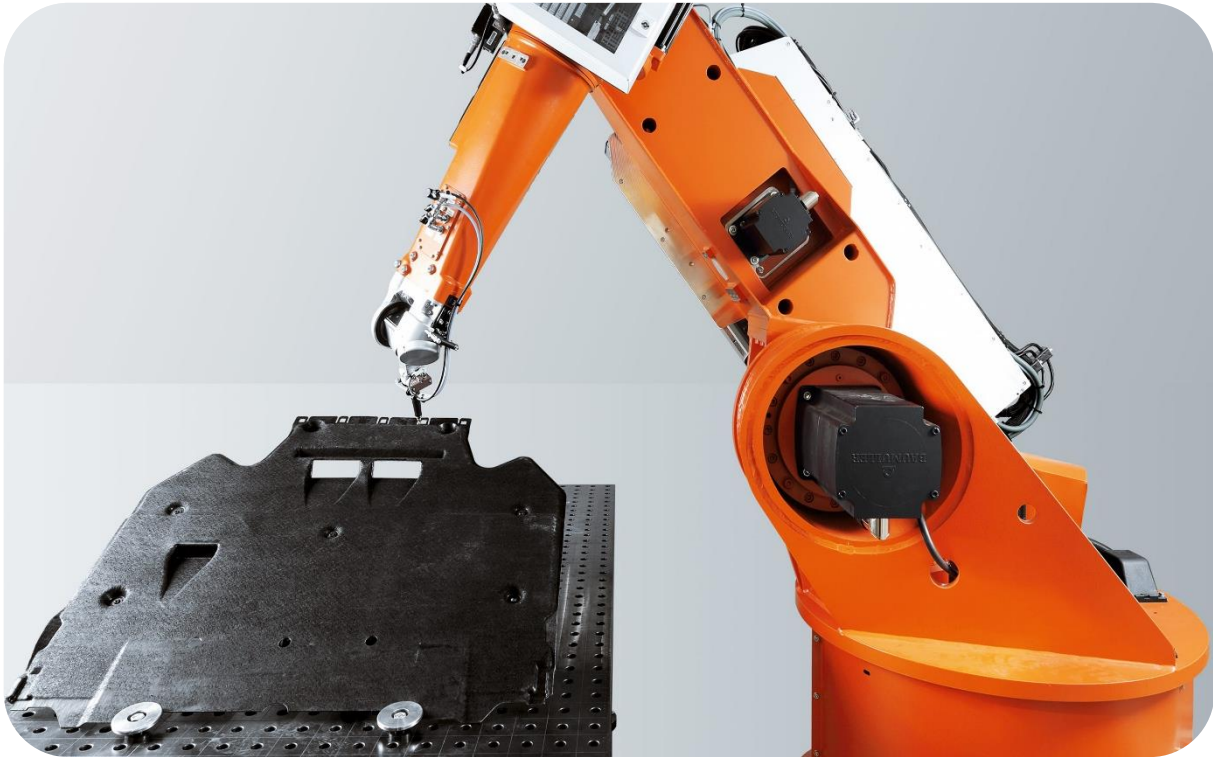




OPTIMALISATIE VAN ROBOTARM LASERSNIJDER

Eindrapport

12 JUNI 2022



Figuur 1 Lasersnijder robotarm (KUKA, 2021)

Auteur:	Tom Hanemaaijer
Begeleiders:	L.M. Blok, C.J. Ocké, D. Ornek
Versie:	2.0
Cursusnummer:	CU08813V17
Studentnummer:	00078898

OPTIMALISATIE VAN ROBOTARM LASERSNIJDER

PERSONALIA

Coördinatoren & contactpersonen

Hogeschool Zeeland University of Applied Sciences

Begeleider en 1^e examinerator

2^e examinerator

Naam: L.M. Blok
Mail: Blok0033@hz.nl
Functie: Docent Engineering

Naam: C.J. Ocké
Mail: Ock0003@hz.nl
Functie: Docent Engineering

Polytec composites NL B.V.

Bedrijfsbegeleider

Naam: Django Ornek
Mail: Django.Ornek@polytec-group.com
Functie: Manager Technical Department & Process Engineering

Student

Naam: T. Hanemaaijer
Mail: Tomhanemaaijer18@gmail.com
Telefoon: +31 6 20 39 15 03
Opleiding: Student mechatronica engineering, HZ University of Applied Sciences
Student nr.: 00078898

Contactgegevens Polytec Composites NL B.V.

Naam: Polytec Composites NL B.V.
Adres: Borgwerf 37, 4704 RG Roosendaal
Land: Nederland
Telefoon: +31 (0165) 575 475

Contactgegevens HZ University of Applied Sciences

Naam: HZ University of Applied Sciences
Adres: Edisonweg 4, 4382 NW Vlissingen
Land: Nederland
Telefoon: +31 (0118) 489 000

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft het verbetervoorstel voor het optimaliseren van lasersnijlijn 953 tot het punt dat deze lijn een overall equipment effectiveness (OEE) van 90% behaalt. OEE legt in zijn essentie de tijd vast dat het proces daadwerkelijk werk levert in relatie tot dat het proces geen werk levert. Het huidige probleem is het verlies in tijd dat voortkomt uit stilstanden en het verlies in kwaliteit wat resulteert in klantklachten. Stilstanden worden veroorzaakt door onder andere: machineombouw, storingen, pauzes/ operatorwissels, etc. Klantklachten ontstaan door fout gefabriceerde producten. Voorbeelden hiervan zijn afwijkende gatenpatronen en niet compleet doorsneden producten.

Dit onderzoek is uitgevoerd volgens de DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve en Control) methode. Deze methode wordt voornamelijk gebruikt voor optimalisatie/ verbeter projecten en komt voort uit de 'Lean filosofie'. In de volgende alinea's zullen een aantal belangrijke deelresultaten beschreven worden.

Gedurende de eerste drie fases van DMAIC zijn de problemen/verliezen diepgaander onderzocht. Hier is ontdekt dat volgens de data uit het machine monitoringssysteem BARCO de meeste stilstanden een onbekende oorzaak hadden. Door de kennis en ervaringen van: operators, programmeurs, technici en managers kon een groot deel van deze stilstanden herleid worden naar problemen met de lasermal. Vervolgens is een root cause analyse uitgevoerd. Hieruit bleek dat het grootste probleem van de mallen ontstond door het malplaatsingssysteem.

Naar aanleiding van deze ontdekking is in overleg met de opdrachtgever besloten om een concept te ontwikkelen voor een nieuw malplaatsingssysteem. Dit malplaatsingssysteem elimineert de mogelijkheid om de lasermal incorrect te plaatsen tenzij hiervoor een bewuste keuze wordt gemaakt zoals het verwijderen van componenten. Deze verbetering verhoogt niet enkel de OEE, ook wordt de gebruiksvriendelijkheid voor het malwisselproces verbeterd en vermindert de verbetering het aantal klantklachten.

Na het creëren van het concept is er een return on investment berekening uitgevoerd om de verwachte kostenbesparingen te bepalen. Hier is berekend dat het verbeteren van het malplaatsingssysteem jaarlijks € 29.850,00 aan klantklacht onderzoeken zal besparen. Dit vereist een investering van € 19.222,25 en wordt in 7,7 maanden terugverdiend. Dit alles onder de voorwaarde dat alle 4 de lasersnijders gelijktijdig verbeterd worden.

Verder zijn ook de vervolg en implementatiestappen van het concept beschreven in de controlefase.

Tot slot wordt in de discussie beschreven dat het doel in de hoofdvraag niet behaald is. De oorzaak hiervan is dat na analyse van de OEE-data het doel niet haalbaar blijkt. Dan moet de machine namelijk meer uren opereren dan dat deze beschikbaar is.

VOORWOORD

Dit rapport is de einddocumentatie voor mijn afstudeeropdracht bij POLYTEC Composites NL B.V. te Roosendaal. Gedurende mijn afstudeerstagetrject heb ik onderzoek gedaan naar de huidige verliezen en het verbeteren van de lasersnijlijnen 908, 919, 952 en 953.

Dit rapport is geschreven voor een doelgroep met enige technische kennis en begrip over de "Lean filosofie". Hoewel dit niet vereist is, helpt dit wel in het beter begrijpen van het onderzoek.

Bij voorhand zou ik graag een aantal individuen willen bedanken voor hun hulp gedurende mijn stageperiode. Ten eerste wil ik Django Ornek bedanken voor het aanbieden van deze opdracht, stageplek, begeleiding, tijd en expertise. Ten tweede wil ik mijn collega's bij Polytec bedanken voor hun hulp. Ik heb tijdens mijn stage veel geleerd, maar zeker ook veel gelachen. Ten derde wil ik ook zeker mijn HZ begeleider Dhr. Leo Blok en tweede examiner C.J. Ocké bedanken voor hun begeleiding. Hun kritische blik op mijn resultaten hebben mij enorm geholpen met het opleveren van concrete resultaten. Tot slot wil ik alle andere bedanken die mij geholpen hebben gedurende mijn afstudeerstage.

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

Een overzicht van alle afkortingen en symbolen uit het rapport.

Afkorting	Betekenis
OEE	Overall Equipment Effectiveness
POC	Proof Of Concepts
ROI	Return On Investment
TD	Technische Dienst
PLC	Programmable Logic Controller

Tabel 1 Afkortingen

Grootheid	Symbool	Eenheid
Golflengte	λ	Micrometer (μm)
Lengte	l	Millimeter (mm), inch (in)
Omgekeerde lengte	l^{-1}	Diopter = inverse meter (m^{-1}) / Kayser = inverse centimeter (cm^{-1})
Vermogen	P	(mili)Watt (mW)
Tijd	t	Seconde, minuten, uren
Massa	m	Kilogram (kg)
Kracht	F	Newton (N)

Tabel 2 Symbolen

1.	Inleiding	1
1.1.	Achtergrond.....	1
1.2.	Probleemanalyse	1
1.3.	Doelstelling.....	2
1.4.	Probleemstelling.....	2
1.5.	Projectkaders.....	3
1.6.	Structuur.....	3
2.	Theoretisch kader	4
2.1.	CO ₂ laser snijder	4
2.2.	Mallen.....	7
2.3.	Robot arm.....	8
2.4.	Overall Equipment Effectiveness.....	9
3.	Methode	10
3.1.	Verschillende methoden	10
3.2.	Six Sigma en lean	10
3.3.	DMAIC model	11
3.4.	Root cause analyse.....	13
3.5.	Return on investment.....	13
3.6.	Kwaliteitsbewaking.....	13
4.	Resultaten	14
4.1.	Definieerfase	14
4.1.1.	Waarde bepalende elementen	14
4.1.2.	Identificeer de verliezen	15
4.1.3.	Eisen en wensen bepalen en vastleggen.....	15
4.2.	Meetfase	16
4.2.1.	Analyseren en bepalen van meetsysteem voor eisen en wensen	16
4.2.2.	Machine prestaties en verliezen vastleggen	16
4.3.	Analysefase.....	21
4.3.1.	Mogelijke oorzaken van verliezen vastleggen	21
4.3.2.	Root cause analyse.....	22
4.3.3.	Hoofdoorzaken vastleggen	23
4.3.4.	Hoofdoorzaken onderbouwen met data	23
4.4.	Verbeterfase.....	24
4.4.1.	Concept keuze.....	24
4.4.2.	Conceptontwerp	25
4.4.3.	Proof of concept.....	26
4.4.4.	Return on investment	27

4.5.	Controlefase	28
4.5.1.	Nieuw malwisselproces werking	28
4.5.2.	Verandering werkprocedure	28
4.5.3.	Toekomstige prestaties testwijze.....	28
5.	Discussies	29
6.	Conclusies & aanbevelingen	30
6.1.	Conclusies.....	30
6.2.	Aanbevelingen.....	30
	Bibliografie.....	31
	Figurenlijst	33
	Bijlage 1 Lijn 908 en 919 lay-outs + omschrijving	35
	Bijlage 2 Laserklassen overzicht.....	37
	Bijlage 3 OEE-bepaling Polytec	38
	Bijlage 4 Klantklachten.....	39
	Bijlage 5 Storingen, stilstanden en OEE-data 2021	40
	Bijlage 6 BARCO werking.....	41
	Bijlage 7 Maattekeningen inloopstuk	42
	Bijlage 8 Componenten offertes	43

1. INLEIDING

Dit rapport is het eindrapport voor het afstudeerproject bij het bedrijf Polytec Composites te Roosendaal, begeleid door Dhr. D. Ornek. Deze periode is onderdeel van het 4^{de} jaar afstudeerstagetraject van Tom Hanemaaijer, student aan de HZ University of Applied Sciences te Vlissingen.

Dit onderzoek heeft 4 maanden geduurd en betrof het optimaliseren van de lasersnijprocessen bij Polytec Composites te Roosendaal. Het onderzoek kon als volgt omschreven worden. Het vastleggen van het lasersnijproces, de daarbij voorkomende verliezen zoals: stilstand tijd, onderhoudskosten en de OEE (overall equipment effectiveness). Het resultaat was één verbetervoorstel voor het verbeteren van de machineprestaties.

1.1. ACHTERGROND

Polytec Composites is onderdeel van de Oostenrijkse Polytec Group. De Polytec Group is fabrikant van hoogwaardige kunststof onderdelen voornamelijk gericht op de automotive industrie. Wereldwijd heeft de Polytec Group zo'n 3600 werknemers, verspreidt over 4 continenten. Bij de locatie in Roosendaal zijn er ongeveer 300 personeelsleden in dienst. De Polytec Composites fabriek in Roosendaal werkt met een hoge graad van automatisering en produceert voornamelijk composieten¹ afdekpanelen (Figuur 2) voor luxe personenwagens. Het bedrijf richt zich voornamelijk op klanten in het premium segment van de automotive industrie, zoals Daimler, Volkswagen, Jaguar en Land Rover (D. Ornek, 2022).



Figuur 2 Jaguar motor beschermplaat

¹ Composiet betekent naar (Composites, 2022) "twee of meer materialen met duidelijk verschillende fysische of chemische eigenschappen - gecategoriseerd als "matrix" of "versterking" - gecombineerd op een manier om in harmonie te werken, maar toch gescheiden en verschillend blijven op een bepaald niveau omdat ze niet volledig versmelten of in elkaar oplossen."

De Polytec Composites producten worden voornamelijk geproduceerd met behulp van hogedruk persen, waarbij de halffabricaten onder hoge druk in een matrix gevormd worden tot een product. Dit product kan vervolgens opgesneden worden in individuele onderdelen door een lasersnijder.

1.2. PROBLEEMANALYSE

Bij Polytec Composites Roosendaal worden kunststofonderdelen gefabriceerd voor de automotive industrie. Een deel van deze producten wordt gesneden uit een groter geperste kunststofplaat. Dit wordt gedaan met behulp van 4 CO₂ lasersnij installaties namelijk laser 908, 919, 952 en 953. Bij deze installaties wordt een laserstraal opgewekt vanuit een bron en door de assen van een robotarm geleid om uiteindelijk een gatenpatroon of vorm te snijden. Per installatie vinden zo'n 5-10 productwisselingen per week plaats waarbij weer andere programma's en lasermallen nodig zijn (D. Ornek, 2022).

Deze machines hebben onbedoeld wekelijks ondersteuning nodig vanuit proces engineering en storingsmonteurs om continue het proces kwalitatief bij te stellen en/of technische problemen op te lossen. Onder deze problemen vallen scheven gaten patronen, niet uitgesneden gaten, onnauwkeurige snijlijnen, etc. Om zowel de kwaliteit als de effectiviteit van de lasersnijders te verbeteren zal dit onderzoek zich richten op als eerste het huidige proces, alsmede de OEE in kaart te brengen om vervolgens een root-cause analyse uit te voeren zodat een aantal technische verbetervoorstellen ontwikkeld en geïmplementeerd kunnen worden.

In bijlage 1 is de lay-out van lijn 908 en 919 inclusief een procesbeschrijving weergegeven. Deze twee lijnen werken geheel automatisch op het afwerken en afvoeren van het product na. De processtappen in lijn 952 en 953 kunnen als volgt beschreven worden:

- Operator legt het grondproduct op de mal.
- Lasersnijder snijdt de producten uit.
- Operator haalt de producten van de mal.
- Operator werkt de producten af.
- De operator legt de afgewerkte producten in kratten.
- De kratten met producten worden afgevoerd.

1.3. DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is:

1. Verliezen in tijd en kwaliteit bij de lasersnijders te identificeren en te reduceren of elimineren.

Dit kan neerkomen op:

- Het verminderen van storingen om de bedrijfstijd te verhogen.
- Het verbeteren van de ergonomie voor het wisselen van de mallen door de operators bij de lasersnijder.

2. De kwaliteit die de lasersnijder levert te verbeteren.

De verbeteringen kunnen worden getoetst aan de hand van de OEE van het proces en de kwaliteit van de producten. De OEE bestaat namelijk uit de: kwaliteit, snelheid en beschikbaarheid van het proces. Verbeteringen aan het proces zullen zich dus vertalen naar de verbeteringen van deze waarden.

De resultaten van dit onderzoek leiden tot verbeteringen aan de lasersnijders die resulteren in:

- Minder frequent storingen.
- Lagere nood voor correctie onderhoud.
- Minder proces stilstand wegens werkzaamheden of onderhoud.
- Minder vaak nood voor technische dienst of programmeurs.

1.4. PROBLEEMSTELLING

In de paragraaf probleemstelling zullen de hoofd- en deelvragen gedefinieerd worden.

Hoofdvraag: *Hoe kan een gemiddelde OEE van 90% gedurende 1 jaar behaald worden bij de lijn 953?*

Deelvragen:

- Wat en hoe groot zijn de huidige verliezen en problemen?
- Wat zijn de huidige prestaties (OEE) van de lasersnijders gedurende 1 jaar?
- Wat is/ zijn de oorzaken van de verliezen en problemen bij de lasersnijders?
- Wat voor invloeden hebben omliggende factoren zoals mens en andere machines?
- Welke verbeteringen kunnen er gemaakt worden aan de lasersnijder?

Het eindresultaat zal bestaan uit de verbetervoorstellen. Hier zitten 2 eisen en één wens aan vast.

Eisen

1. Het resultaat moet bewezen worden met een proof of concept.
2. De return on investment moet berekend en vastgelegd zijn.

Wens

1. Mits mogelijk in verband met de tijd is een fysieke verbetering gewenst.

1.5. PROJECTKADERS

In deze paragraaf zijn de grenzen van het onderzoek vastgelegd.

- Het onderzoek betreft enkel het verbeteren van het lassersnijproces. Dit proces begint bij het inleggen van het product op de mal en eindigt zodra het eindproduct van de mal wordt gehaald. Processen zoals het persen en afwerken vallen hier dus niet onder. Het persen wordt uitgesloten wegens het feit dat gedurende het jaar 2021 er slechts één keer een probleem was bij het persen op basis van de klachten uit 2021 gerelateerd aan de lijnen 908, 919, 952 en 953 (Figuur 3).
- Tijdens dit onderzoek is de focus gericht op het verbeteren van lijn 953. Lijn 953 heeft van de 4 lasersnijders namelijk de meeste klantklachten
- Mits een fysieke oplossing niet mogelijk is door tijdsgebrek (lange levertijden, niet genoeg resterende tijd voor het einde van de stage etc.) kan in overleg met Dhr. Ornek besloten worden om de verbetervoorstellen met proof of concept (model, simulatie, etc.) als eindproduct te zien.

Datum ontvangst klacht	Week nr	Maand	Jaar	Klant	Vestiging	Klachtenr klant	8D nr klant	Productcode klant	Productcode intern	Index	Klacht geaccepteerd?	Omschrijving	Soort fout
5-1-2021	1	1	2021	Mercedes-Benz AG	China	ntb	ntb	A213 524 5800	MRH213	E04A1	Ja	Bij Daimler China z	Processing failure
9-2-2021	6	2	2021	Land Rover	Castle Bromwich	ET13031497	ET13031497	JX53-01591-BC	BHL152	e18	Ja	Bij Jaguar Castle B	Processing failure
15-2-2021	7	2	2021	MB Truck AG	Wörth	tbd		A9605412910	BAM960	E41	Ja	Bij Daimler Worth z	Processing failure
17-2-2021	7	2	2021	Mercedes-Benz AG	Vitoria	TBD	TBD	A447 680 5404	AUV447	E52	Ja	Bij Mercedes Benz	Processing failure
12-4-2021	15	4	2021	Mercedes-Benz AG	China	V205MF1100105	PS-1429038	A215 524 5800	MRH213	E04A1	Ja	Bij Daimler Beijing z	Processing failure
30-6-2021	26	6	2021	Mercedes-Benz AG	China	104200726094 / 26095		A213 524 5800	MRH213	E04A1	Ja	Bij de klant BBAC	Logistic failure
8-7-2021	27	7	2021	Mercedes-Benz AG	China	CAR_104200729187	CAR_104200729	A213 520 0900	MRVA13	E00A1	Ja	Bij de klant BBAC	Logistic failure
9-7-2021	27	7	2021	Mercedes-Benz AG				A213 524 5800	MRH213	E04 & E04A	Ja	Tijdens kwaliteitsco	Press failure
11-6-2021	23	6	2021	Mercedes-Benz AG	Stuttgart	740108873		A789 3435424	DSL789	S01	Ja	gat 9 mm in plaats v	Processing failure
7-9-2021	36	9	2021	MB Truck AG	Wörth	n.t.b.	n.v.t.	A960 541 2910	BAM960	E41	Ja	Bij Daimler Trucks	Processing failure
#####	43	10	2021	Land Rover	Halewood	SPQ7574	SPQ7574	LK72-589N836-AB	RUT5FT	E01	Ja	Bij Landrover Halev	Processing failure
#####	43	10	2021	Mercedes-Benz AG	Sindelfingen	1469547		A213 524 7100	MRH213	E20	Ja	In Sindelfingen zijn	Logistic failure
4-11-2021	44	11	2021	Land Rover	Halewood	IQM no. 7844	IQM no. 7844	LK72-589N836-BB	RUT5FC	E01	Ja	Team, Bij Landrove	Processing failure
#####	46	11	2021	Mercedes-Benz AG	Berlijn	nmb	nmb	A789 343 3321	DRM789	E01	Ja	product is slecht af	Processing failure
#####	47	11	2021	Jaguar	Castle Bromwich	SPQ8308	n.t.b.	JX53-01591-BC	BHL152	E18	Ja	2 delen gevonden z	Processing failure

Figuur 3 Klantklachten 2021 lijn 908, 919, 952 en 953 (Werner, 2022)

1.6. STRUCTUUR

Dit rapport begint met het onderzoeksvoorstel. Vervolgens zullen de bevindingen gedurende het project per fase van DMAIC (definieer, meet, analyseer, verbeter en controleer) beschreven worden. Daarna komt het hoofdstuk discussies. Hier is er gereflecteerd op de resultaten. Als volgt komen de conclusies en aanbevelingen. Hier worden de conclusies die getrokken zijn op basis van het onderzoek en eventuele aanbevelingen voor het vervolgen van het onderzoek vastgelegd. Tot slot zijn er de bibliografie, figurenlijst en bijlagen.

2. THEORETISCH KADER

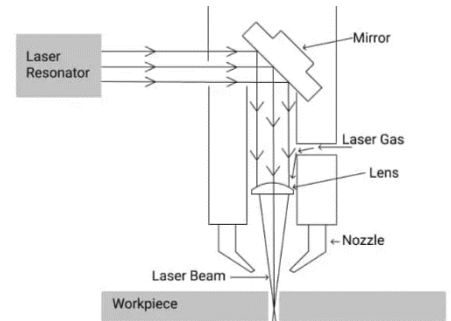
In het theoretisch kader is kennis vastgelegd om zo een beter beeld te krijgen op het onderzoek.

2.1. CO₂ LASER SNIJDER

Er wordt als eerste verdiept op CO₂ lasersnijders omdat dit het hoofdzakelijke deel is van het onderzoek.

Werking CO₂ lasersnijder

De lasersnijders bij Polytec zijn allemaal CO₂ lasersnijders en werken als volgt. Een CO₂-lasersnijder begint zijn proces met het genereren van een laserstraal. Deze laserstraal wordt door een reeks lenzen en spiegels herleidt naar het kopstuk (Figuur 4). In het kopstuk zit een lens die de laserstraal convergeert op het te snijden werkstuk. Het kenmerk van een CO₂-lasersnijder is de toevoeging van een gas of gas mix. In het geval van zacht staal wordt voornamelijk pure zuurstof gebruikt, in het geval van aluminium of roestvast staal wordt voornamelijk stikstof gebruikt (Velling, 2020).

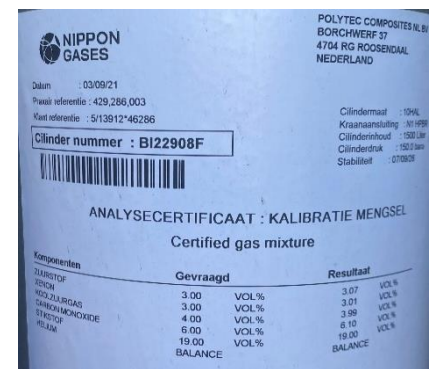


Figuur 4 CO₂ laser snijder kopstuk (Velling, 2020)

Gassamenstelling

De gassamenstelling van het gas bij Polytec is als volgt:

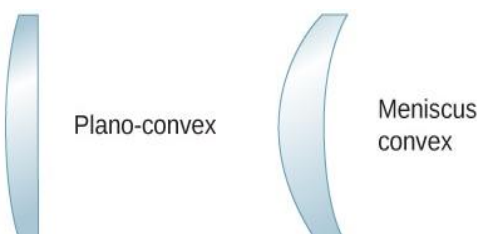
3% Zuurstof, 3% Xenon, 4% Koolstofdioxide, 6% Koolstofmonoxide, 19% Stikstof en 65% Helium (Figuur 5).



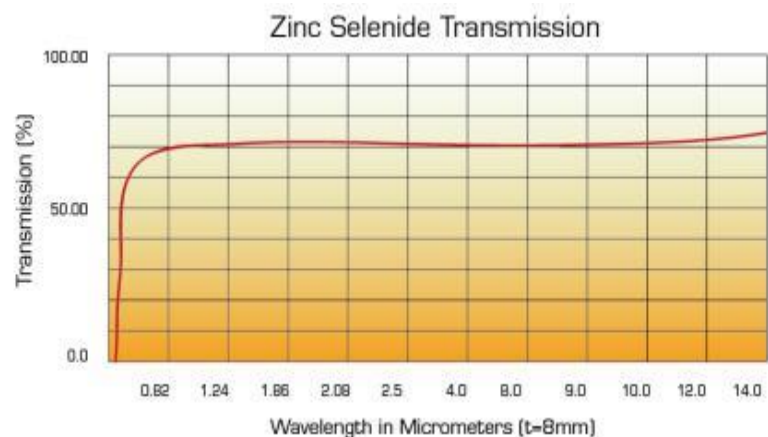
Figuur 5 Polytec gasfles samenstelling

De reden voor het gebruiken van zinc selenide bij Polytec is dat zinc selenide een lage absorptie coëfficiënt heeft. Namelijk 0.0005 cm^{-1} bij $10.6 \mu\text{m}$ (Crystran, 2019) en hoge thermische schokbestendigheid, echter is het nadeel wel dat het materiaal relatief zacht is en dus snel beschadigt (Hyperion optics, 2022). In Figuur 7 is de licht transmissie door zinc selenide te zien bij verschillende golf lengtes. Hieruit maakt (Hyperion optics, 2022) op dat zinc selenide ideaal is bij een golflengte tussen de 0,5 en $22 \mu\text{m}$.

Gallium arsenide lenzen presteren in de aspecten van absorptie coëfficiënt en licht transmissie minder, echter hebben lenzen van gallium arsenide een hogere hardheidsgraad, hierdoor zijn ze beter geschikt voor robuustere en meer vervuilde omgevingen (II-VI, 2022).



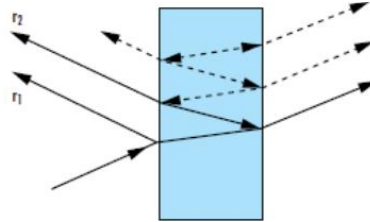
Figuur 6 Plano-convex en Meniscus convex lenzen (phys libretxts, 2018)



Figuur 7 Zinc selenide licht transmissie (Hyperion optics, 2022)

Anti-reflection coating

De lenzen bij polytec hebben allemaal een anti-reflectie (AR) coating. Wanneer licht door een veranderd medium gaat bijvoorbeeld van lucht naar glas gaat er een deel van het licht verloren waardoor de totale transmissiehoeveelheid lager wordt (Figuur 8). In het geval van lucht naar ongecoat glas is er per overgang 4% verlies, dus per lens is dit 8%. Deze verliezen komen door fresnel reflectie. Fresnel reflectie is simpel gezegd het feit dat tijdens de overgang van medium een deel van het licht wordt weggekaatst. Om deze verliezen tegen te gaan hebben de lenzen bij Polytec een anti-reflectie coating. Eenvoudig gezegd zorgt deze coating ervoor dat de weerkaatste lichtstralen nogmaals weerkaatst worden zodat ze het medium aan de gewenste kant verlaten (Edmund Optics, 2022).

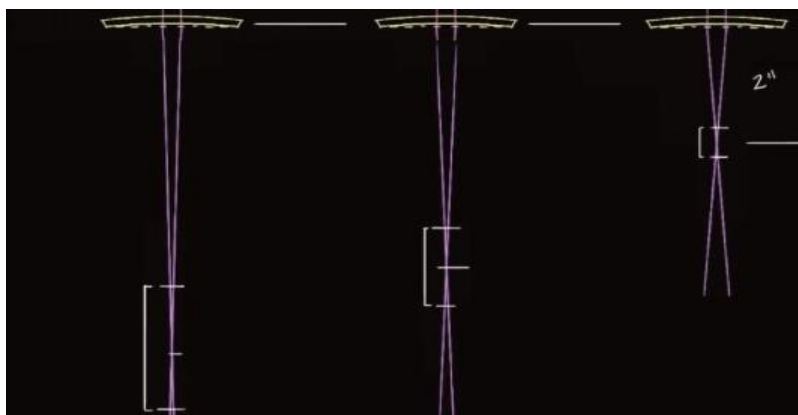


Figuur 8 Fresnel reflecties bij medium overgang (Edmund Optics, 2022)

Brandpunt

Het brandpunt van een lens is het punt waar alle lichtstralen die door de lens gaan convergeren in 1 punt. Bij Polytec is dit bij lijn 919, 952 en 953 een brandpuntafstand van $127.0/5'' (3,2e^3/127) = 25,4$ mm. Bij lijn 908 wordt een $3,75'' * 1,5''$ focuslens gebruikt. Deze heeft een brandpuntsafstand van $1,5'' = 38,1$ mm.

De brandpuntsafstand is voor lasersnijders van belang bij het snijden van verschillende soorten materialen en diktes. Lenzen met een verdere brandpuntafstand zijn beter geschikt voor het snijden van dikkere materialen omdat de laserstraal over een grotere afstand gefocust blijft. Echter bij dunnere materialen is het lastiger om het brandpunt op het materiaal te focussen omdat de laserstraal zo smal is, hiervoor is een lens met een korter brandpunt meer geschikt. Deze heeft een duidelijker brandpunt zie Figuur 9 (PHD Robotics, 2020).



Figuur 9 Lenzen met verschillende brandpuntafstanden (PHD Robotics, 2020)

Opwekking laserstraal

Een laserstraal wordt als volgt gegenereerd. Een elektrischestroom exciteert¹ de stikstof moleculen in het gas mengsel. Stikstof wordt hiervoor gebruikt omdat een eigenschap van stikstof is dat het langdurig een opgewonden toestandt kan vasthouden zonder energie te verliezen in de vorm van fotonen of licht. De hoge vibraties van stikstof wekken vervolgens de koolstofdioxidemoleculen op. Hierdoor komt het systeem in een toestand van populatie-inversie². Tot slot moeten de geëxciteerde stikstof moleculen hun energie vrijlaten in de vorm van fotonen om zo een lichtstraal te produceren. Dit wordt gedaan door ze in contact te brengen met zeer koude helium atomen. De resulterende lichtstralen worden door een gespiegelde buis geleid. Hierin bouwt de lichtintensiteit op. Wanneer de intensiteit hoog genoeg is kan het licht door de semi reflecterende spiegel naar buiten (Iamscience, 2022).

¹ Betekenis exciteren volgens (Kernerman Dictionaries, 2022) 'Een elektron of atoom) naar een hoger energieniveau brengen'.

² Betekenis populatie-inversie volgens (Svelto, 1998) Populatie-inversie houdt in dat in een volume materie een grootter aantal atomen in aangeslagen toestand zijn dan in de grondtoestand.

Spiegels

De spiegels voor het weerkaatsen van de laserstraal kunnen gemaakt worden van verschillende materialen zoals: Silicium, Koper, Siliciumcarbide en Beryllium. Deze kunnen vervolgens gecoat worden afhankelijk van de toepassing waarvoor de laser gebruikt gaat worden. Bij Polytec wordt gebruik gemaakt van gepolijste koperen spiegels (Figuur 10) en goud gecoate siliconen spiegels (Figuur 11). Het voordeel van koper is dat het een hoge thermische geleiding heeft (Pleiger laseroptik, 2021). Goud gecoate siliconen spiegels zijn erg geschikt voor toepassingen met hoge vermogens (Clouday industrial solutions, 2022).



Figuur 10 Koperen spiegels (Sumitomo electric, 2022)

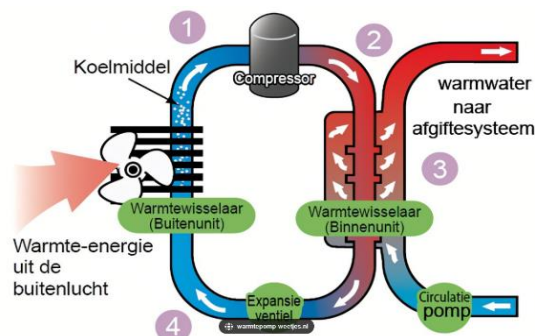


Figuur 11 Goud gecoate silicone spiegels (Clouday industrial solutions, 2022)

Koeling

Bij CO₂-lasersnijders moeten een aantal componenten gekoeld worden. Namelijk de spiegels, lenzen, laserbron en de besturingskast. De gehele machine met uitzondering van de besturingskast is vloeistof gekoeld.

Afhankelijk van het wattage van de CO₂-lasersnijder kan er actief of passief gekoeld worden. Een passief gekoelde lasersnijder circuleert een koelmiddel (water met of zonder toevoeging) langs een radiator met een ventilator. Actieve koeling (Figuur 12) daarentegen werkt door actief warmte te onttrekken uit het systeem doormiddel van een koelmiddel, condensor en compressor. Polytec maakt gebruik van een Rittal Top Therm koeler voor hun besturingskasten, dit is een actieve koeler. Bij lagere vermogens is passieve koeling voldoende, maar bij een vermogen van 100W en hoger is actieve koeling vereist (Laseruser, 2022).



Figuur 12 Actief koelen (Weetjes.nl,

Laserklassen

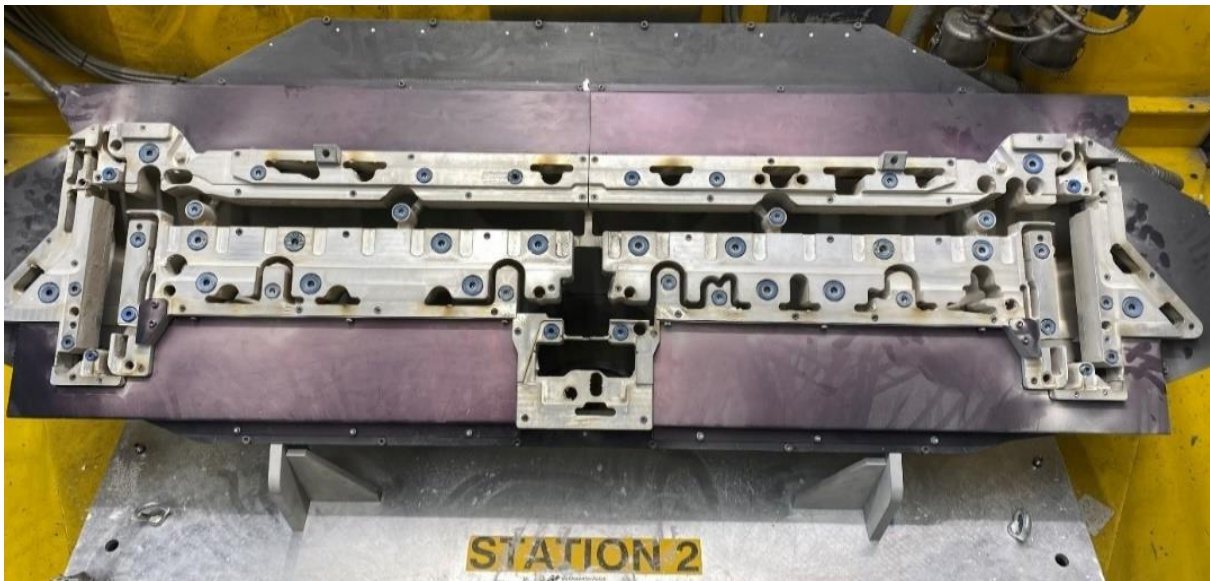
Laserklasse delen verschillende soorten lasers op in groepen op basis van het risico wat ze meedragen. De klasse van de lasersnijders en dus ook die bij Polytec is klasse 4. Dit is tevens ook de gevaarlijkste laserklassen. Klasse 4 houdt in dat de laserstraal een vermogen van boven de 500 mW heeft en zowel directe als indirecte blootstelling hieraan schadelijk is voor een mens, tevens houdt dit ook in dat de laser genoeg vermogen heeft om materialen in zijn omgeving te doen ontsteken. Alle laserklassen zijn in volgorde van minst naar meest gevaarlijk: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B en 4. Voor een gedetailleerd overzicht van iedere klasse zie bijlage 2.

2.2. MALLEN

De mallen (Figuur 13) spelen een cruciale rol in het lasersnijproces en hebben tevens een significante invloed hierop. Om deze reden zal er verder worden ingegaan op de mallen.

Een mal ook wel matrijs genoemd wordt voornamelijk veel gebruikt in de pers industrie. De mal is een negatieve vorm van het gewenste product. Dit betekent dat de vorm van het product is uitgehold in de mal of gebold naar de vorm van het product. De toepassing van mallen bij het lasersnijders focust op het nauwkeurig vasthouden van de te snijden producten en het afvoeren van de laserstraal.

Het ontwerpen en bouwen van matrijzen wordt gedaan door specialisten in mechanische vormgevingstechnieken. Dit is zeer nauwkeurig werk. De delen van een mal worden gemaakt voor machinaal draaien en frezen met hoge nauwkeurigheid. Deze delen worden met schroefverbindingen bevestigd of in sommige gevallen gelast. Wanneer het gelast wordt moet dit wel door experts gedaan worden omdat tijdens het lasproces de mal kan vervormen door hitte (Geertsma, 2014).



Figuur 13 Lasersnijder 953 mal

2.3. ROBOT ARM

Als het aankomt op industriële robotarmen dan zijn er een aantal verschillende technieken. Voor de lasersnijders bij Polytec wordt bij lijn 908, 952 en 953 gebruik gemaakt van een gelede robotarm (articulated robotarmen) (Figuur 14). Deze maken gebruik van roterende verbindingen. Een gelede robotarm kan verschillen in het aantal roterende verbindingen, echter is de meest voorkomende een arm met 6 roterende verbinding (Robots Done Right, 2022).

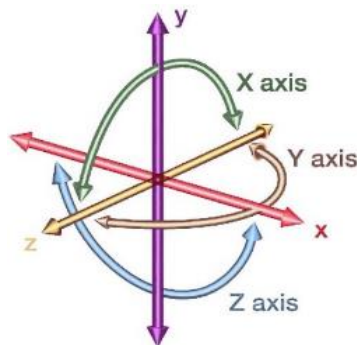
Het grootste voordeel van gelede robotarmen is dat ze 6 vrijheidsgraden hebben. Dit houdt in dat de arm zowel lineair in de X, Y en Z richting kan bewegen als dat hij kan roteren om deze X, Y en Z richtingen (Figuur 15).

De uitzondering is lijn 919. Hier wordt gebruik gemaakt van een Cartesian coordinate robot (Figuur 16). Deze robots opereren in lineaire richtingen. Zoals de naam al zegt opereren ze volgens het cartesiaan coördinatensysteem. Dit systeem werkt volgens X, Y, en Z coördinaten. Bijvoorbeeld 3 in de X richting, 5 in de Y richting en 2 in de Z richting. Dit resulteert in de coördinaat (3, 5, 2). Afhankelijk van waar de oorsprong ligt kunnen deze coördinaten uit zowel positieve als negatieve getallen bestaan.

Polytec robotarmen komen van Reis Robotics en zijn uitgerust met lasersnij uitrusting, denk hierbij aan een laserbron, spiegels, lens, etc.



Figuur 14 Articulated robot arm
(Fanuc, 2022)



Figuur 15 X, Y, Z voorbeeld
(packshotcreator, 2022)



Figuur 16 Cartesian coordinate robot lijn 919

Nadelen:

De aansturing voor gelede robotarmen is van zichzelf niet complex, echter door de vele roterende delen en het feit dat er geen lineair verband is tussen de positie van de hand en de draaiing van de roterende verbindingen. Is het een stuk lastiger om coördinaten (instructies) over te brengen naar de robotarm. Verder zijn er ook een aantal posities in het werk gebied van de robotarm waar hij minder vrijheidsgraden heeft. Dit komt wederom door het missende lineair verband tussen de hand en de roterende delen. Tot slot kunnen gelede robotarmen uitermate snel opereren, echter door de omvang, gewicht en bewegingsvrijheid van de machine vereist de aansturing van de robot complexe kinematica om efficiënt te opereren (Chakraborty, 2022).

Voordelen:

Gelede robotarmen zijn heel universeel te plaatsen. Ze kunnen verticaal, horizontaal of onder een hoek worden geplaatst. Dit komt door het feit dat ze onafhankelijk van een frame opereren. Om deze reden kunnen ze ook eenvoudig worden verplaatst en ergens anders gebruikt worden. Gelede robotarmen kunnen uitermate snel werken mits er rekening wordt gehouden met de kinematica. De robotarmen zijn ongekend accuraat, zowel bij enkele opdrachten als bij een herhaaldelijk proces. Tot slot zijn ze ook ideaal voor het overnemen van processen in gevaarlijke omgevingen zoals bij hoge temperaturen, chemicaliën, etc. (Chakraborty, 2022).

2.4. OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

OEE (overall equipment effectiveness) is een standaard in de productie-industrie die gebruikt wordt voor het weergeven van de efficiëntie en effectiviteit van productieprocessen. In zijn essentie legt het de tijd vast dat het proces daadwerkelijk werk levert in relatie tot dat het proces niet werkt (Vorne, 2021).

De OEE wordt berekend op basis van 3 variabelen namelijk:

A = Availability

$Availability = Run\ Time / Planned\ Production\ Time$

$Run\ Time = Planned\ Production\ Time - Stop\ Time$

Planned Production time is de tijd die gepland staat voor het proces om te werken.

Run Time is zoals de naam al zegt de tijd dat het proces daadwerkelijk loopt.

Stop Time bestaat uit de tijd waarin het proces stilstaat terwijl het actief moet zijn (ploeg wissel, storingen).

P = Performance

$Performance = (Ideal\ Cycle\ Time \times Total\ Count) / Run\ Time$

Ideal Cycle Time is de snelste productiecyclus tijd die het proces kan behalen in optimale omstandigheden.

Total Count is het totaal aantal geproduceerde producten.

Q = Quality

$Quality = Good\ Count / Total\ Count$

Good Count zijn het aantal goed geproduceerde producten.

OEE

Deze variabelen vormen samen de formule voor de OEE

$OEE = Availability \times Performance \times Quality$

(Vorne, 2021)

Binnen Polytec heeft OEE 2 definities. Echter ligt het belang bij de 2^{de} definitie.

- OEE 1 = 24-uurs OEE

Het 24-uurs OEE omvat alle machinestilstanden die leiden tot ongeplande capaciteiten door ontbrekende orders of verliezen als gevolg van ploegdienstpatronen.

Weekendwerkdagen zijn inbegrepen met 24 uur indien er in 1 of meer ploegen gewerkt werd.

- OEE 2 = Operationele OEE

De operationele OEE houdt rekening met de periode van beschikbare bedrijfstijd

(geplande bedrijfstijd = bruto tijd - verliezen als gevolg van ploegenmodellen - verliezen als gevolg van ontbrekende orders).

Het is belangrijk om te weten dat binnen Polytec de term geplande productietijd staat voor alle tijd dat het proces actief kan zijn. Dus zolang er een ploeg en een order is kan het proces actief zijn.

Zie bijlage 3 voor een overzicht.

3. METHODE

In dit hoofdstuk wordt de gekozen methode voor dit onderzoek toegelicht en tevens welke andere methode zijn overwogen. Er is gekeken naar methoden zoals het V-model, DMAIC-model, Oskam en Delft design guide. Onderstaand is een korte beschrijving van de kenmerken van iedere methode.

3.1. VERSCHILLENDE METHODEN

V-model

Het V-model is een methode die bekend staat om het constante controleren en testen van voortgang. Deze methode is voornamelijk geschikt voor programmeer opdrachten of opdrachten met meerdere complexe subsystemen.

DMAIC (lean six sigma methode)

DMAIC-model (define, measure, analyse, improve, control) is erg gefocust op het verwerken van data en het optimaliseren van processen. Het focust erg op het definiëren van de omvang en invloed van het probleem, hierdoor kan er gericht gewerkt worden naar een oplossing met een zo groot mogelijke invloed.

Oskam

De Oskam methode legt zijn focus op het creatieve aspect van ontwerpen en stimuleert het 'out of the box denken' en is om deze reden veel bezig met brainstormen en het genereren van ideeën.

Delft design guide

De Delft design guide focus op het realiseren van een ontwerpopdracht. Het legt nadruk op het definiëren van het probleem maar ook op het uitwerken tot een realistisch product.

Conclusie

Na overweging van boven genoemde methoden, de aard van het onderzoek en advies vanuit Polytec is ervoor gekozen om dit onderzoek uit te voeren volgens het DMAIC-model gebaseerd op de lean six sigma methode. Dit is een stappenplan om de kwaliteit van resultaten bij bedrijfskundige processen te verbeteren (The lean six sigma company, 2022). Dit model wordt hieronder verder toegelicht.

3.2. SIX SIGMA EN LEAN

Hier is een korte uitleg gegeven over six sigma en lean manufacturing.

Six sigma is ontworpen in 1986 door Motorola. Het doel bij het ontwerpen van deze methode was het verminderen van variatie doormiddel van procesgeoriënteerde technieken. De typische aanpak hiervoor was het samenstellen van een team dat zich fulltime deed richten op het realiseren van grootschalige besparingen binnen het proces. (Bokhoven, 2010)

Lean manufacturing is het toepassen van visies en technieken om verspilling te verminderen en toegevoegde waarde te vergroten. (Bokhoven, 2010)

De DMAIC-methodiek is gericht op six sigma en lean manufacturing. Het legt systematisch de huidige situatie vast en werkt hiermee naar verbeteringen toe. Dit staat verder beschreven in 3.3.

3.3. DMAIC MODEL

Hier is het DMAIC-model (Figuur 17) beschreven met aanpassingen voor het huidige onderzoek.

Definieerfase

In de definieerfase staan de volgende 2 stappen centraal:

- Projectselectie en scope

Voor het uitvoeren van de eerste stap zijn de volgende punten van belang:

- Identificeer de waarde bepalende elementen van de machine
- Identificeer de verliezen
- Onderzoek de lijst met mogelijkheden
- Eisen en wensen vastleggen

De definieerfase focust op deelvraag 1 *‘Wat en hoe groot zijn de huidige verliezen en problemen?’*

Hier zullen klantklachten onderzocht worden en gesproken worden met betrokkenen zoals operators en programmeurs.

Meetfase

In de meetfase is het van belang om het defect te definiëren, de prestaties van de machine vast te leggen, verbeterdoelen te bepalen en een meetsysteem op te stellen om zo de progressie richting het einddoel en het einddoel zelf te toetsen.

Binnen de meetfase staan de volgende stappen centraal:

- Het bepalen en analyseren van meetsysteem voor eisen en wensen
- Machineprestaties en verliezen vastleggen
- Doelstelling op basis van machineprestaties

In de meetfase wordt deelvraag 1 beantwoordt, hier wordt namelijk de omvang van de problemen vastgelegd. Denk hierbij aan het bepalen van de programmeertijd, malwisseltijd en onderhoudskosten. Ook wordt deelvraag 2 *‘Wat zijn de huidige prestaties (OEE) van de lasersnijders gedurende 1 jaar?’* beantwoordt. Tot slot wordt de OEE-data van 2021 onderzocht en vastgelegd.

Analysefase

In de Analysefase worden de procesgrenzen (inputs) vastgelegd en hun gevolgen op de procesresultaten (outputs). Hierin staan de volgende twee stappen centraal:

- Mogelijke oorzaken van verliezen vastleggen.
- Hoofdoorzaken vastleggen en onderbouwen met data.

In de analysefase wordt deelvraag 3 *‘Wat is/ zijn de oorzaken van de verliezen en problemen bij de lasersnijders?’*

beantwoordt. Hier zullen de oorzaken van de problemen en verliezen bepaald worden doormiddel van een root cause

analyse. Ook wordt deelvraag 4 *‘Wat voor invloeden hebben omliggende factoren zoals mens en andere machines?’*

beantwoordt. Dit zal gedaan worden op basis van het observeren van het procesverloop, de operator, onderhoud, etc. Ook zullen conversaties gevoerd worden met de operators en monteurs over onder andere ergernissen en problemen die zij ervaren.

Verbeterfase

In de verbeterfase worden de daadwerkelijke verbetering bedacht en ontworpen. Het is van belang dat de oplossingen getoetst worden aan de eisen, tevens moeten de verwachte resultaten worden vastgelegd. Tot slot moeten ook de kosten en risico's worden vastgelegd.

Bij de verbeterfase zal deelvraag 5 'Welke verbeteringen kunnen er gemaakt worden aan de lasersnijder?' beantwoord worden door het creëren van verbetervoorstellen op basis van de resultaten van de root cause analyses. Er zal gebrainstormd worden over manieren om de probleem oorzaken aan te pakken. Hierbij horen ook de return on investment berekeningen en proof of concepts.

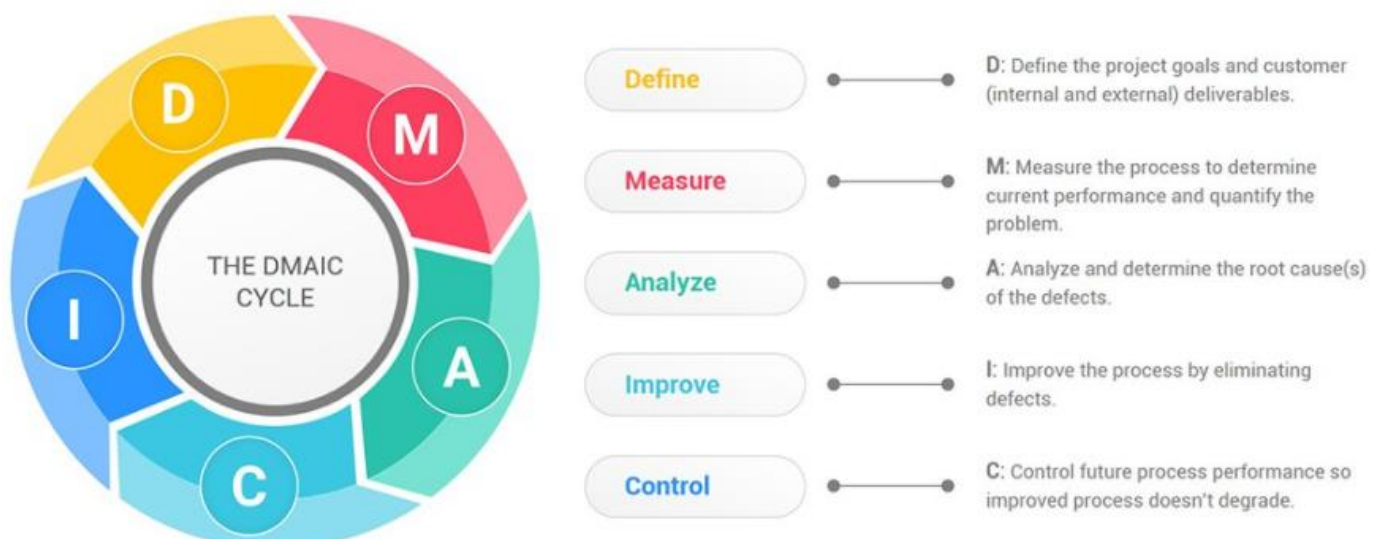
Controlefase

De controlefase is de afrondende fase. Hier wordt het verbetervoorstel dat gekozen is op basis van zijn potentie voor het reduceren van klachten/problemen geïmplementeerd en vastgelegd. Voor iedere hoofdoorzaak wordt beschreven hoe deze wordt opgelost. Vervolgstappen worden vastgelegd zoals verantwoordelijke voor het vervolg, onderhoudsacties, etc. Tot slot wordt hier ook vastgelegd hoe de toekomstige prestaties worden getest.

(Lean six Sigma group, 2022)

(Shankar, 2009)

(Prasath, 2013)

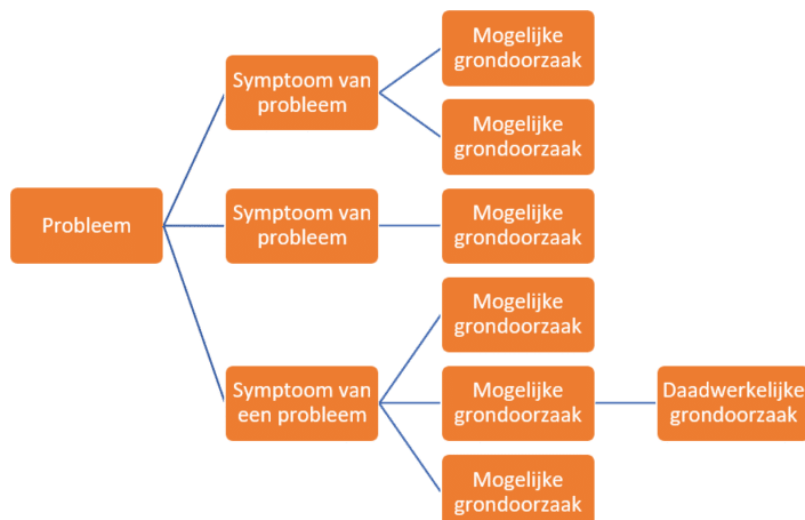


Figuur 17 DMAIC cycle (Nulivo, 2022)

3.4. ROOT CAUSE ANALYSE

In de analyse fase zal een root cause analyse (RCA) worden uitgevoerd. Een RCA is een systematische aanpak om de oorzaak van een probleem te achterhalen doormiddel van het duidelijk vastleggen van het probleem, de bijkomende symptomen en de oorzaken van deze symptomen (Figuur 18). Op deze manier kan het probleem doorgrond worden waardoor er een duidelijker pad gecreëerd kan worden richting de oplossing (Lean six Sigma group, 2022).

De RCA zorgt ervoor dat in plaats van het oplossen van symptomen, het probleem echt wordt opgelost.



Figuur 18 Root cause analyse (Lean six Sigma group, 2022)

3.5. RETURN ON INVESTMENT

Een van de eisen voor het eindresultaat van dit onderzoek is een return on investment (ROI) berekening. Dit is een berekening waar de (verwachte) kosten en de (verwachte) opbrengsten bepaald worden. Vervolgens worden deze (verwachte) opbrengsten gedeeld door de (verwachte) kosten en tot slot vermenigvuldigd met 100%. Als de uitkomst boven de 100% is dan is de investering puur op basis van kosten en baten het waard. Is de uitkomst onder de 100% dan niet (Corporatefinanceinstitute, 2022).

3.6. KWALITEITSBEWAKING

Om de kwaliteit, haalbaarheid en het doel van het onderzoek in lijn te houden met de opdracht vanuit Polytec zal aan het einde van iedere DMAIC-fase met een multidisciplinair panel worden samengezeten om de resultaten van de voltooide fase te presenteren. Dit panel zal bestaan uit de volgende mensen:

Django Ornek	–	Head of Maintenance
Jacco Stoel	–	Head of production
Frits Raats	–	Team Leader Launch Management
Musa Arramdani	–	Team Member Maintenance Mechatronic (programmeur lasersnijders)
Edgar Braspenning	–	Team Member Maintenance Mechanical (monitoring lasersnijders)

4. RESULTATEN

In dit hoofdstuk zijn de resultaten per methode fase beschreven. Aan het eind van iedere fase zijn ook de relevante deelvraag(en) bijhorend aan die fase concreet beantwoordt.

De keuze voor het beschrijven van de resultaten per fase in plaats van per deelvraag is gemaakt om de methode duidelijk in beeld te houden in het rapport. Tevens creëert het een beter beeld van het proces dat is doorlopen om de resultaten te bereiken.

4.1. DEFINIEERFASE

In de definieerfase zijn de doelen van het project, de verwachtingen van de klant en informatie over het productieproces vastgelegd.

4.1.1. WAARDE BEPALENDE ELEMENTEN

In deze paragraaf zijn de waarde bepalende elementen van het proces bepaald en vastgelegd. Dit doel is bereikt doormiddel van onderzoek naar de voordelen van lasersnijders ten opzichte van andere productiemethodes zoals stansen en overleg met Dhr. D. Ornek. Tot slot is ook geanalyseerd welke invloed verschillende elementen hadden op de kwaliteit van de eindproducten.

De resultaten van dit onderzoek zijn de volgende waarde bepalende elementen:

- **Nauwkeurigheid (laser):**
De nauwkeurigheid van de lasersnijder beïnvloedt de kwaliteit van het eindproduct. Als de lasersnijder onnauwkeurig snijdt resulteert dit in een scheef gatenpatroon of golvende snijcontour. De toelaatbare afwijking varieert per product, echter is dit gemiddeld 3 mm. Wanneer de afwijking groter is leidt dit tot de afkeur van het product.
- **Nauwkeurigheid (mal):**
De nauwkeurigheid van positionering van de mal beïnvloedt de kwaliteit van het eindproduct. Wanneer de mal scheef is geplaatst zal het gehele snijpatroon afwijken naar één richting wat leidt tot de afkeur van het product.
- **Snelheid:**
De snelheid van de lasersnijder en operator samen bepaalt het aantal producten dat verwerkt kan worden in een gegeven tijd. Zeker in het geval van grote productie hoeveelheden kan een seconde per product al veel verschil maken.
- **Beschikbaarheid:**
De beschikbaarheid van de machine komt voort uit wanneer de machine operationeel kan zijn. De beschikbaarheid kan negatief beïnvloed worden door bijvoorbeeld: storingen of ongepland onderhoud. Hoe groter de beschikbaarheid is, des te vaker de machine operationeel kan zijn en dus meer kan produceren.
- **Flexibiliteit (verschillende producten)**
De flexibiliteit van de machine wordt bepaald door zijn mogelijkheid om meerdere verschillende producten te verwerken en hoe soepel de machine dit kan doen. Dit is een zeer waardevolle eigenschap, zeker voor de klant omdat wijzigingen in het product relatief makkelijk doorgevoerd kunnen worden. Dit beïnvloedt echter meerdere bovenstaande elementen. Neem bijvoorbeeld het wisselen van producten, dit zorgt voor stilstand wat de beschikbaarheid op negatieve wijze beïnvloedt. Wanneer het wisselen niet correct wordt uitgevoerd kan dit de nauwkeurigheid op negatieve wijze beïnvloeden.

4.1.2. IDENTIFICEER DE VERLIEZEN

Om de verliezen/problemen bij de machine te identificeren zijn operators, de opdrachtgever, technische dienst (TD) monteurs en programmeurs ondervraagt. Verder zijn ook klantklachten onderzocht.

Uit dit onderzoek kwamen de volgende verliezen/problemen voort:

Oorzaken (problemen):

- Incorrecte mal plaatsing (opdrachtgever)
- Vervuiling onder de mal (programmeur lasersnijders).
- Vervormde/beschadigde mallen (programmeur lasersnijders).
- Missende of slecht passende onderdelen mal.
- Vervuilde/ beschadiging lenzen en spiegels (TD lasersnijder monitoring).
- Afstelling lenzen en spiegels (TD lasersnijder monitoring).
- Vacuümsysteem van mal (operator).
- Lange duur van product programmeren op de mal (opdrachtgever).

Gevolgen (gevolgen problemen):

- Afwijking laser contour (klantklacht)
- Afwijking snijpatroon (klantklacht)
- Producten die niet goed zijn doorgesneden (operators)
- Stilstand door ongelukken.

De problemen rondom de lenzen en spiegels zijn al een actief werkpunt bij Polytec. Deze worden om de week (Lijn 952, 953 en 908) of wekelijks (lijn 919) gecontroleerd en werk aan verricht waar nodig. Tevens wordt het vermogen gemeten om het vermogensverlies in de robotarm bij te houden. Meestal komt het onderhoud van lenzen en spiegels neer op poetsen, vervangen bij schade of het uitlijnen ervan.

Wanneer bovenstaande problemen worden vergeleken met elkaar hebben bijna alle problemen de lasermallen als gemeenschappelijke factor. Wat het exacte probleem is met de lasermallen is geanalyseerd doormiddel van de RCA (4.3.2).

4.1.3. EISEN EN WENSEN BEPALEN EN VASTLEGGEN

In overleg met de opdrachtgever zijn eisen vastgesteld aan het eindresultaat. Deze zijn hieronder beschreven.

- 1 De slechts presterende machine moet op een jaar basis een gemiddelde OEE van 90% of hoger behalen.
- 2 Ongeacht wat de oplossing wordt moet er een return on investment (R.O.I.) berekening worden uitgevoerd en vastgelegd.
- 3 Het resultaat moet onderbouwt worden met een proof of concept (P.O.C.).

In de definieerfase is deelvraag 1 'Wat en hoe groot zijn de huidige verliezen en problemen?' deels beantwoord. Hier is namelijk in paragraaf 4.1.2 behandeld wat de problemen zijn.

Het hoofdzakelijke probleem is dat producten incorrect worden geproduceerd. Dit houdt in dat het gatenpatroon afwijkt, de snijlijnen scheef zijn, het product niet compleet is doorgesneden etc.

4.2. MEETFASE

In de meetfase zijn de prestaties van de machine en de omvang van de problemen vastgelegd gedurende het onderzoek.

4.2.1. ANALYSEREN EN BEPALEN VAN MEETSYSTEEM VOOR EISEN EN WENSEN

Hier is beschreven hoe de eisen voor het eindresultaat gemeten zijn. Aangezien de eisen neerkomen op opleverdoelen zijn dit niet direct meetbare eisen. Daarom is beschreven hoe deze opleverdoelen behaald zouden worden.

Eis nummer 1 werd gemeten door de individuele waarde waaruit OEE bestaat te meten. Het ging hierbij om beschikbaarheid van de machine, snelheid van het proces en de kwaliteit van het proces (aantal afgekeurde producten). Omdat gedurende het stagetrajec de oplossing niet voor een jaar getest kon worden. Werden de waardes van het afgelopen jaar geanalyseerd en hiermee werd berekend welk percentage nodig was om aan de eis te voldoen. Vervolgens is onderzocht hoe deze waardes consistent bereikt konden worden.

Eis nummer 2 was een opleverdoel maar wel een doel met een concrete wijze om deze te berekenen. De (verwachte) kosten en de (verwachte) opbrengsten werden bepaald. Vervolgens werden de (verwachte) opbrengsten gedeeld door de (verwachte) kosten en tot slot vermenigvuldigd met 100%. Bij een resultaat van 100% of hoger was de investering puur op basis van koste en baten het waard.

Eis nummer 3 was ook een opleverdoel en tevens sterk afhankelijk van het eindresultaat. In het geval van een resultaat dat gebaseerd was op fysieke wijzigingen aan de machine konden er bijvoorbeeld krachtberekeningen en simulaties worden uitgevoerd, maar in het geval van een verandering in de uitvoeringen door operators kon bijvoorbeeld het proces getimed worden.

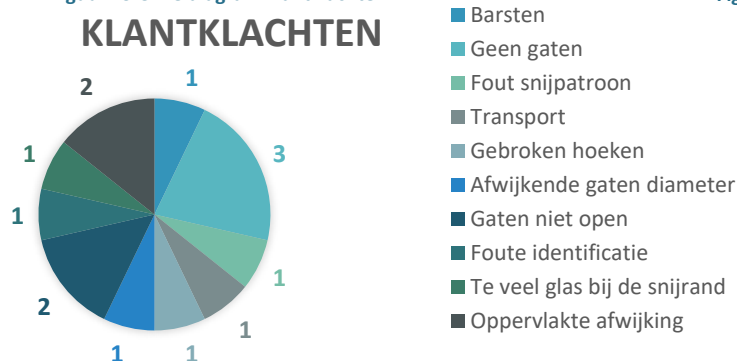
4.2.2. MACHINE PRESTATIES EN VERLIEZEN VASTLEGGEN

De omvang en huidige situatie van de problemen en verliezen was geanalyseerd. De resultaten zijn hieronder beschreven en weergegeven in verschillende diagrammen. Deze diagrammen zijn opgesteld op basis van: klantklachten, OEE-cijfers, onderhoudskosten en de programmeerprocedure.

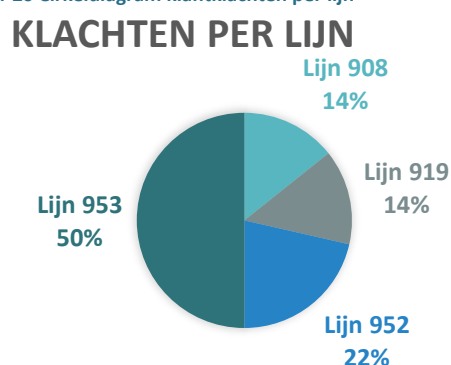
Klantklachten

Na het analyseren van de klantklachten 2021 (bijlage 4) zijn de resultaten verwerkt in cirkeldiagrammen (Figuur 19 en Figuur 20). Op basis van klantklachten 2021 is geconcludeerd dat de meeste problemen ontstaan bij lijn 953. Dit kon verklaard worden door het feit dat deze lasersnijder de meeste productwisselingen ondergaat. Deze conclusie was gebaseerd op het feit dat lijn 952 en lijn 953 identiek zijn. Het enige verschil is dat lijn 953 2,5 maal meer productwisselingen ondergaat dan lijn 952 (bijlage 5).

Figuur 19 Cirkeldiagram klantklachten



Figuur 20 Cirkeldiagram klantklachten per lijn



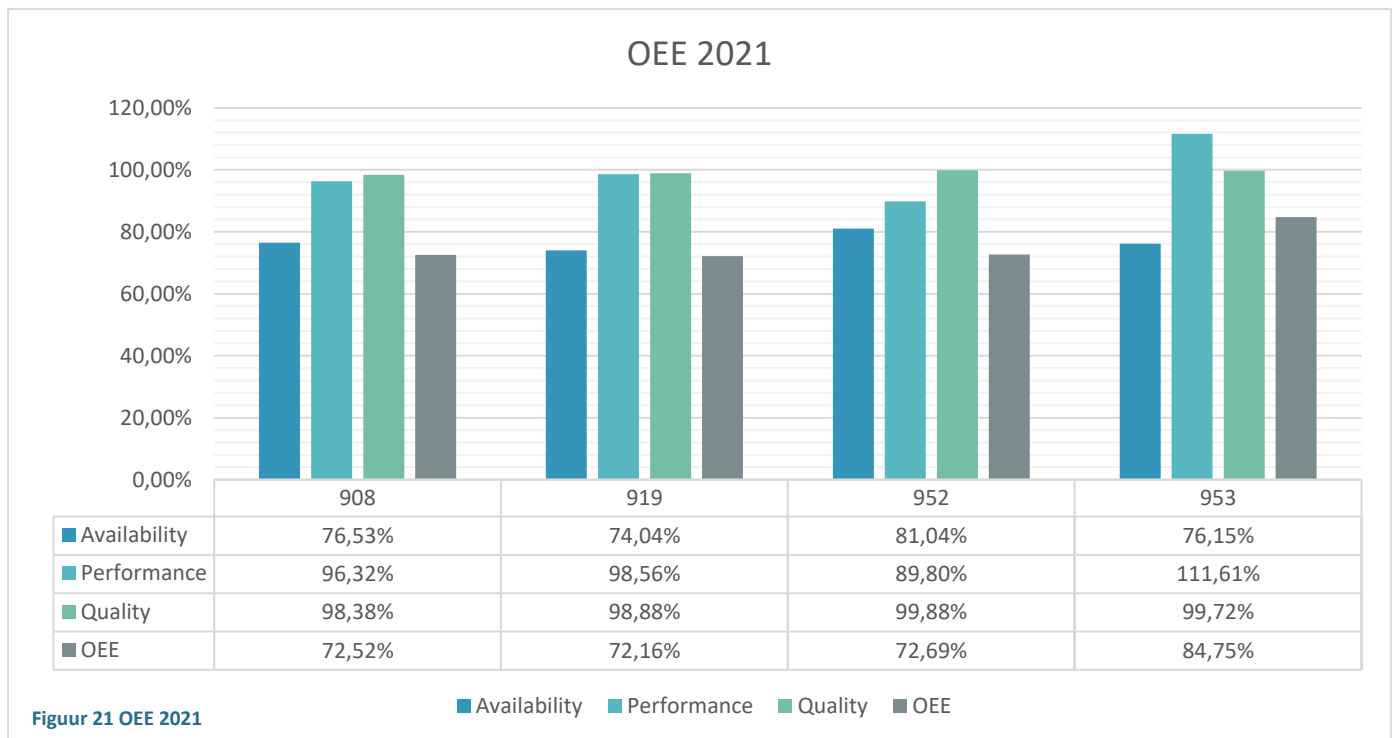
Van het totaal aantal klantklachten in 2021 (14 klachten) bij de lijnen met lasersnijders zijn:

- 6 hiervan gerelateerd aan de lasersnijder
- 3 aan het handmatig boren
- 2 aan intern of extern logistieke operaties
- 3 materiaal problemen (schade of onvolledig)

OEE

De OEE wordt bepaald door het BARCO-systeem. BARCO is het monitoring en planningssysteem voor alle machines in de fabriek, hierin wordt productie, experimenten, onderhoudt, etc. gepland. Daarnaast legt het ook de beschikbaarheid, snelheid en kwaliteit van de processen vast en bepaald hiermee de OEE-waarde. Verdere toelichting van de werking van dit systeem staat in bijlage 6.

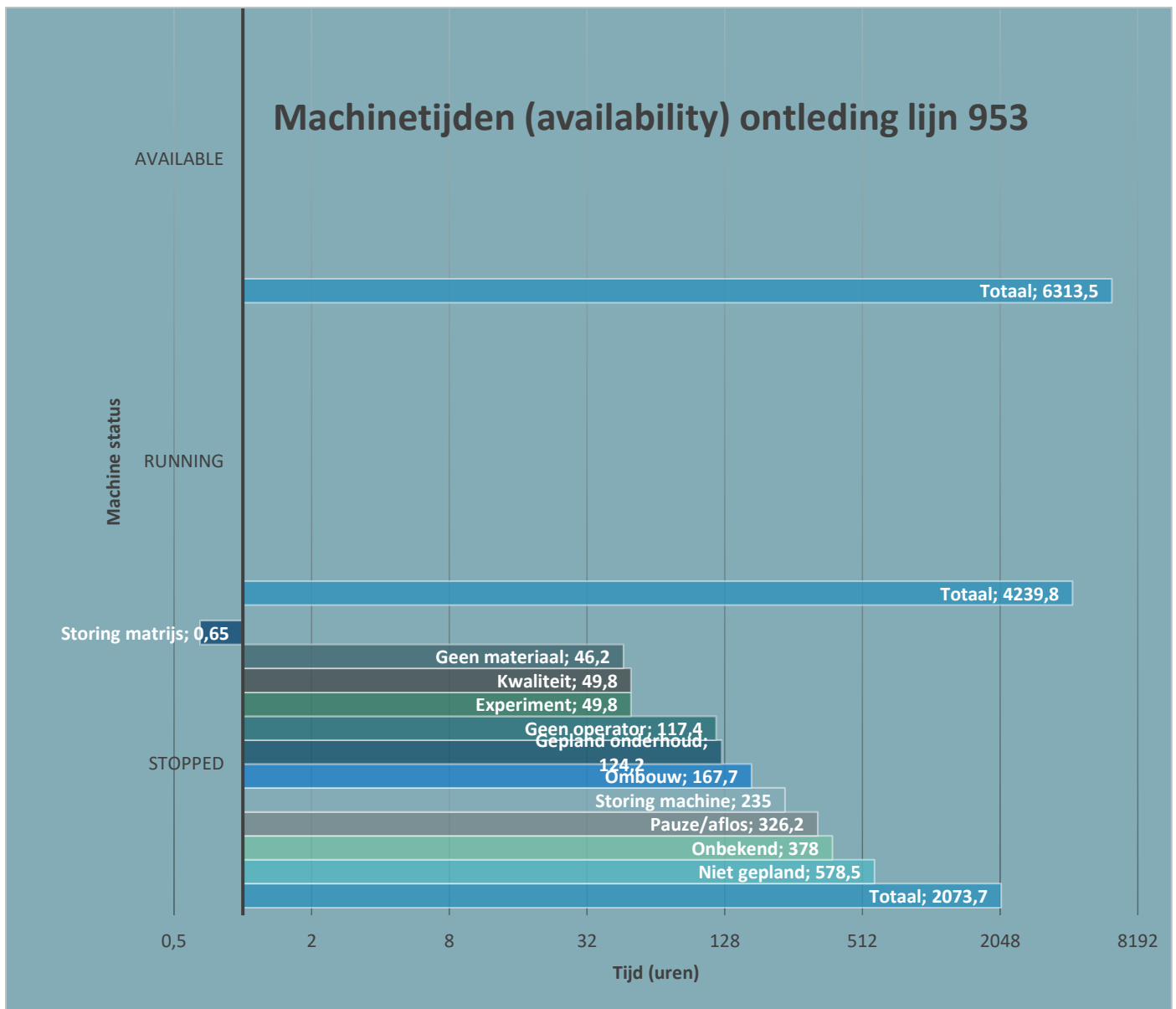
In (Figuur 21) is een overzicht weergegeven van de OEE-data van 2021. Vervolgens is in (Figuur 22) een ontleding van de OEE-data voor lijn 953 weergegeven.



Opvallend is dat bij lijn 953 de performance boven de 100% ligt. Dit kan 2 oorzaken hebben. 1 de data klopt niet. 2 de operators werken sneller dan de ingeschatte cyclus tijd.

Om een realistische OEE te weergeven is de OEE voor lijn 953 berekend met de performance van lijn 952. Dit resulteert in een OEE van 68,19%. Dit is een realistischere waarden voor de OEE en bevestigt tevens dat lijn 953 de meeste verliezen ervaart.

BARCO is enkel een monitoringssysteem. Om deze reden vallen gegevens zoals klantklachten en andere invloeden die na het productieproces volgen buiten de OEE-cijfers.



Figuur 22 Machinetijden (availability) ontleding lijn 953

Niet gepland

Stilstand niet gepland is wanneer er geen producten geproduceerd hoeven te worden, de machine is dus niet ingepland voor productie.

Onbekend

Onbekende stilstanden zijn stilstanden die de machine registreert, maar waar geen reden voor is opgegeven door de operator.

Pauze/aflos

Wanneer de operator pauze heeft of er van operator wordt gewisseld wordt de machine stilgezet. Dit zijn pauze/aflos stilstanden.

Storing machine

Bij storing machine heeft zoals de naam al zegt de machine een storing. Dit kan verschillende oorzaken hebben, incorrect werkende draaitafel, problemen met de robotarm, etc.

Ombouw

Ombouw stilstanden betreffen het wisselen van lasermallen.

Gepland onderhoud

Gepland onderhoud bestaat uit: vermogensmetingen, lenzencontroles, laserbroninspectie, robotarminspectie, etc. Dit zijn dus onderhoudsbeurten die verplicht zijn vanuit de fabrikant van de apparatuur en onderhoud om de kwaliteit hoog te houden.

Geen operator

Geen operator komt voort wanneer er een order is geplaatst voor een product maar er zoals de naam al zegt geen operator beschikbaar is om de machine te opereren.

Experiment

Experiment stilstanden worden gepland om te programmeren, programmawijzigingen door te voeren en tests uit te voeren aan de lasersnijder.

Kwaliteit

Kwaliteit stilstanden ontstaan doordat het product niet aan de kwaliteit standaard voldoen. Dit kunnen enkele foute producten zijn, maar ook een doorlopende afwijking door een fout in de machine.

Geen materiaal

Gebrek aan materiaal komt voort uit logistieke problemen. Het materiaal wordt niet op tijd aangeleverd. Dit komt doordat er niet snel genoeg wordt geleverd of geproduceerd.

Conclusies

De meeste stilstanden hebben als oorzaak 'niet gepland'. Dit duidt op het feit dat de machine overcapaciteit heeft. Hij kan meer opereren dan dat hij daadwerkelijk doet. Desondanks is dit een bewuste keuze voor stilstand en hoort om deze reden niet in dit onderzoek.

De op een na grootste stilstand oorzaak is 'onbekend'. Wanneer BARCO onbekend registreert kan er vanuit BARCO niet meer informatie verkregen worden, echter wanneer er bij de machine wordt geobserveerd tijdens een onbekende storing en met de operators wordt gesproken blijkt vaak dat een product niet compleet wordt doorgesneden of het product afwijkt. De meest voorkomende oorzaken van deze problemen zijn te herleiden naar de lasermal.

De op twee na grootste factor is 'pauze/aflos'. Dit is echter net zoals 'niet gepland' een bekende en tevens bewuste keuze tot stilstand en valt om deze reden ook buiten dit onderzoek.

De op drie na grootste stilstand oorzaak is 'machine storing'. Dit komt vaak neer op problemen met de laser, echter ligt het probleem meestal niet bij de laser maar bij een fout geplaatste mal. Deze conclusie komt voort uit ervaringen van de storingsmonteurs en observaties gedurende storing onderhoud.

De op vier na grootste stilstand en tevens laatste die meegenomen wordt is 'ombouw'. Dit is de laatste die wordt meegenomen omdat de resterende of gepland zijn of dusdanig klein zijn dat er niet veel profijt behaald kan worden. Dit is een geplande stilstand echter heeft deze wel te maken met de oorzaak van veel problemen, namelijk de mal (zie 4.3.2).

Ombouwtijden

In Tabel 3 staan de gemiddelde ombouwtijden per lijn beschreven. Deze zijn berekend door de totale ombouwstilstand tijd te delen door het aantal ombouwen in 2021. Het verschil tussen 908, 919 en 952, 953 is als volgt te verklaren. 908 en 919 opereren met robotarmen. Om de mallen te verwisselen moeten de robotarmen verplaatst worden en de grippers worden gewisseld. In tegenstelling hiertoe moet bij lijn 952 en 953 enkel een aantal tafels worden verplaatst om de mal te wisselen.

Lijn	Gemiddelde ombouwtijd (min)
908	105,5
919	168,5
952	36,05
953	30,87

Tabel 3 Gemiddelde ombouwtijd

Onderhoudskosten

Op basis van de onderdeelaankopen over 2021 zijn de onderhoudskosten voor de lasersnijders bepaald zie Tabel 4. Opvallend was dat de lenzen en spiegels een gemeenschappelijke grote uitgavenpost waren.

Lijn	€ Totaal kosten	% lenzen en spiegels	€ lenzen en spiegels	Opvallende grote uitgave
908	4.616,01	76,2%	3.517,40	-
919	23.149,06	53,5%	12.384,75	Meetapparatuur ₁ €6300 gasfles €1800
952	4.768,82	25,2%	1.201,74	Meetstiften €2900
953	14.336,86	58,7%	8.415,74	Vacuümsysteem ₂ €4000

Tabel 4 Onderhoudskosten overzicht

- 1 Lijn 919 hoge kosten worden verklaard door significante schade die is ontstaan door kapotte lagers in het verplaatsingssysteem. Door deze schade moest het positiemeetsysteem compleet vervangen worden.
- 2 Bij lijn 953 is het vacuümsysteem vervangen. Hieronder valt een vacuüm pompcompressor, vacuüm sensor switches, rotorbladen, etc.

Programmeerprocedure

Wanneer er een programma moet komen voor een nieuw product moet er eerst een lasermal ontworpen worden. Pas wanneer deze goedgekeurd is begint het programmeer proces. Zodra de lasermal is goedgekeurd wordt er een experimentaanvraag gedaan en een meetaanvraag. Dit is het reserveren van tijd om aan de machine en in de meetkamer te werken. Dit tijdsbestek wordt vervolgens ingeplant. De volgende stap is het offline programmeren. Hierbij wordt op basis van de tekening een voorbereidend programma geschreven. Dit programma bestaat uit de code voor alle coördinaten waar de laser naartoe moet verplaatsen en de geometrische vormen die gevolgd moeten worden zoals bijvoorbeeld kwartcirkels. De coördinaten worden echter nog niet ingevuld.

Tijdens de experimenttijd worden de coördinaten ingevuld en wordt er een product gelaserd. Dit product gaat naar de meetkamer. Hier worden de afwijkingen ten opzichte van de toleranties gemeten. Dit resulteert in afwijkingen. Deze afwijkingen worden bijgesteld tijdens het programmeren bij de machine. Dit proces wordt meerdere malen herhaald tot dat aan alle toleranties wordt voldaan. Dit is tevens ook het tijdrovende deel van het programmeer proces.

Opmerkingen:

- Het eerste product voor testen wordt vaak extern gemaakt.
- Iedere mal moet apart geprogrammeerd worden wegens de lage toleranties op de producten.

In de meetfase zijn deelvraag 1 'Wat en hoe groot zijn de huidige verliezen en problemen?' en deelvraag 2 'Wat zijn de huidige prestaties (OEE) van de lasersnijders gedurende 1 jaar?' Beantwoord.

Deelvraag 1 is verder beantwoord door de omvang van de verliezen en problemen te weergeven. Eerst is op basis van de klantklachten en OEE-data de lasersnijlijn met de meeste problemen achterhaald (lijn 953). Vervolgens is op basis van BARCO-data de omvang in uren van ieder probleem weergegeven (Figuur 22).

Deelvraag 2 is beantwoord in Figuur 21 hier staan namelijk de OEE-prestaties van alle lasersnijders gedurende 2021.

4.3. ANALYSEFASE

In de analysefase zijn de oorzaak(en) van de verliezen/problemen achterhaald en vastgelegd. Een belangrijke stap in dit proces was de RCA.

4.3.1. MOGELIJKE OORZAKEN VAN VERLIEZEN VASTLEGGEN

Hier zullen mogelijke oorzaken beschreven worden voor de problemen/verliezen bij 4.1.2

Incorrecte mal plaatsing

Malwissel is niet goed uitgevoerd of mal kan niet goed geplaatst worden door een onpraktisch centreersysteem.

Vervuiling onder de mal

Wanneer tijdens de wissel procedure de maltafel niet volledig wordt schoon gemaakt blijft er vuil achter. Dit resulteert in een scheef geplaatste mal.

Vervormde/beschadigde mallen

De omgang met de mallen is onzorgvuldig. Tijdens het verplaatsen wordt tegen objecten aangebotsd of vallen de mallen zelfs. Tijdens het plaatsen op de machine worden problemen letterlijk met een hamer opgelost.

Missende of slecht passende onderdelen mal

Losse onderdelen raken vaak verloren. Over het slecht passen van onderdelen. Dit kan komen door slijtage, onzorgvuldige omgang, fouten tijdens het produceren ervan, etc.

Vervuilde/ beschadiging lenzen en spiegels

Over de tijd raken de lenzen en spiegels vervuild. Dit komt voornamelijk door stof en brandresten in de lucht. Wanneer dit op tijd ontdekt wordt kan de lens of spiegels gepoetst worden, echter als dit niet op tijd gebeurt kan de laser een brandplek creëren op de lens of spiegels.

Afstelling lenzen en spiegels

Na verloop van tijd kunnen de lenzen en spiegels of het mechanisme hieromheen lichtelijk verplaatsen. Dit wordt veroorzaakt door trillingen, speling bij bewegende onderdelen of slijtage.

Vacuümsysteem van mal

Problemen met het vacuümsysteem komen vaak voort uit lekkages of verstoppingen. De zuignap sluit niet goed af, een pneumatische slang lekt, er zit vuil in de zuignap, etc.

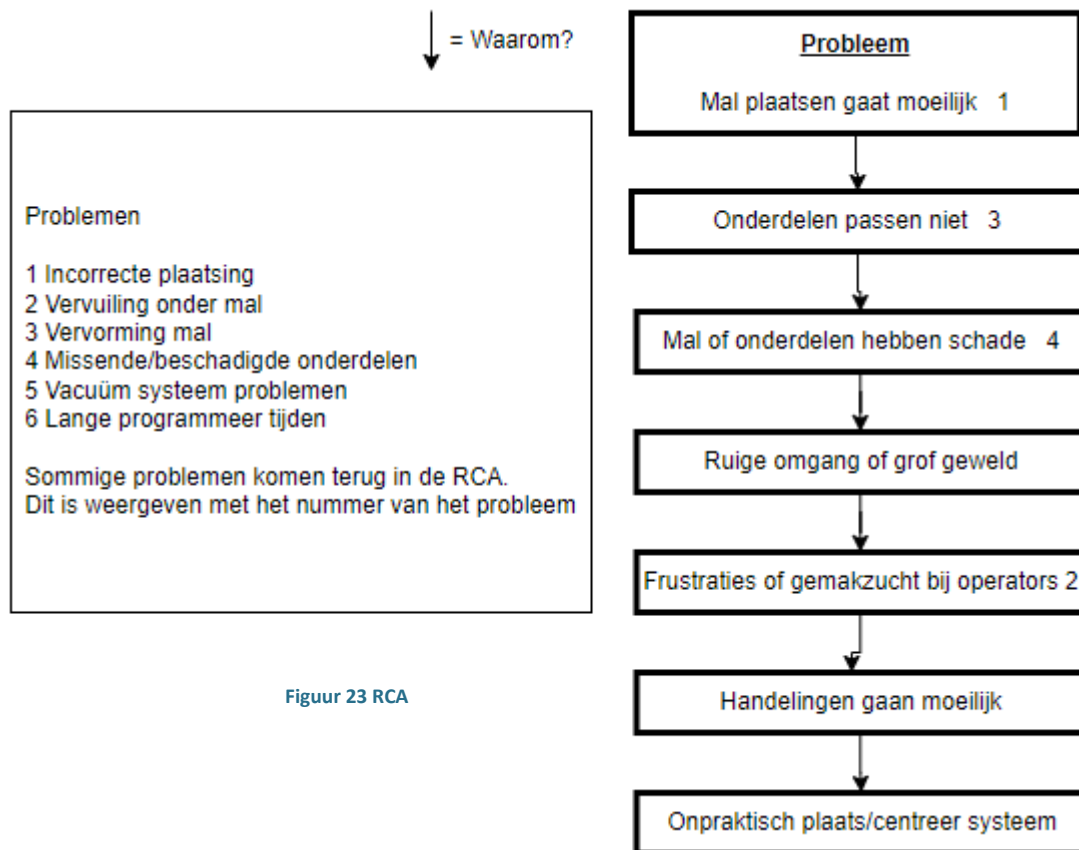
Lange duur van product programmeren op de mal

Product coördinaten worden op het oog geprogrammeerd in plaats van met een vast punt. Verder gaat er veel tijd verloren bij het meten en het heen en weer gaan tussen de machine en de meetkamer.

4.3.2. ROOT CAUSE ANALYSE

Voor dit onderzoek is bewust de keuze gemaakt om slechts één root cause analyse uit te voeren. Tijdens het uitvoeren van de RCA's voor de problemen is geconstateerd dat er een verband was tussen 6 van de 8 problemen. Het resultaat van de root cause analyse weergaf dus dat de root cause van de meeste problemen hetzelfde was. Namelijk het centreer/plaats systeem. Om deze reden is alles samengevoegd in één RCA.

Onderstaand (Figuur 23) is de RCA betreffende de problemen met/bij de mallen.



Figuur 23 RCA

Uit de RCA is gebleken dat een groot deel van de problemen gerelateerd zijn aan of verholpen/verbeterd konden worden door aanpassingen aan het plaats/centreersysteem te maken.

De problemen met het vacuümsysteem waren op zichzelfstaand en speelde enkel bij lijn 919. Om deze reden is hier niet verder op in gegaan gedurende het onderzoek.

De verliezen bij de programeer tijden waren op zichzelfstaand, echter wel relevant bij alle lijnen. Het verbeteren van de programmeer tijden is geplaatst bij het hoofdstuk Conclusies & aanbevelingen als aanbeveling voor een vervolgonderzoek.

4.3.3. HOOFDOORZAKEN VASTLEGGEN

De oorzaken van de problemen konden als volgt beschreven worden. Het huidige plaats/centreersysteem was onpraktisch. Het is namelijk niet gebruiksvriendelijk om te plaatsen, te vatbaar voor problemen zoals schade of missende onderdelen en in het geheel te veel tijd kost om te wisselen.

Het kwam dus neer op:

- Plaats/centreersysteem was niet ideaal en maakte mal plaatsing moeilijker. Dit resulteerde in schade aan de mal
- Slecht passende onderdelen door schade aan de mal
- Cilindrische paspen en boorbussen hebben samen een tolerantie van slechts 30 μm . Hierdoor moet de mal zo goed als loodrecht op de paspen worden geplaatst. Dit in combinatie met de omvang en massa (≥ 100 kg) van de mallen. Zorgde voor een lastig plaatsingsproces.

4.3.4. HOOFDOORZAKEN ONDERBOUWEN MET DATA

Hier is de data toegevoegd om de oorzaken genoemd in 4.3.3 te onderbouwen.

Wanneer het plaatsen van de mal moeilijk gaat omdat de mal bijvoorbeeld net niet goed uitkomt met de paspen. Wordt dit gecorrigeerd met groffe handelingen bijvoorbeeld hamer slagen. Dit resulteerde in schade aan de mal, zie Figuur 24

Figuur 24 Mal schade



Een van de onderdelen in de mal voor het plaats/centreersysteem is de boorbus. Deze hoort klem te zitten in de mal. In (Figuur 25) is echter te zien dat dit niet het geval was.

Figuur 25 Boorbus in mal



In Figuur 26 is het verschil tussen lichtelijk gekantelde plaatsing en loodrechte plaatsing van de boorbus op de paspen te zien. In het rechter deel van Figuur 26 is te zien dat de boorbus niet verder zakt. Dit komt doordat de wrijvingsweerstand groter is dan de zwaartekracht. Dit geeft een beter beeld van de uitermate lage tolerantie tussen de boorbus en paspen.

Figuur 26 Cilindrische paspen
(links niet loodrecht, rechts loodrecht)



In de analysefase zijn deelvraag 3 'Wat is/ zijn de oorzaken van de verliezen en problemen bij de lasersnijders?' en deelvraag 4 'Wat voor invloeden hebben omliggende factoren zoals mens en andere machines?' beantwoord.

Deelvraag 3 is beantwoord doormiddel van de RCA. Hieruit is namelijk gebleken dat het merendeel van de problemen werd veroorzaakt door het plaats/centreersysteem.

Deelvraag 4 is verspreid door het hoofdstuk beantwoord. Uit het onderzoek in de analysefase is gebleken dat mensen bijdragen aan het ontstaan van de problemen. Dit komt door onzorgvuldige handelingen, gemakzucht of nalatigheid. Andere machines zijn niet betrokken bij het proces met uitzondering van de apparatuur die operators bedienen voor het wisselen van de mallen zoals een heftruck.

4.4. VERBETERFASE

In de verbeterfase is het keuzeproces voor de daadwerkelijke verbetering beschreven en de verbetering zelf. Daarnaast is hier ook een POC en ROI beschreven.

4.4.1. CONCEPT KEUZE

Voor het maken van een conceptkeuze is gebruik gemaakt van een keuzematrix (Figuur 27). In deze matrix zijn meerdere ideeën getest aan een 5-tal eigenschappen. Deze eigenschappen zijn gekozen op basis van hun belang binnen een malplaatsingssysteem.

Integratie:

Hoe snel kan de verbetering geïmplementeerd worden?

Er zijn een significant aantal lasermallen bij Polytec. De oplossing moet voor al deze mallen geschikt zijn. Veder is het zo dat hoe sneller de verbetering geïmplementeerd wordt des te eerder er voordelige resultaten zijn.

Snelheid:

In hoeverre versnelt de verbetering de wisseltijd?

Dit is een zeer belangrijke criteria, dit is namelijk cruciaal voor het verkorten van stoptijd. Hoe sneller de mal gewisseld kan worden, des te korter de stoptijd is.

Stevigheid:

Hoe sterk en impact bestendig is de verbetering?

Alle mallen verschillen in massa, echter heeft elke mal een massa van minimaal 100 kg. Dit resulteert in een significant massatraagheidsmoment. Wanneer de mal in beweging is en ergens tegen aan stoot bijvoorbeeld de centreerpennen, dan gebeurt dit met een grote kracht relatief gezien tot de centreerpennen. Het is van belang dat de verbetering hiertegen bestendig is.

Ergonomie:

Hoe gebruiksvriendelijk is de verbetering voor operators?

Des te makkelijker de oplossing in gebruik is, des te tevredener de operators zijn en beter zullen omgaan met het materieel.

Nauwkeurigheid:

Hoe nauwkeurig is de verbetering?

De nauwkeurigheid is van groot belang wegens de lage toleranties. Producten mogen gemiddeld 1 tot 2 mm afwijken volgens de meetkamer bij Polytec. In het strengste geval is dit slechts 0,3 mm. Wanneer er rekening wordt gehouden met het feit dat de robotarm ook inaccuraat kan zijn mag de mal eigenlijk zo goed als geen speling hebben.

Verder werkt de matrix met het volgende scoringsysteem:

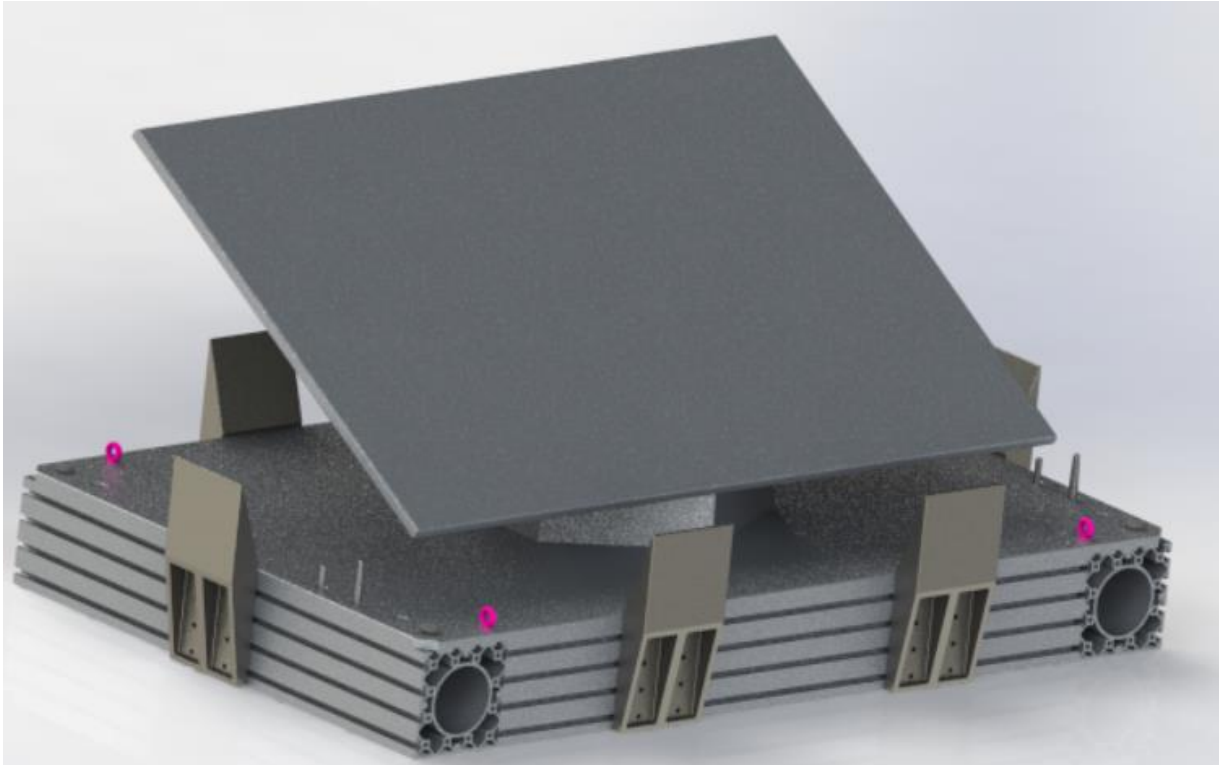
- ++ heel goed (+2 pt)
- + goed (+1 pt)
- - slecht (-1 pt)
- -- heel slecht (-2 pt)

	1 Inloopvorm	2 Slider	3 Pasvorm	4 Geleiding
Integratie	++	-	--	+
Snelheid	++	+	++	+
Stevigheid	++	-	++	-
Ergonomie	++	-	++	-
Nauwkeurigheid	+	+	+	++
Eind score:	9 pt	-1 pt	5 pt	2 pt

Figuur 27 Keuzematrix

4.4.2. CONCEPTONTWERP

Uit de matrix kwam 1 globaal idee naar voren. Op basis van dit idee is een concept uitgewerkt (Figuur 28).



Figuur 28 Concept ontwerp

De uitdaging voor het verbeteren van de malplaatsing zat in het loodrecht kunnen plaatsen van de mal op de paspennen. Door de hoge vereiste nauwkeurigheid voor het plaatsen op de paspennen gaat er veel tijd verloren in het positioneren van de mal boven de pennen. Het concept focust op het versnellen van dit proces. De inloopstukken (Figuur 29) creëren een trechter voor de mal. Deze trechter zorgt ervoor dat zolang de mal binnen 50 mm (bijlage 7) van zijn eindpositie geplaatst wordt, hij zichzelf naar zijn eindpositie corrigeert.

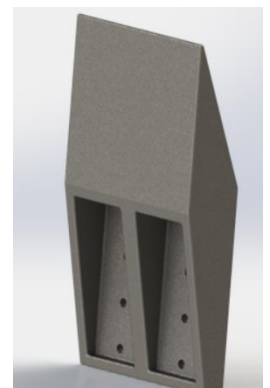
Vervolgens wordt de mal over een conische pen geleid (Figuur 30). Deze pen zorgt ervoor dat de mal zich uitlijnt boven de cilindrische paspennen.

De cilindrische paspennen (Figuur 31) verzorgen de nauwkeurigheid die vereist is voor het positioneren van de mal. Zij hebben namelijk samen met de boorbussen een tolerantie van slechts 30 μm .

De keuze voor de combinatie van conische paspennen en inloopstukken in plaats van enkel conische paspennen of inloopstukken is gemaakt om universele inzetbaarheid en robuustheid te verzekeren maar tevens ook de nauwkeurigheid.

Enkel de inloopstukken kunnen geen nauwkeurige plaatsing van alle bestaande mallen garanderen doordat niet iedere mal in perfecte staat is. De meeste mallen hebben zichtbare vervorming of schade (Figuur 24) wat zorgt voor inaccuraten afmetingen van de mal bodemplaat.

Wanneer enkel de conische paspennen worden gebruikt vereist dit nog steeds nauwkeurige positionering van de mal boven de tafel. Daarnaast zijn zowel de conische als cilindrische paspennen veel meer vatbaar voor schade door bijvoorbeeld een rondzwaaiende mal.



Figuur 29 Inloopstuk



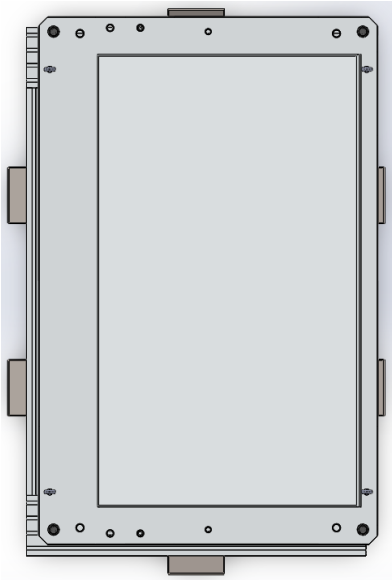
Figuur 30
Conische pen



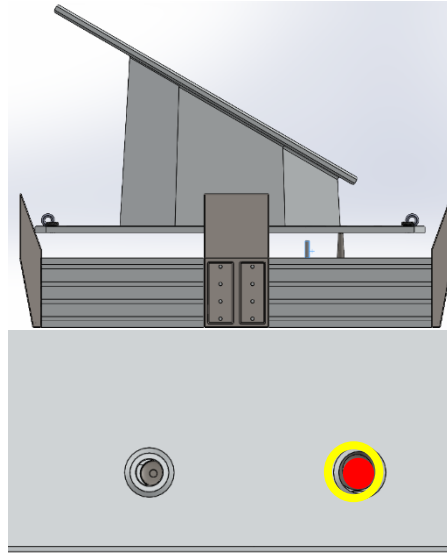
Figuur 31
Cilindrische paspen

4.4.3. PROOF OF CONCEPT

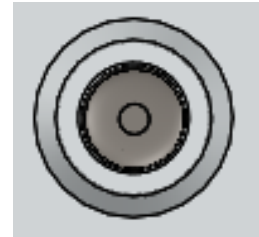
Door een gebrek aan tijd is er geen prototype gemaakt. In plaats van een prototype is met behulp van een Soliworks model stap voor stap toegelicht hoe de verbetering in werking treedt en zal functioneren.



Mal valt binnen de inloopstukken.



Conische paspen (rood) valt binnen het gat in de bodemplaat (geel).



Cilindrische paspen lijnt uit met de boorbus.

Figuur 32 POC model werking

Er is een begin gemaakt voor het creëren van een prototype, echter is door zoals eerder vermeld een gebrek aan tijd dit stop gezet.

4.4.4. RETURN ON INVESTMENT

De return on investment berekening bestaat uit 2 delen.

Deel 1 zijn de verwachte kosten voor de verbetering. Deel 2 zijn de verwachte opbrengsten/ besparingen.

Verwachte kosten

De verwachte kosten zijn bepaald met enkel de productiekosten wanneer de componenten extern worden vervaardigd. De productiekosten zijn bepaald met onlineoffertes (bijlage 8) op basis van Soliworks modellen. De kosten voor het implementeren van de verbetering zijn niet meegerekend. Deze kosten zijn enkele uren aan loonkosten voor installatie en werkinstructies bijwerken.

De totale kosten van de verbetering worden geschat op:

1 machine (2 maltafels)	= € 7.071,04
4 machines (8 maltafels) (bulk inkoop)	= € 19.222,25

Verwachte opbrengsten/ besparingen

De verwachte opbrengsten/ besparingen zijn berekend op basis van de klantklachten die de verbetering elimineert in het vervolg. Dit aantal is vermenigvuldigd met de gemiddelde kosten voor een klantklachtonderzoek.

De verbetering elimineert de volgende klantklachten:

- Fout snijpatroon (3x)
- Afwijkende gaten diameter (1x)
- Gaten niet open (2x)

De gemiddelde kosten voor één klantklachtonderzoek zijn € 4975,00 (D. Ornek, 2022).

Deze gegevens samen resulteren in een jaarlijkse besparing van € 29.850,00 doormiddel van klantklacht eliminatie.

Terugverdientijd

Wanneer de onderdelen voor alle 4 de machines in één keer worden ingekocht bedraagt de terugverdientijd 7,7 maanden.

Return on investment percentage

Het return on investment percentage is berekend op basis van de verwachte kosten en opbrengsten voor één jaar tijd. Dit resulteerde in het volgende:

Opbrengsten/besparingen	= € 29.850,00
Kosten	= € 19.222,25
ROI-percentage	= 155,3 %

In de verbeterfase is deelvraag 5 'Welke verbeteringen kunnen er gemaakt worden aan de lasersnijder?' beantwoord. Het antwoord op deze deelvraag is namelijk de ontworpen verbetering. De essentie van de verbetering is het versnellen van de malwisseltijden en het elimineren van de mogelijkheid voor incorrecte plaatsing. De verbetering behaalt deze doelen met behulp van de ontworpen inloopstukken en het gebruik van conische paspennen.

4.5. CONTROLEFASE

Het doel van de controlefase is het beschrijven van de nieuwe standaard volgend aan de verbetering. De nieuwe werking van het malwisselproces is toegelicht. Verder is de invloed van de verbetering op de huidige werkprocedure beschreven. Tot slot is de testwijze voor toekomstige prestaties ook vastgelegd.

4.5.1. NIEUW MALWISSELPROCES WERKING

Het hoofdzakelijke probleem bij het plaatsen van de mal was het positioneren. De verbetering lost dit als volgt op:

- De inloopstukken verzorgen een malplaatsingsgebied van 50 mm rondom de grenzen van de maltafel.
- De conische paspennen nemen deze taak over door de mal tot 1 mm nauwkeurig boven de cilindrische paspennen te plaatsen.
- De malwisselploeg verzorgt vervolgens dat de mal loodrecht ten opzichte van en tevens boven de cilindrische paspennen hangt in hoeverre de inloopstukken dit nog niet doen.
- Tot slot laat de wisselploeg de mal zakken over de cilindrische paspennen, bevestigen zij de mal op de tafel en sluiten zij de elektronica en het vacuümsysteem aan.

Deze verbetering versnelt het malwisselproces, verminderd schade aan de mallen en voorkomt incorrecte plaatsing van de mallen.

4.5.2. VERANDERING WERKPROCEDURE

De verbetering is een uitbreiding van het bestaande positioneringssysteem. Dit houdt in dat de procedure in zijn essentie niet verandert. De mal moet nog steeds geplaatst worden op de maltafel zoals altijd. De verbetering vereenvoudigt dit proces echter wel. De verandering aan de werkprocedure bestaat uit het vernieuwen van de foto's en instructies in de werk/onderhoudsmap en het personeel bijscholen in de werking van de verbetering. Op deze manier kan het personeel optimaal gebruik maken van de verbetering. Het personeel dat bijgeschoold moet worden bestaat uit:

- De operators (informatie over dagelijks gebruik)
- Area responsible (informatie over dagelijks gebruik)
- Technische dienst (informatie over werking, installatie en onderhoud)

Overige betrokkenen zijn proces engineers en programmeurs. De verbetering heeft geen directe negatieve invloed op hun werkzaamheden, echter is het wel van belang dat zij geïnformeerd zijn over de wijziging. Hierdoor blijft hun kennis betreffende de machine actueel.

4.5.3. TOEKOMSTIGE PRESTATIES TESTWIJZE

Voor het testen van de prestaties op een kort termijn zal de malwisseltijd getimed moeten worden. Hiermee kan bepaald worden hoeveel minuten het malwisselproces versneld wordt door de verbetering.

Voor het testen van prestaties op lange termijn zal het proces één jaar moeten opereren met de implementatie van de verbetering. Na dit jaar moeten de klantklachten uit dat jaar geanalyseerd en vergeleken worden met de klantklachten van voorgaande jaren. Hieruit moet blijken dat de klantklachten gerelateerd aan de malplaatsing van de lasersnijder verholpen zijn.

Tot slot moet er onder het personeel werkzaam bij de verbeterde lasersnijder maandelijks tevredenheidsevaluaties worden uitgevoerd. Op deze wijze wordt getest of dat de verbetering de gebruiksvriendelijkheid voor het malwisselproces daadwerkelijk vergroot.

5. DISCUSSIES

In de discussies zijn een aantal problemen uit het onderzoek beschreven.

Hoofdvraag doel niet bereikt

Op basis van bevindingen gedurende het onderzoek kwam de realisatie dat de hoofdvraag niet haalbaar was. Bij aanvang van het project was de hoofdvraag als volgt:

‘Hoe kan een gemiddelde OEE van 90% gedurende 1 jaar behaald worden bij de lijn 953?’.

Gedurende de analysefase is er een diepgaande analyse uitgevoerd over de OEE-cijfers van lijn 953. Met deze gegevens is berekend hoeveel uren lijn 953 minder moet stilstaan om verschillende OEE-percentages te behalen (Figuur 33). Hieruit bleek dat voor een OEE-percentage van 90% of hoger de availability meer dan 100% moest zijn. Dit is niet mogelijk. Dit zou namelijk betekenen dat de machine meer moet opereren dan dat de machine in een ideale situatie beschikbaar is.

Te behalen OEE %	Benodigd availability %	Benodigde operating minuten om availability te halen	Te verminderen stilstand minuten om availability te halen	Te verminderen stilstand uren om availability te halen
70%	78,17%	263507,4	9077,02	151,3
75%	83,75%	282329,3	27898,97	465,0
80%	89,34%	301151,3	46720,93	778,7
85%	94,92%	319973,2	65542,88	1092,4
90%	100,50%	338795,2	84364,84	1406,1

Figuur 33 OEE-doel berekeningen

Return on investment berekening

De return on investment berekening is gemaakt met een onlineofferte hulpmiddel. Dit is aanzienlijk minder nauwkeurig dan een persoonlijke offerte aanvraag. Dit betekent dat de werkelijke investeringskosten aanzienlijk kunnen afwijken.

OEE-data

Doordat het grootste deel van stilstanden geregistreerd staan als onbekend kan niet met 100% zekerheid geconcludeerd worden wat de grootste stilstand oorzaak is.

6. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

6.1. CONCLUSIES

Onderzocht is waar de verliezen in tijd ontstaan bij lasersnijder 953 en hoe deze gereduceerd of geëlimineerd kunnen worden om een OEE-percentage van 90% of hoger te behalen.

Dit doel is niet haalbaar door enkel de beschikbaarheid van de machine te verhogen. Dit zou namelijk betekenen dat de lasersnijder meer uren moet opereren dan dat hij theoretisch gezien kan.

Door het verbeteren van het malplaatsingssysteem kan jaarlijks € 29.850,00 bespaard worden aan klantklacht onderzoeken. Dit vereist een investering van € 19.222,25 en wordt in 7,7 maanden terugverdiend. Dit alles onder de voorwaarde dat alle 4 de lasersnijders gelijktijdig verbeterd worden. Dit levert een return on investment percentage van 155,3%. Dit percentage is zo groot omdat de aanpassing relatief tot zijn potentie voor kostenbesparing erg goedkoop is.

Het malplaatsingssysteem:

- Verkort de tijd van de malwisselprocedure.
- Vergroot de gebruiksvriendelijkheid voor het plaatsen van de mal.
- Elimineert 6 van de 14 klantklachten bij proceslijn 953 op jaarbasis.

6.2. AANBEVELINGEN

De volgende adviezen zijn opgesteld voor het vervolgen van dit onderzoek:

Prototype

Het creëren van een prototype om vervolgens tests hiermee uit te voeren voor het bepalen van de ideale plaatsing voor de conische paspen.

Door het gebrek aan tijd kon er geen prototype gemaakt worden. Een cruciale vervolgstap is het creëren van een prototype om de werking te valideren, maar tevens ook om het model te optimaliseren. Een component dat geoptimaliseerd kan worden is de conische paspen en de plaatsing hiervan. Hierbij is van belang dat de plaatsing zorgt voor gebruiksvriendelijkheid tijdens het plaatsen van de mal bij het personeel. Ook is zowel toegankelijkheid als mal positioneerbaarheid van belang.

Onbekende stilstanden

Gedurende de OEE-data 2021 analyse is gebleken dat het grootste deel van de stilstanden bij de lasersnijders als onbekend zijn geregistreerd doordat er geen oorzaak is ingevuld. Hierdoor kan er geen exacte conclusie worden getrokken voor de aard van de meeste stilstanden. Een aanbeveling is dan ook om te onderzoeken waarom de oorzaak van de stilstand niet wordt opgegeven. En wat er gedaan kan worden om het registreren van de oorzaak te verbeteren.

Afkeur

Om beter te begrijpen wat afgekeurde producten zijn wordt aangeraden om te onderzoeken wanneer een product als afkeur moet worden geregistreerd bij het lasersnijden. Hoe ver mag het product afwijken van de tekening?

Programmeertijden

Hoewel experimentstilstand niet direct veel uren bedraagt, kost dit wel meer tijd dan gewenst is. Een advies is dan ook om diepgaander te onderzoeken waarom het programmeren zoveel tijd in beslag neemt. En mits mogelijk een oplossing te creëren om dit te verkorten.

BIBLIOGRAFIE

- Bokhoven, M. v. (2010). *Lean manufacturing*. Haarsteeg: Markontarget Productiviteitsbureau Bv.
- Chakraborty, E. (2022). *What is an Articulated Robot? | 5+ Important Applications | SCARA*. Opgehaald van [lambdageeks.com](https://lambdageeks.com/articulated-robots/#:~:text=Articulated%20Robot%20Definition%20In%20industrial%20settings%2C%20articulated%20robots,universe%2C%20these%20joints%20are%20referred%20to%20as%20axes.):
<https://lambdageeks.com/articulated-robots/#:~:text=Articulated%20Robot%20Definition%20In%20industrial%20settings%2C%20articulated%20robots,universe%2C%20these%20joints%20are%20referred%20to%20as%20axes.>
- Cloudray industrial solutions. (2022). *Cloudray CO2 Laser Si Reflective Mirror Lens*. Opgehaald van Cloudray laser:
<https://www.cloudraylaser.com/products/cloudray-co2-laser-si-reflective-mirror-lens>
- Composites. (2022). *What are composites*. Opgehaald van Composites: <https://discovercomposites.com/what-are-composites/>
- Corporatefinanceinstitute. (2022). *ROI Formula (Return on Investment)*. Opgehaald van corporatefinanceinstitute:
<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/return-on-investment-roi-formula/>
- Crystran. (2019). *Crystran.co.uk*. Opgehaald van Crystran: <https://www.crystran.co.uk/optical-materials/zinc-selenide-znse>
- Edmund Optics. (2022). *Laser Optics Resource Guide*. Opgehaald van Anti-Reflectie (AR) Coatings:
<https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/lasers/anti-reflection-coatings/#:~:text=Anti-reflection%20%28AR%29%20coatings%20are%20applied%20to%20optical%20surfaces,allowing%20unwanted%20light%20to%20enter%20the%20laser%20cavity.>
- Fanuc. (2022). *Articulated robot M-710iC/50*. Opgehaald van Direct industry: <https://th.bing.com/th/id/OIP.neKOubhTm3zAEHg-Ha1ubAHaHa?w=204&h=204&c=7&r=0&o=5&pid=1.7>
- Geertsma, P. (2014, 4 3). *Wat is een matrijs en waar worden matrijzen voor gebruikt?* Opgehaald van Technisch Werken:
<https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-een-matrijs-en-waar-worden-matrijzen-voor-gebruikt/>
- Hyperion optics. (2022). *Zinc Selenide Lenses*. Opgehaald van Hypoptics.com: <http://www.hypoptics.com/components/infrared-lenses/zinc-selenide-lenses.html>
- II-VI. (2022). *Gallium Arsenide (GaAs)*. Opgehaald van II-VI: <https://ii-vi.com/product/gallium-arsenide-gaas/#:~:text=Gallium%20Arsenide%20%28GaAs%29%20Semi-insulating%20GaAs%20provides%20an%20alternative,in%20applications%20where%20toughness%20and%20durability%20are%20important.>
- Kernerman Dictionaries. (2022). *Exciteren*. Opgehaald van Woorden.org: <https://www.woorden.org/woord/exciteren>
- KUKA. (2021). *KUKA ag*. Opgehaald van Twitter: <https://th.bing.com/th/id/OIP.6GysZsfE6-VDtsKh79hopAHaEK?pid=ImgDet&w=186&h=104&c=7&dpr=1,1>
- lamsience. (2022). *Hoe werken co2-lasers? - Wetenschap - 2022*. Opgehaald van lamsience.com:
<https://nl.lamsience.com/how-do-co2-lasers-work>
- Laseruser. (2022). *What is a CO2 Laser Cutter?* Opgehaald van laseruser.com: <https://laseruser.com/what-is-a-co2-laser-cutter/#:~:text=If%20you%20are%20using%20a%20CO2%20Laser%20cutter,necessary%20for%20laser%20power%20outputs%20of%20100W%20plus.>
- Lean six Sigma group. (2022). *Root Cause Analysis*. Opgehaald van leansixsigmagroep.nl: <https://leansixsigmagroep.nl/lean-agile-en-six-sigma/root-cause-analysis/>
- MKS Ophir. (2022). *www.ophiropt.com*. Opgehaald van MKS Ophir: <https://www.ophiropt.com/co2-lasers-optics/focusing-lens/cutting-head->

optics#:~:text=In%20general%2C%20there%20are%20two%20types%20of%20focusing,and%20one%20concave%20surf
ace%20%28concave%20%3D%20hollow%20curvature%29.

Munsterhuis. (2022). *Carrosserie Motor beschermplaat origineel Jaguar XFR*. Opgehaald van Munsterhuis auto-onderdelen:
https://api.mobiloX.nl/media/cache/resolve/woocommerce/ob_uploads/2021/02/68c45db11b46cb6225f8001d01821b8629ded137.jpeg

Nulivo. (2022). *DMAIC Model PowerPoint PPT Template*. Opgehaald van Nulivo: <https://nulivo.s3.us-east-2.amazonaws.com/media/users/SlideScan/products/366/screenshots/DMAIC-Model-PowerPoint-PPT-Template11.jpg?v=1>

packshotcreator. (2022). *6 degrees of freedom*. Opgehaald van youtube: <https://i.ytimg.com/vi/0MKjOOsQtxs/maxresdefault.jpg>

PHD Robotics. (2020). *Laser Optics and Selecting the Proper Lens for your CO2 Application*. Opgehaald van buildyourcnc: <https://buildyourcnc.com/tutorials/tutorial-CO2-Laser-Optics-Lens-Selection-Focal-length#:~:text=The%20distance%20from%20the%20lens%20to%20the%20point,mm%2C%2050.8%2C%2076.2%20mm%2C%20and%20101.6%20mm%20respectively%29.>

phys libretexts. (2018). plano-convex en meniscus convex lenzen. Nederland. Opgehaald van https://phys.libretexts.org/@api/deki/files/5059/CNX_UPhysics_35_04_lensshape.jpg?revision=1

Pleiger laseroptik. (2021). *CO2 Laser Mirror*. Opgehaald van pleiger-laseroptik: <https://www.pleiger-laseroptik.de/en/co2-laser-optics/#:~:text=Coated%20copper%20and%20silicon%20substrates%20are%20mainly%20used,required%2C%20the%20use%20of%20dielectric%20mirrors%20is%20recommended.>

Polytec composites. (2022). Lay-out lijn 19. Roosendaal, Noord-Brabant, Nederland.

Polytec composites. (2022). Lay-out lijn 8. Roosendaal, Noord-Brabant, Nederland.

Prasath, B. R. (2013). *SIX SIGMA CONCEPT AND DMAIC*. Trans stellar.

Rittal. (2022). *TopTherm Blue e roof-mounted cooling unit Total cooling output 0.50 - 4.00 kW*. Opgehaald van Rittal - The System: <https://www.rittal.com/com-en/products/PG0168KLIMA1/PG0169KLIMA1/PG0170KLIMA1/PRO34040?variantId=3383500>

Robots Done Right. (2022). *What is an Articulated Robot?* Opgehaald van Robots Done Right: <https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-an-articulated-robot.html>

Sensor partners. (2022). *Laserveiligheid en laserklassen*. Opgehaald van Sensor partners: <https://www.sensorpartners.com/kennisbank/laserklassen-en-laserveiligheid/>

Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. Quality Press, 2009.

Sumitomo electric. (2022). *laseroptiek*. Opgehaald van Sumitomo electric: <https://global-sei.cn/products/laser-optics/>

Svelto, O. (1998). *Principles of Lasers*, 4th ed. Milaan, Italië: Springer.

The lean six sigma company. (2022, 2 28). *The lean six sigma company*. Opgehaald van DMAIC model: <https://www.theleansixsigmacompany.nl/dmaic-model/>

Velling, A. (2020, 1 21). CO2 lasersnijder kopstuk. Nederland.

Vorne. (2021). *CALCULATE OEE*. Opgehaald van oee.com: <https://www.oee.com/calculating-oee/>

Weetjes.nl. (2022). *Warmtepomp*. Opgehaald van Weetjes.nl: https://warmtepomp-weetjes.nl/media/soorten/luchtwater_split_werking.jpg

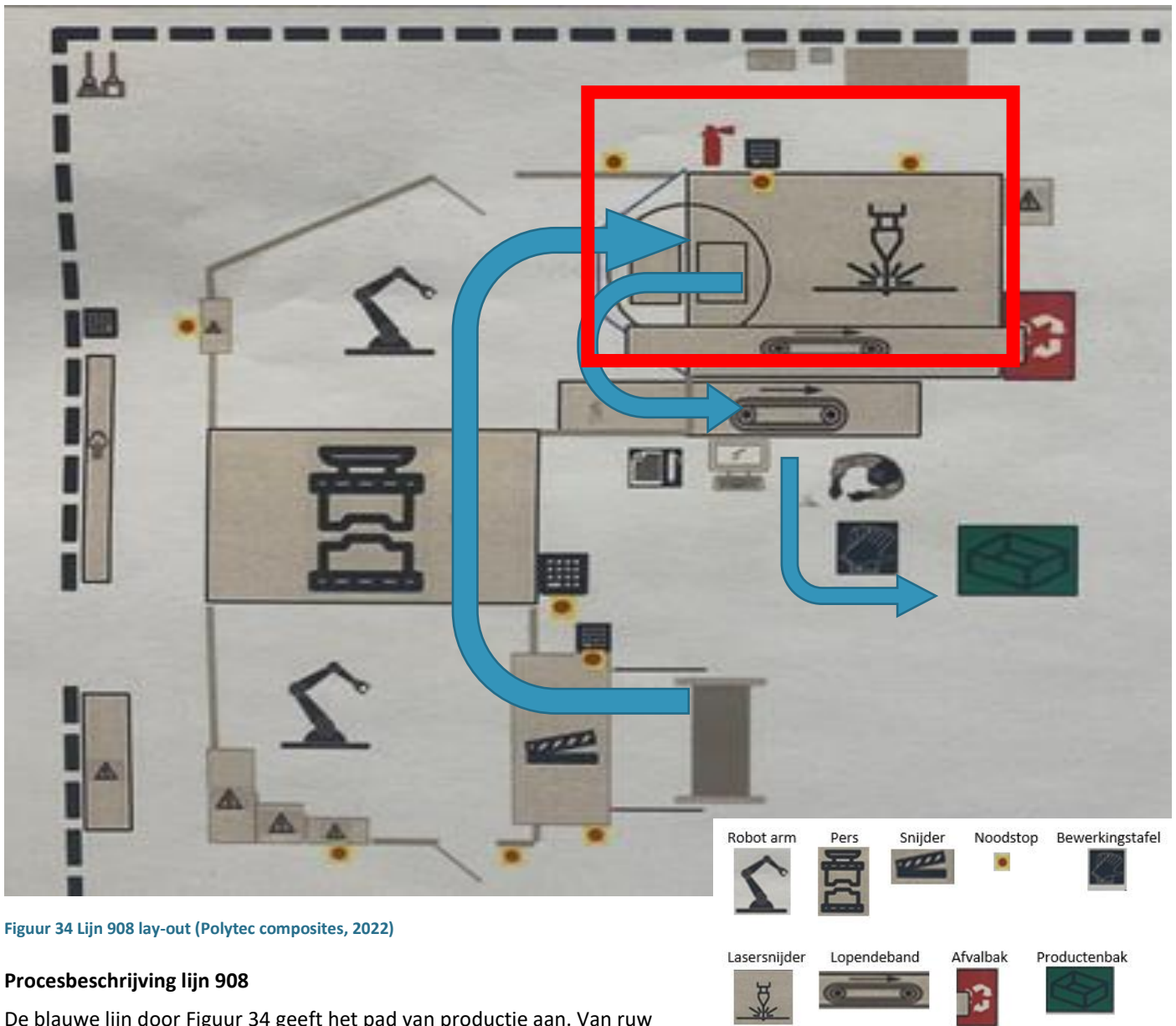
Werner, M. (2022). *Klantklachten 2021 lijn 8, 19, 52 en 53.*

FIGURENLIJST

Figuur 1 Lasersnijder robotarm (KUKA, 2021)	1
Figuur 2 Jaguar motor beschermplaat (Munsterhuis, 2022)	1
Figuur 3 Klantklachten 2021 lijn 908, 919, 952 en 953 (Werner, 2022)	3
Figuur 4 CO ₂ laser snijder kopstuk (Velling, 2020)	4
Figuur 5 Polytec gasfles samenstelling	4
Figuur 6 Plano-convex en Meniscus convex lenzen (phys libretexts, 2018)	4
Figuur 7 Zink selenide licht transmissie (Hyperion optics, 2022).....	4
Figuur 8 Fresnel reflecties bij medium overgang (Edmund Optics, 2022)	5
Figuur 9 Lenzen met verschillende brandpuntafstanden (PHD Robotics, 2020)	5
Figuur 10 Koperen spiegels (Sumitomo electric, 2022)	6
Figuur 11 Goud gecoate silicone spiegels (Cloudray industrial solutions, 2022).....	6
Figuur 12 Actief koelen (Weetjes.nl, 2022).....	6
Figuur 13 Lasersnijder 953 mal	7
Figuur 14 Articulated robot arm (Fanuc, 2022)	8
Figuur 15 X, Y, Z voorbeeld (packshotcreator, 2022)	8
Figuur 16 Cartesian coordinate robot lijn 919	8
Figuur 17 DMAIC cycle (Nulivo, 2022)	12
Figuur 18 Root cause analyse (Lean six Sigma group, 2022).....	13
Figuur 19 Cirkeldiagram klantklachten	16
Figuur 20 Cirkeldiagram klantklachten per lijn	16
Figuur 21 OEE 2021.....	17
Figuur 22 Machinetijden (availability) ontleding lijn 953	18
Figuur 23 RCA.....	22
Figuur 24 Mal schade	23
Figuur 25 Boorbus in mal	23
Figuur 26 Cilindrische paspen (links niet loodrecht, rechts loodrecht)	23
Figuur 27 Keuzematrix	24
Figuur 28 Concept ontwerp	25
Figuur 29 Inloopstuk	25
Figuur 30 Conische pen.....	25
Figuur 31 Cilindrische paspen	25
Figuur 32 POC model werking.....	26
Figuur 33 OEE-doel berekeningen	29
Figuur 34 Lijn 908 lay-out (Polytec composites, 2022)	35
Figuur 35 Lijn 919 lay-out (Polytec composites, 2022)	36
Figuur 36 Laserklassen (Sensor partners, 2022)	37

Figuur 37 OEE Polytec (D. Roks, 2022)	38
Figuur 38 Klantklachten 2021	39
Figuur 39 Storingen, Stilstanden en OEE-data 2021	40
Figuur 40 Maattekeningen inloopstuk.....	42
Figuur 41 Inloopstuk offerte, 1 machine of 4 machines (Protolabs company, 2022).....	43
Figuur 42 Conische paspen offerte, 1 machine of 4 machines (Protolabs company, 2022)	43
 Tabel 1 Afkortingen.....	 4
Tabel 2 Symbolen.....	4
Tabel 3 Gemiddelde ombouwtijd	19
Tabel 4 Onderhoudskosten overzicht	20

Lijn 952 en 953 zijn niet toegevoegd omdat deze lijnen enkel de lasersnijders zijn. Er komen geen persen, robotarmen of snijders aan te pas.



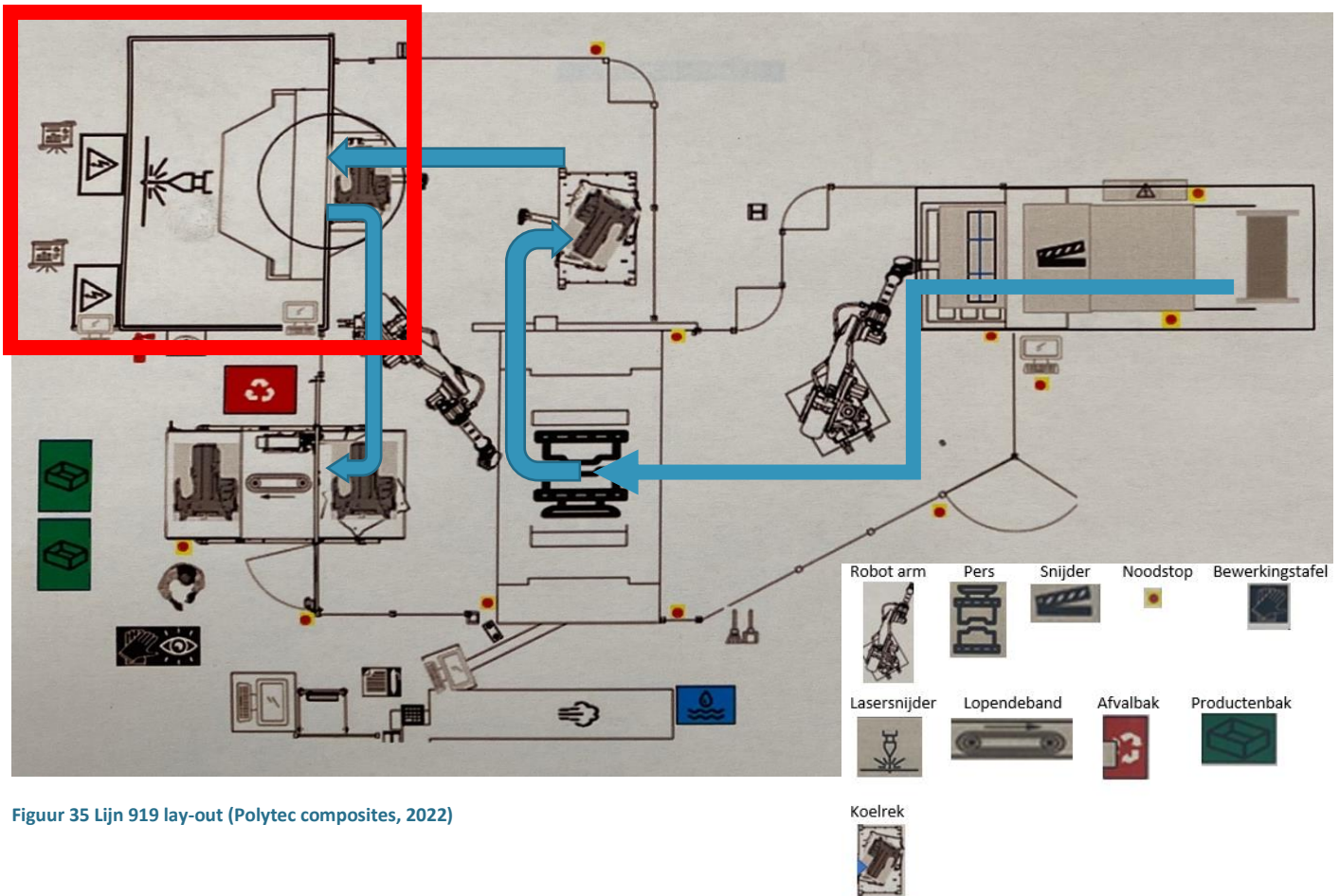
Figuur 34 Lijn 908 lay-out (Polytec composites, 2022)

Procesbeschrijving lijn 908

De blauwe lijn door Figuur 34 geeft het pad van productie aan. Van ruw materiaal op de rol naar afgewerkt product.

Ten eerste wordt het materiaal van de rol gerold. Ten tweede wordt het in delen gesneden. Ten derde wordt het door een robotarm in de pers gelegd en geperst. Ten vierde haalt een robotarm het product uit de pers en legt het op de lasersnijder mal. Ten vijfde snijdt de lasersnijder het product. Ten zesde haalt een robotarm het gesneden product van de mal, plaatst dit op de lopende band naar de operator en voert de resten via een andere lopende band af naar de afvalbak. Tot slot werkt de operator de randen van het product af en stapelt het eindproduct in kratten voor afvoer.

Het rode kader geeft het afgebakende deel van dit onderzoek aan.



Figuur 35 Lijn 919 lay-out (Polytec composites, 2022)

Procesbeschrijving lijn 919

De blauwe lijn door Figuur 35 geeft het pad van productie aan. Van ruw materiaal op de rol naar afgewerkt product.

Ten eerste wordt het materiaal van de rol gerold. Ten tweede wordt het in delen gesneden. Ten derde wordt het door een robotarm in de pers gelegd en geperst. Ten vierde haalt een robotarm het product uit de pers en legt het op het koel rek. Ten vijfde legt een robotarm het gekoelde product op de lasermal. Ten zesde snijdt de lasersnijder het product. Ten zevende haalt een robotarm het gesneden product van de mal, plaatst dit op de lopende band naar de operator. Tot slot werkt de operator de randen van het product af en stapelt het eindproduct in kratten voor afvoer.

Het rode kader geeft het afgebakende deel van dit onderzoek aan.

Laserveiligheid klasse 1

Veilig

Laserlicht van deze klasse is ten alle tijden veilig in alle omstandigheden. Zelfs bij gebruik van optische hulpmiddelen zoals een vergrootglas of lens. De lichtbundels uit deze lasers overschrijden de maximum toegestane blootstellingswaarden niet. Er is dus geen risico op oogletsel. Het optisch vermogen van lasers uit deze klasse blijft beperkt tot 0.4 mW. Denk aan de LAM afstands lasers. Vergelijken met andere laserklassen is dit de veiligste.

Laserveiligheid klasse 2

Oogveilig indien zichtbaar en <1mW

Een klasse 2 laser wordt als veilig beschouwd bij directe instraling in het oog. Mits het laserlicht zich in het zichtbare spectrum bevindt en een optisch vermogen heeft van maximaal 1 mW. Onder normale omstandigheden sluit het menselijk oog uit reflex het ooglid in 250 ms. Hierdoor wordt schade aan het oog voorkomen. Deze klasse is alleen van toepassing op licht binnen zichtbare golflengten en een optisch vermogen van maximaal 1 mW. Denk aan de Z1D-635-pe-24, een rode puntlaser die gebruikt wordt bij positionering in de textielindustrie.

Laserveiligheid klasse 3R

Altijd gevaarlijk bij directe instraling

Lasers in de klasse 3R hebben een continue straal en een optisch vermogen tussen 1 en 5 mW. Binnen het golflengtegebied tussen 400 en 700 nm geldt een maximaal AEL (Accessible Emission Limit). Deze is vijf keer groter dan een laser in de klasse 2. Voor lasers in het spectrum vanaf 302,5 nm geldt een maximum van 5x de AEL van een klasse 1 laser. Directe instraling van deze lasers worden als gevaarlijk beschouwd. Reflecties hoeven onder normale omstandigheden niet als gevaarlijk beschouwd te worden. Het gebruiken van optische instrumenten maakt deze klasse ten alle tijden gevaarlijk. Denk hierbij aan de Z5M18B-F-635-pe puntprojectielaser.

Laserveiligheid klasse 4

Zowel direct als gereflecteerd gevaarlijk en schadelijk

Dit is de hoogste en meest gevaarlijke laserklasse. Laserbundels met een optisch vermogen hoger dan 500 mW behoren tot klasse 4. Zowel directe instraling als instraling van reflecties zijn ten alle tijden gevaarlijk. Tevens kunnen deze lasers een ondergrond of atmosfeer doen ontsteken wat kan leiden tot een brand of explosie. Laserstralen in deze klasse kunnen de huid verbranden of hevige en zelfs permanente schade aanbrengen bij de ogen. De schade kan komen door een blootstelling aan directe, divergente of indirecte straling. Voor een klasse 4 laser moet een NOHA (Nominal Ocular Hazard Area) en een NOHD (Nominal Ocular Hazard Distance) in acht worden genomen. Deze zones kunnen veiliger gemaakt worden met een key switch of een safety interlock zoals van Haake. Hierdoor kunnen mensen niet in het gevarengedebied met de klasse 4 laser komen wanneer deze werkt. Vergelijken met andere laserklassen is dit de meest gevaarlijke.

Laserveiligheid klasse 1M

Veilig zonder optische hulpmiddelen

Een laser in de klasse 1M is veilig in alle omstandigheden. Ook bij directe instraling in het oog, behalve wanneer de bundel door een optisch instrument loopt. Dan is een directe instraling gevaarlijk. Divergerende (spreidende) en collimerende (samenkomende) bundels zijn in het bijzonder gevaarlijk bij een directe instraling. Denk aan de Z1M18B-F-635-lg90 die gebruikt wordt in toepassingen zoals het positioneren van een zaag op een zaagtafel.

Laserveiligheid klasse 2M

Gelijk aan klasse 2 maar zonder optische hulpmiddelen

In deze klasse is het laserlicht (oog)veilig door de snelheid waarmee de mens de ogen sluit. Principeel hetzelfde als klasse 2. Echter is er een hele belangrijke uitzondering. Er mag geen optisch instrument gebruikt worden. Ook hebben veel lasers in deze klassen een hoog divergerende of brede bundeldiameter. Een laser in deze klasse is de ZLP1 laserprojector van Z-Laser die gebruikt wordt in logistieke toepassingen zoals pick-and-place.

Laserveiligheid klasse 3B

Ten alle tijde gevaarlijk en mogelijk schadelijk

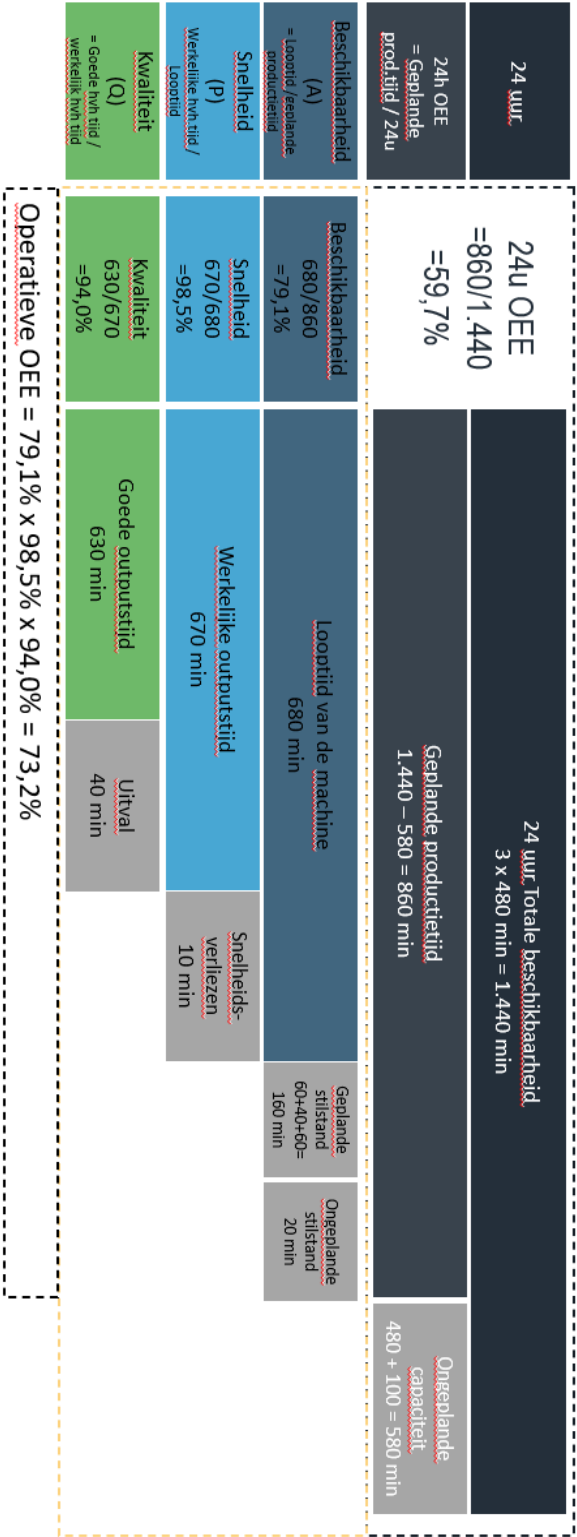
Een klasse 3B laserbundel is ten alle tijden gevaarlijk voor het oog. Zowel in het zichtbare als onzichtbare spectrum. Ook kan instraling van reflecties schade aanbrengen bij het oog. Normaal gesproken is een blootstelling aan een reflectie van 13 cm met een duur van maximaal 10 seconden te beschouwen als niet gevaarlijk. Het maximale optische vermogen in de klasse 3B is 500 mW voor lasers met een continue bundel. Bij gepulste lasers moet de maximale hoeveelheid energie per puls per oppervlakte kleiner zijn dan 105 J.m⁻². Bedrijven moeten extra maatregelen nemen voor werknemers die in de buurt van een klasse 3B laser werken.



Figuur 36 Laserklassen (Sensor partners, 2022)

VOORBEELD → HOE HOOG IS DE OEE?

- Er wordt in twee ploegen gewerkt op de site, dus één ploeg wordt niet gebruikt = 480min
- 100 minuten was de fabriek niet bezet met orders
- Elke shift heeft een pauze van 30 min = 60 min
- Een ombouw van 40 min
- Eén onderhoudsbeurt van 60 min
- Eén storing van totaal 20 min
- Looptijdverlies door leeg draaien 10 min
- 20 st uitval met 2 min cyclustijd per onderdeel = 40 min



Figuur 37 OEE Polytec (D. Roks, 2022)

Omschrijving	Soort fout	Type afwijking	Doorzak	Machine
Bij Damier China zijn meerdere delen MH213 ED44 gevonden waarbij het sleufgat gebroken was. Eerste 3 leveringen controleren. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	300 Cracks in product	The weak slotted hole was caused by an adjustment in the relay pattern because the parts were not full and resulted into defect parts at the customer.	919
Bij Aguar Castle Bromwich is 1 deel gevonden waarbij 2 gaten niet handmatig geboord zijn. De huidige voorraad moet 100%; gecontroleerd worden op aanwezigheid van de 2 geboorde gaten. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	301 No holes present	Zie 8D rapport	953
Bij Damier Voth zijn meerdere delen gevonden die niet goed gelaseerd zijn waardoor ze niet inbouwbaar zijn. De huidige voorraad moet 100%; gecontroleerd worden op lasercontour op aangegeven gebied. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	313 Deviations on surface		952
Bij Mercedes Benz Vitoria zijn 17 delen gevonden die welkeerd gelaseerd zijn. De huidige voorraad moet 100%; gecontroleerd worden op doorgeleide gaten. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	309 Incorrect cutting pattern	zie 8D report	953
Bij Damier Beijing zijn 37 delen MH213 ED44 gevonden waarbij de SMC niet volledig uitgehard was. Interne voorraad moet gecontroleerd worden op dat de SMC volledig uitgehard is. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	313 Deviations on surface	zie 8D rapport	908
Bij de klant BEAC in Beijing China zijn 35 delen MH213 ED44 gevonden die beschadigd zijn tijdens transport. De voorraad hoeft niet uitgegevoerd te worden aangezien de transportmethode naar China is. Verkeerde voorstel voor verpakking voor komende weken het implementeerd om het volgende voorkomen. Tijdens kwaliteitscontrole 035-7-2022 bij lijn 8 en 11 waren in de vaten is gebreken dat er bij meerdere delen MH213 ED44 niet sluitga gebreken was. Interne voorraad van 8 en 9 juli moet gecontroleerd worden op niet gebroken slotgaten. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Logistic failure	106 Transport damage		919
Bij Damier Truck zijn meerdere EAM1960 E41 delen gevonden waarbij het laspositiecon afwijkt waardoor de deksel niet op de deelen te monteren zijn. Interne voorraad moet gecontroleerd worden op juiste positie van de lasuitstapeling. [Eventueel deksel gebreken]	Processing failure	304 Holes with deviation diameter	geen kalibers nog aanwezig in productie door lange bestel tijd tevens tekeningen niet duidelijk.	908
Bij Landover Halenwood is 1 deel RJTSFT E01 gevonden waarbij 1 bevestigingsgat niet gelaseerd was. De huidige voorraad van de RJTSFT E01 moet gecontroleerd worden op alle gelaseerde gaten open zijn. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	302 Holes not open		952
Bij Landover Halenwood is 1 deel RJTSFT E01 gevonden waarbij 1 gat voor de afvoersluis niet gelaseerd was. De huidige voorraad van de RJTSFT E01 moet gecontroleerd worden op alle gelaseerde gaten open zijn. Labels voorzien van groene langwerpige 100%, controle sticker.	Processing failure	302 Holes not open	Naar alle waarschijnlijkheid is een respantijl deelnnummer stickers achtergehouden ipv te retourneren aan SFC. Dit resulteerde in een gedeelte van de batch die welkeerd geschilderd is geweest en vanuit onderzoek is gebleken dat dit ook niet onderwerpen is aan de hand van	953
product is slecht afgewerkt (gelaseerd) waardoor er beschadiging lbaam aanzet	Processing failure	301 No holes present	Zie 8D rapport	953
2 delen gevonden zonder de vereiste geboorde gaten.	Processing failure	310 Too much glass on our edge	Opzet niet goed uitgevoerd. Slecht gelaseerde delen geaccepteerd. slecht doorgeleerd, programma aangepast omdat het verschoven is. slecht doorgeleerd, programma aangepast omdat het verschoven is. the designated position due to recent machine additions there. This	952
materiaal problemen				
probleem gerelateerd aan handmatige actie				
probleem vanuit lasersnijder				
logistiek probleem				

Figuur 38 Klantklachten 2021

Key Items	Available	Times Running	Stopped	# Stops	Strong machine			Strong matijs			Kwaliteit			Ombouw			Geen materiaal							
Machine				M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies				
908	362310,38	257796,22	104514,17	607	26176,3	7,22%	64	2746,95	0,76%	35	1447,42	0,40%	106	11183,28	3,09%	18	222,65	0,06%						
919	367447,42	238891,18	128556,23	404	20852,4	5,67%	47	1739,35	0,47%	25	1180,58	0,32%	46	7751,43	2,11%	6	104,43	0,03%						
952	407097,82	281051,05	126046,77	199	11008,5	2,70%	3	21,83	0,01%	47	1223,77	0,30%	128	4615,37	1,13%	12	797,55	0,20%						
953	378810,88	254387,98	124422,90	336	14097,9	3,72%	4	38,88	0,01%	166	2987,52	0,79%	326	10064,25	2,66%	56	2784,67	0,74%						
Key Items	Geen operator				Pauze/aflos				Gepl. onderhoud				Experiment				Niet gepland				Onbekend			
Machine	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies			
908	26	7194,25	1,99%	208	3293,60	0,91%	520	15354,62	4,24%	4	1604,67	0,44%	56	16674,88	4,60%	3674	18615,6	5,14%						
919	6	714,97	0,19%	49	1314,55	0,36%	259	15541,65	4,23%	69	12085,40	3,29%	73	31993,62	8,71%	7432	35277,9	9,60%						
952	51	9898,83	2,43%	1186	13618,23	3,35%	698	10563,52	2,59%	16	2587,33	0,64%	108	47793,63	11,74%	5975	23918,2	5,88%						
953	115	7042,07	1,86%	3481	19573,37	5,17%	1124	7451,95	1,97%	103	2987,30	0,79%	146	34712,68	9,16%	8221	22682,3	5,99%						
Key Items	Lijnonderhoud				Cycles				Production				OEE Times				Efficiency				OEE			
Machine	# Stops	M-Stop tijd	M-% Verlies	Time	Efficiency	#	Total	Scrap	Good	Theoretical	%Net	Available	Planned Production	Operating	Availability	Performance	Quality	%						
908	0	0	0	66,66	96,32%	232045	232045	3754	228291,00	316301,37	72,18%	338441,25	336836,58	257796,22	76,53%	96,32%	98,38%	72,52%						
919	0	0	0	61,84	98,56%	231786	231786	2590	229196,00	322775,85	71,01%	334738,83	322653,43	238891,18	74,04%	98,56%	98,88%	72,16%						
952	0	0	0	168,97	93,68%	116094	106985	132	106853,00	134824,05	79,25%	349442,53	346855,20	281088,23	81,04%	89,80%	99,88%	72,68%						
953	0	0	0	149,78	112,46%	214952	215825	594	215230,50	187271,30	114,93%	337098,48	334111,18	254430,33	76,15%	111,61%	99,72%	84,76%						

Figuur 39 Storingen, Stilstanden en OEE-data 2021

Beschikbaarheid (Availability)

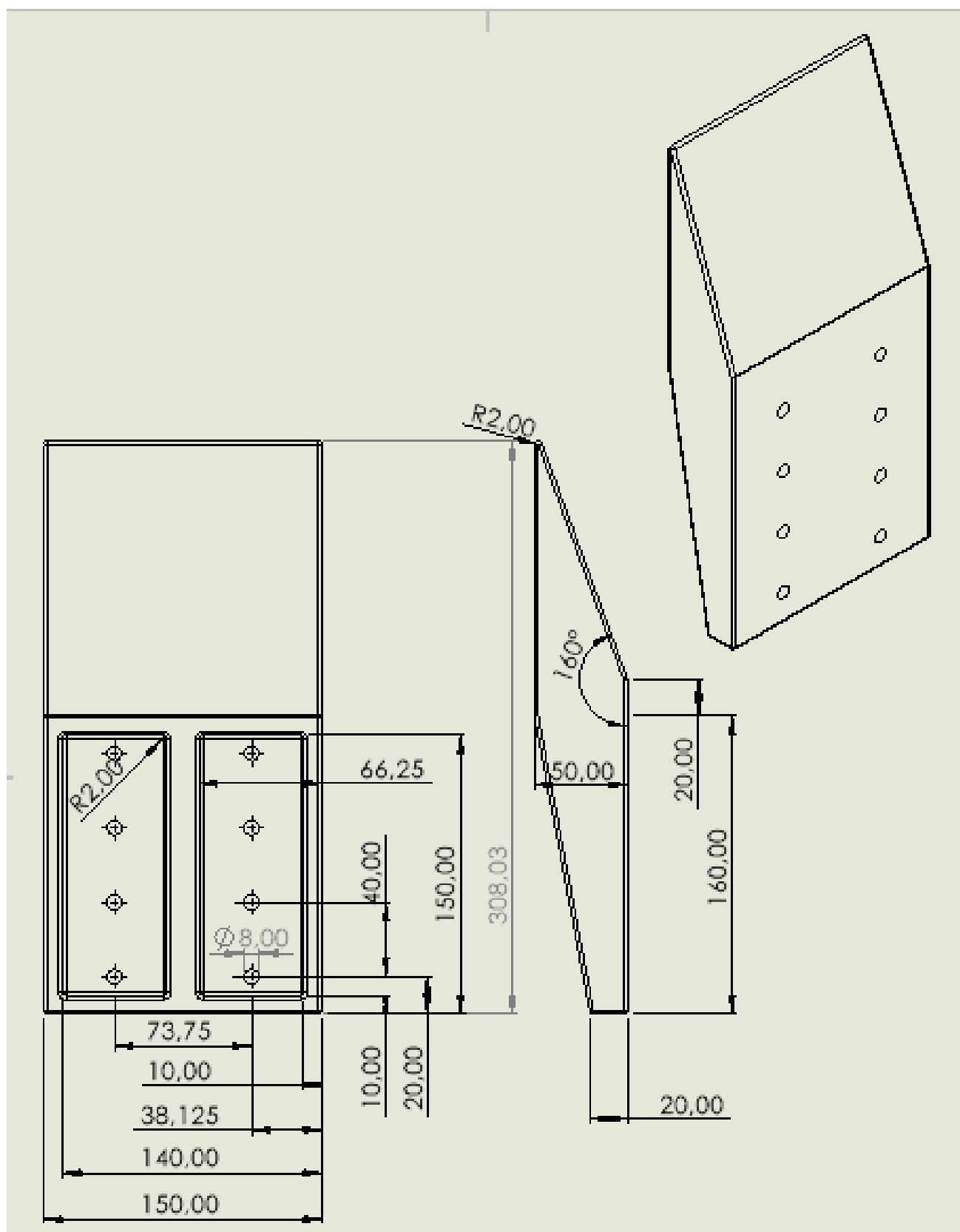
De beschikbaarheid wordt bepaald op basis van looptijd en stilstand tijd. Dit wordt als volgt gemeten. Bij iedere machine zit er een puls signaalzender aangesloten op de Programmable logic controller (PLC) kast, iedere keer wanneer de maltafel roteert en dus een nieuw product gaat snijden wordt er een puls uitgezonden. De tijd tussen 2 pulsen is de cyclus tijd van het productieproces van een bepaald product. Wanneer de tijd tussen 2 pulsen 200% is van de standaard ingestelde cyclus tijd registreert het systeem dit als stilstand.

Snelheid (Performance)

De snelheid wordt bepaald op basis van de cyclus tijden. BARCO registreert de tijd tussen 2 pulsen als cyclustijd. Vervolgens wordt samen met de theoretisch cyclustijd van dat product bepaald hoe snel het proces verloopt.

Kwaliteit (Quality)

De waarde voor kwaliteit wordt bepaald door het aantal goed geproduceerde producten te delen door het totaal aantal geproduceerde producten (goed + afkeur) en te vermenigvuldigen met 100%. Om afkeur te registreren moet iedere keer dat er een fout product wordt geproduceerd de operator 1 maal een knop indrukken. Dit zendt een puls die een puls counter registreert.



Figuur 40 Maattekeningen inloopstuk

Component offerte voor de inloopstukken en conische paspen. Zowel voor 1 machine als voor alle 4 de machines.

Manufacturable with Tool steel O1		Manufacturable with Tool steel O1	
inloopstuk.STEP		inloopstuk.STEP	
Price per part	€440.16	Price per part	€309.38
Quantity	12	Quantity	48
Total	€5,281.92	Total	€14,850.24
Technology	CNC machining	Technology	CNC machining
Material	Tool steel O1	Material	Tool steel O1
Finish	Smooth machining (Ra 1.6µm / Ra 63µin)	Finish	Smooth machining (Ra 1.6µm / Ra 63µin)
Shipping incl. customs costs	€82.00	Shipping incl. customs costs	€290.00
VAT 21%	€1,126.42	VAT 21%	€3,179.45
Total	€6,490.34	Total	€18,319.69

Figuur 41 Inloopstuk offerte, 1 machine of 4 machines (Protolabs company, 2022)

Review manufacturability feedback		Review manufacturability feedback	
conische pen 3.0.STEP		conische pen 3.0.STEP	
Price per part	€117.23	Price per part	€45.87
Quantity	4	Quantity	16
Total	€468.92	Total	€733.92
Technology	CNC machining	Technology	CNC machining
Material	Tool steel D2 1.2379	Material	Tool steel D2 1.2379
Finish	Smooth machining (Ra 1.6µm / Ra 63µin)	Finish	Smooth machining (Ra 1.6µm / Ra 63µin)
Shipping incl. customs costs	€11.00	Shipping incl. customs costs	€12.00
VAT 21%	€100.78	VAT 21%	€156.64
Total	€580.70	Total	€902.56

Figuur 42 Conische paspen offerte, 1 machine of 4 machines (Protolabs company, 2022)