ontwerp lasrobotopstelling.



Figuur 37: Samenstelling, lasrobot aan een galg. (de track waar de galg overheen rijdt is niet zichtbaar in dit figuur)

Bijlage 5a: Creëren van programma's

Station 1	Programma nr.	Product
Station 1	P101	HEA100 tussenligger 1371mm
	P102	UNP100 zonder gat 1371mm
	P103	UNP100 met gat 1371mm
	P104	HEA100 kops 1371mm
	P105	HEB100 tussenligger 1371mm
	P106	HEA100 Geiger tussenligger 1371mm
	P107	Potjes UTM Werkorder 3057
Station 2	P201	HEA100 tussenligger 1371mm
	P202	UNP100 zonder gat 1371mm
	P203	UNP100 met gat 1371mm
	P204	HEA100 kops 1371mm
	P205	HEB100 tussenligger 1371mm
	P206	HEB140 UTM tussenligger 1371mm
	P207	

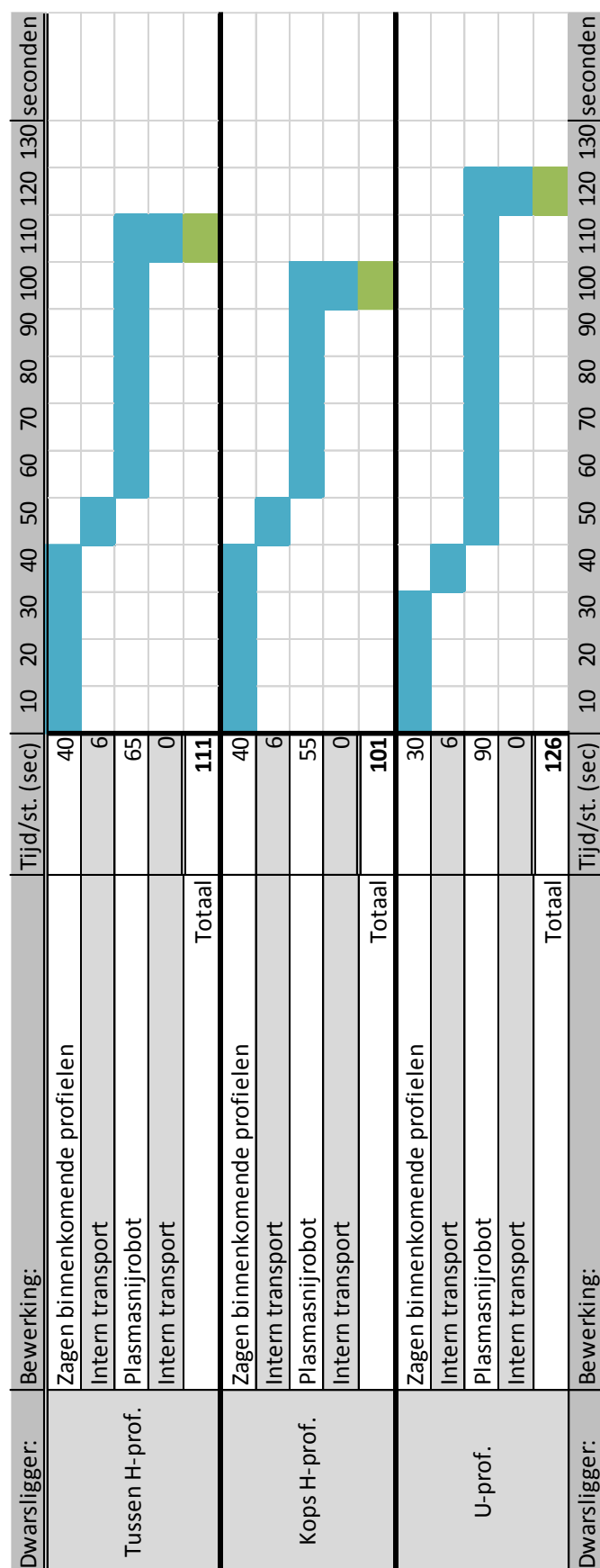
Tabel 23: Overzicht programma's snijrobot.

Bijlage 5b: Instellingen

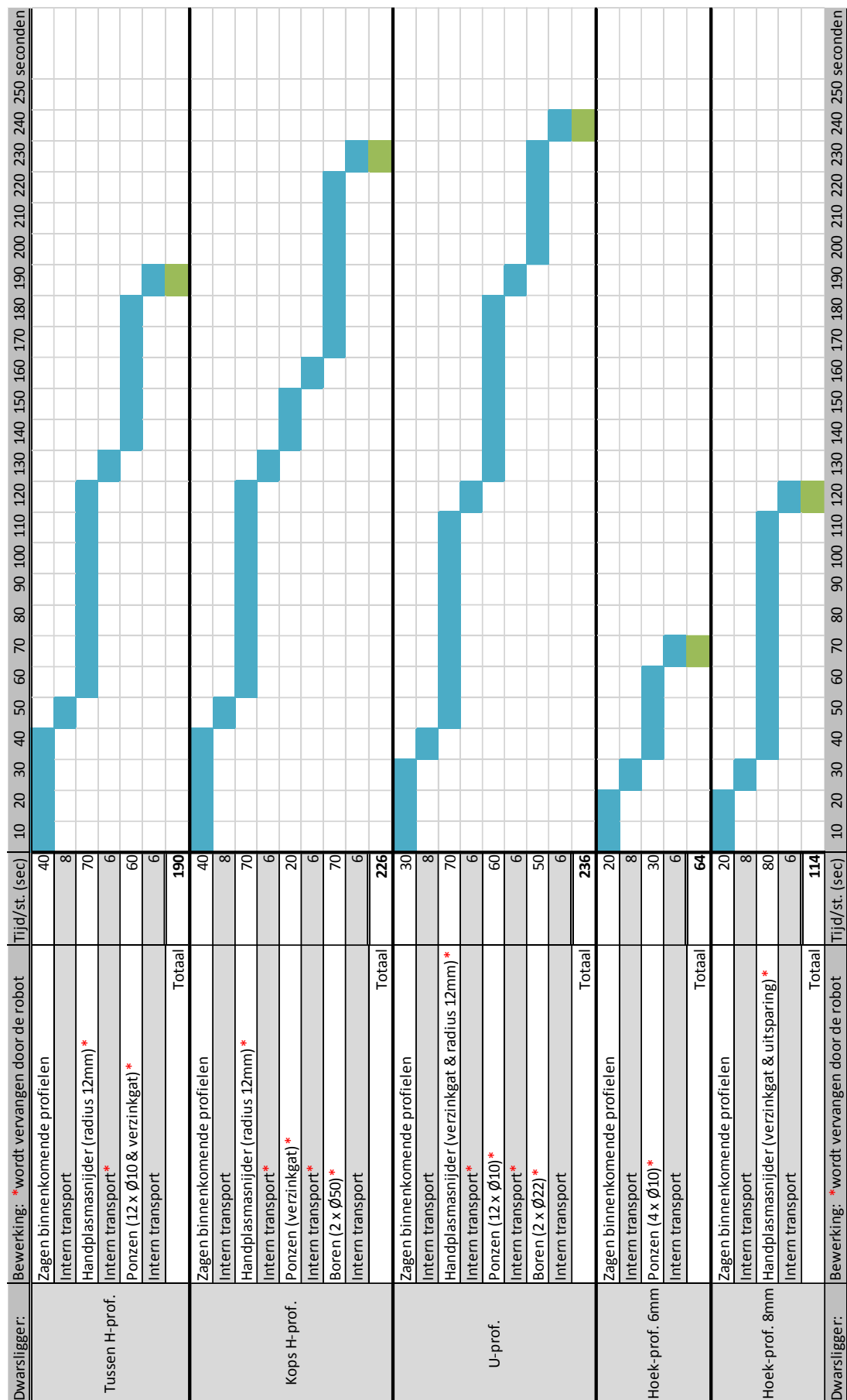
Material	Plate thickness (mm ^t)	Cutting current (A)	Tip (Part No.)	Cutting speed (cm/min)	Stand-off of tip (mm)	Remarks
Mild steel Stainless steel	1.2	30	30A (H839K03)	150~250	2~3	Air pressure : 0.39MPa
	1.6			120~200		
	2.3			60~150		
	3.2			40~80		
	3.2	50	50A (H839K02)	150~250	3~4	
	4.5			100~150		
	6.0			80~120		
	9.0			40~70		
	6.0	80	80A (H839K01)	150~250	4~5	
	9.0			100~180		
	12.0			50~100		
	16.0			40~60		
	12.0	120	120A (H839G03)	100~200	4~5	
	16.0			60~120		
	25.0			40~60		
	40.0			20~30		
	50.0			less than 20		
	60.0			less than 10		

Tabel 24: Voorgeschreven instellingen voor het snijden met de plasmasnijrobot.

Bijlage 5c: Doorlooptijd



Tabel 25: Doorlooptijd dwarsliggers geautomatiseerd.



Tabel 26: Doorlooptijd dwarsliggers handmatig.

Dwarsligger:	Productietijd/st. (sec)	Werkuren/dag	Te produceren/dag	Aantal nodig	Productietijd/st. (min)	Te produceren/dag
	Per 1 stuks			Per 1 binnenladerpallet		
Tussen H-prof.	190	8	152	9	28,5	
Kops H-prof.	226		127	2	7,5	
U-prof.	236		122	6	23,6	
Hoek-prof 6mm	64		450	2	2,1	
Hoek-prof 8mm	114		253	4	7,6	
Totaal					69	6,92

Tabel 27: Tijdsplanning handmatig.

$$\frac{\text{Te produceren}}{\text{dag}} = \frac{\frac{\text{werkuren}}{\text{dag}} * 3600}{\frac{\text{productietijd}}{\text{stuk}}} = \frac{8 * 3600}{190} = 152 \text{ stuks}$$

Vergelijking 11: Aantal dwarsliggers te produceren per dag.

$$\frac{\text{Productietijd}}{\text{stuk}} = \frac{\text{Aantal nodig} * \frac{\text{productietijd}}{\text{stuk}}}{60} = \frac{9 * 190}{60} = 28,5 \text{ minuten}$$

Vergelijking 12: Aantal binnenladerpallets te produceren per dag.

Dwarsligger:	Productietijd/st. (sec)	Werkuren/dag	Te produceren/dag	Aantal nodig	Productietijd/st. (min)	Te produceren/dag
	Per 1 stuks			Per 1 binnenladerpallet		
Tussen H-prof.	111	8,2	266	9	16,7	
Kops H-prof.	101		292	2	3,4	
U-prof.	126		234	6	12,6	
Hoek-prof 6mm	Onb.			2		
Hoek-prof 8mm	Onb.			4		
Totaal					33	15,08

Tabel 28: Tijdsplanning geautomatiseerd.

Dwarsligger:	Productietijd/st. (sec) Handmatig	Productietijd/st. (sec) Geautomatiseerd	Winst bewerkingen (%)	Winst zonder zagen (%)
Tussen H-prof.	190	111	71	111
Kops H-prof.	226	101	124	205
U-prof.	236	126	87	115
Hoek-prof 6mm	64	Onb.		
Hoek-prof 8mm	114	Onb.		

Tabel 29: Conclusie, winstberekening