

OP WEG NAAR EEN VOORDEELIGER LASPROCES



23-8-2016

Haalbaarheidsonderzoek voor
robotisering van het lasproces bij
Bedrijf X

UNIVERSITY OF
TWENTE.

Op weg naar een voordeliger lasproces

HAALBAARHEIDSONDERZOEK ROBOTISERING

Bacheloropdracht

Titel	Op weg naar een voordeliger lasproces
Subtitel	Haalbaarheidsonderzoek voor robotisering van het lasproces bij Bedrijf X
Auteur	N.C. Meijndert
Studentnr.	S1479687
Afstudeerdatum	23 augustus 2016
Instituut	Universiteit Twente
Opleiding	Technische Bedrijfskunde
Faculteit	Behavioural, Management and Social sciences

i.v.m. vertrouwelijkheid zijn de gegevens vermenigvuldigd met een onbekende factor om tot de weergegeven uitkomsten te komen.

VOORWOORD

Voor u ligt mijn afstudeeropdracht voor de bachelor opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Ik heb dit onderzoek uit mogen voeren bij Bedrijf X te Rotterdam van 18 april tot en met 15 juli 2016. Deze tijd heb ik ervaren als een erg leuke en leerzame periode, waarvoor ik graag alle medewerkers van Bedrijf X wil bedanken.

In het bijzonder wil ik mijn begeleider bedanken voor de fijne begeleiding en de interessante discussies die mij weer nieuwe inzichten gaven tijdens het onderzoek. Ook wil ik graag de werknemers van de afdeling Lastechniek bedanken voor al hun geduld met het uitleggen van alle technische details van het lasproces en alle verdere hulp.

Daarnaast gaat mijn dank uit naar mijn eerste begeleider Leo van der Wegen en tweede begeleider Sandor Löwik voor de begeleiding vanuit de Universiteit Twente. Zij hebben mij voorzien van feedback en ondersteund tijdens dit onderzoek.

Tot slot gaat mijn dank uit naar mijn familie en vrienden, zij zorgden voor support of juist de benodigde afleiding tijdens het uitvoeren van dit onderzoek.

Nicky Meijndert

Rotterdam, augustus 2016

MANAGEMENTSAMENVATTING

BEDRIJF X is een technisch dienstverlener, die zich richt op het ontwikkelen van innovatieve technologie-oplossingen en services.

Uit interviews met X en Y (Projectmanagement) en de afdeling lastechniek binnen BEDRIJF X zijn de problemen waar dit onderzoek zich op richt geïdentificeerd. Het probleem waar een oplossing voor werd gezocht is het tekort aan hoog gekwalificeerde lassers. Binnen BEDRIJF X werd een oplossing gezien, namelijk robotisering/mechanisering van het lasproces in de werkplaats. Dit heeft geleid tot een haalbaarheidsonderzoek met als hoofdvraag:

“Hoe kan robotisering en/of mechanisering bijdragen aan een voordeliger lasproces binnen Bedrijf X?”

Om deze vraag te beantwoorden is er onderzoek gedaan naar de verschillende opties voor robotisering en mechanisering die beschikbaar zijn op de markt. Uit deze opties zijn de verschillende beschikbare opties voor BEDRIJF X gefiltreerd. Er zijn in dit onderzoek 4 opties voor robotisering/mechanisering tegen elkaar afgewogen, namelijk:

- Huidige situatie van werken
- Valk Welding robot
- RotoWeld
- De inzet van reeds beschikbare hulpmiddelen op de werkvloer, die tot nu toe nog weinig zijn ingezet. (pendelmachines en manipulatoren)

Om een goede afweging te maken tussen deze verschillende opties voor BEDRIJF X is er gekeken naar de verschillende eisen en wensen en zijn hiermee verschillende criteria opgesteld. Deze criteria bestaan uit: kosten, kwaliteit en flexibiliteit. Om deze criteria meetbaar te maken, zijn er verschillende meetbare sub attributen opgesteld per criteria. Aan deze attributen zijn scores en gewichten toegekend om zo de beste oplossing voor BEDRIJF X te kunnen bepalen. De totale punten voor de verschillende opties staan hieronder weergegeven.

Optie	Score
Huidige situatie	2030
Pendelmachines	1622
Valk Welding robot	1120
RotoWeld	1915

Uit de analyse is gebleken dat de huidige situatie het beste scoort in vergelijking met de andere opties. En dat de beste optie voor de daadwerkelijke inzet van robotisering/mechanisering de RotoWeld is. Een van de grootste aanbevelingen is dan ook een uitgebreidere afweging maken tussen deze 2 opties.

Naar verwachting levert de RotoWeld de eerste 10 jaar een jaarlijkse besparing van €8381,34 (€1,35 per gelaste meter), na deze 10 jaar is de investering afgeschreven en stijgt de jaarlijkse besparing naar verwachting naar €18.077,40 (€2,90 per gelaste meter). De besparing is slechts miniem als er wordt gekeken naar de totale omzet die jaarlijks gemaakt wordt in de werkplaats, welke ongeveer 11 miljoen euro bedraagt. Echter is het wel een besparing en bespaart deze oplossing niet alleen op kosten, maar lost ook andere problemen op, zoals een toenemend tekort aan hoog gekwalificeerde lassers, fysieke belasting van de werknemers en de hoge gevraagde kwaliteit. Daarentegen is de terugverdientijd naar verwachting 17,5 jaar wat zeker een risico met zich mee brengt en er goed gekeken moet worden of dit uit kan qua kosten.

Als er wordt gefocust op het kostenplaatje is het zeker van belang om de pendelmachines die al aanwezig zijn in de prefab, te gaan implementeren in de dagelijkse werkzaamheden van de lassers. De inzet van de pendelmachines zorgt voor een besparing van gemiddeld €2,35 per gelaste meter.

Aanbevelingen

Als ik nu de keuze zou moeten maken voor de RotoWeld of de huidige situatie zou ik de huidige situatie voor lief nemen en eerst vervolgonderzoek uitvoeren naar de RotoWeld. Voor een later stadium zou het zeker een goede oplossing kunnen zijn, aangezien het een hoop huidige problemen oplost. Echter zijn er ook problemen die in de huidige situatie naar mijn mening eerst opgelost dienen te worden. Zoals de planning van de werkzaamheden en het inzetten en verkopen van goedkopere processen aan de klanten.

De stappen die hierin het beste kunnen worden genomen zijn:

1. Optimaliseren

Onder andere de planning en de verkoop van de verschillende processen kunnen nog verder geoptimaliseerd worden.

2. Mechaniseren

Met behulp van de optimalisering, zoals een duidelijke planning en overzicht van de beschikbare middelen kunnen de middelen van mechanisering beter ingezet worden.

3. Automatiseren/robotiseren

Als de eerste 2 stappen doorlopen zijn kan er een betere afweging worden gemaakt voor de inzet van automatisering of robotisering. Voor de afweging en eventuele implementatie is er mijns inziens meer overzicht nodig van de huidige processen welke in de eerste 2 stappen wordt verkregen.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	4
MANAGEMENTSAMENVATTING.....	6
1 INTRODUCTIE.....	12
1.1 Het bedrijf	12
1.2 Aanleiding onderzoek.....	12
1.3 Kernprobleem.....	14
1.4 Oplossing	15
1.5 Onderzoeksvragen	16
1.6 Probleemaanpak.....	18
1.7 Stakeholder analyse.....	19
1.8 Beoogde deliverables.....	19
1.9 Afbakening.....	19
2 ANALYSE HUIDIGE SITUATIE	22
2.1 Procesanalyse	22
2.1.1 Processen	24
2.1.2 Documenten	28
2.2 Inventarisatie middelen	29
2.3 Aandachtspunten	30
2.4 Conclusie	31
3 THEORETISCH KADER	34
3.1 Robotisering en mechanisering	34
3.2 Laskosten	34
3.2.1 Basz' theorie	35
3.2.2 Lincoln Electric Laskosten.....	37
3.2.3 Toepassing theorie laskosten	39
3.3 Ervaringen robotisering en mechanisering.....	39
3.3.1 Potentiële voordelen.....	39
3.3.2 Potentiële nadelen	40
3.4 Conclusie	41

4 MOGELIJKHEDEN ROBOTISERING	44
4.1 Opties robotisering lasproces	44
4.2 Opties robotisering voor BEDRIJF X	45
4.3 Conclusie	49
5 BEOORDELING OPTIES.....	52
5.1 Eisen en wensen	52
5.2 Operationalisering criteria	52
5.2.1 Kosten.....	53
5.2.2 Kwaliteit	53
5.2.3 Flexibiliteit	53
5.2.4 Terugverdientijd	54
5.3 Data verzameling	55
5.3.1 Aanschafkosten	55
5.3.2 Kosten per meter.....	55
5.3.3 Onderhoudskosten	59
5.3.4 Afkeurpercentage	59
5.3.5 Fabriekstoleranties	60
5.3.7 Aantal verschillende processen.....	60
5.3.8 Totaal aantal toepasbare lassen.....	61
5.3.9 Omschakeltijd	61
5.3.10 Capaciteit	62
5.3.11 Doorlooptijd	62
5.3.12 Terugverdientijd	62
5.4 Analyse beste optie voor BEDRIJF X.....	63
5.5 Conclusie	64
6. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	68
6.1 Conclusie	68
6.2 Aanbevelingen.....	70
VERWIJZINGEN.....	72
BIJLAGE A: ISOMETRIC.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
BIJLAGE B: WPS	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

BIJLAGE C: PQR.....FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

BIJLAGE D: WQR.....FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

BIJLAGE E: KNRFOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

BIJLAGE F: NDOFOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

BIJLAGE G: LISL.....FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

BIJLAGE H: DATABASE KOSTEN PER METERFOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

1 | INTRODUCTIE

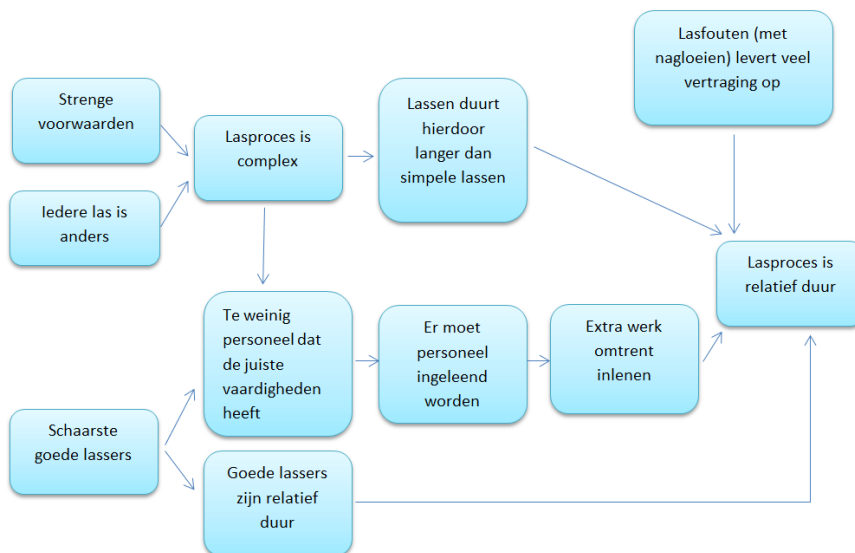
In dit hoofdstuk wordt een introductie gegeven van het uitgevoerde onderzoek. Allereerst in paragraaf 1.1 een korte toelichting over BEDRIJF X, gevolgd door de aanleiding van het onderzoek in paragraaf 1.2. Daarna wordt in paragraaf 1.3 het kernprobleem besproken met aansluitend in paragraaf 1.4 de mogelijke oplossing die wordt gezien voor het probleem. In paragraaf 1.5 worden de onderzoeksvragen besproken en de bijbehorende aanpak en onderzoeksmethoden worden weergegeven in paragraaf 1.6. Tot slot betreft paragraaf 1.7 een stakeholder analyse, 1.8 de beoogde deliverables en wordt in paragraaf 1.9 de afbakening besproken.

1.1 | Het bedrijf

BEDRIJF X is een technisch dienstverlener, die zich richt op het ontwikkelen van innovatieve technologie-oplossingen en services. Hiermee kunnen zij bedrijven helpen om hun bedrijfsprocessen op een duurzame manier te verbeteren. De vestiging waar dit onderzoek plaatsvindt, bevindt zich in Rotterdam. Doordat deze locatie zich midden in Rotterdam bevindt, horen hier ook passende projecten bij zoals marine & offshore of petrochemie.

1.2 | Aanleiding onderzoek

Uit interviews met X en Y (Projectmanagement) en de afdeling lastechniek binnen BEDRIJF X zijn de problemen waar dit onderzoek zich op richt geïdentificeerd. Er zijn binnen het bedrijf verschillende problemen geconstateerd m.b.t. het lasproces, zoals een tekort aan hoog gekwalificeerde lassers, werkzaamheden die niet goed gaan en de bijbehorende vertraging en hoge kosten van het inlenen van personeel. Om een goed overzicht te creëren zijn de problemen in figuur 1 weergegeven in causaal verband.



FIGUUR 1: PROBLEEMKLUWEN

De problemen uit de probleemkluwen in figuur 1 zullen hieronder worden toegelicht:

Strengere voorwaarden

Het productieproces en de bijbehorende eindproducten moeten aan strenge voorwaarden voldoen. Deze voorwaarden worden enerzijds gesteld door internationale instanties die kwaliteitsnormen stellen, anderzijds door de klanten en stakeholders van BEDRIJF X. BEDRIJF X heeft te maken met een aantal grote klanten die vaak zelf grotendeels willen bepalen hoe de werkzaamheden worden uitgevoerd om de kwaliteit te waarborgen. Dit probleem komt dus voort uit eisen van andere organisaties waar BEDRIJF X aan zal moeten voldoen, er kan weinig invloed op worden uitgeoefend.

Iedere las is anders

Een van de producten/diensten die aangeboden wordt door BEDRIJF X is het onderhouden van bestaande installaties, hierbij worden ook de bestaande lassen vervangen waar nodig. Vrijwel iedere las in een installatie is anders omdat deze tijdens het gebruik is gevormd en omdat alle lassen zich op andere plekken in de installatie bevinden. Een ander onderdeel van BEDRIJF X is het opzetten van nieuwe installaties en plants, deze worden ontworpen door de afdeling engineering waarna dit wordt uitgevoerd. Ieder ontwerp is uniek en vrijwel iedere verbinding is ook uniek. Doordat iedere las uniek is worden er vrijwel geen batches geproduceerd.

Schaarste goede lassers

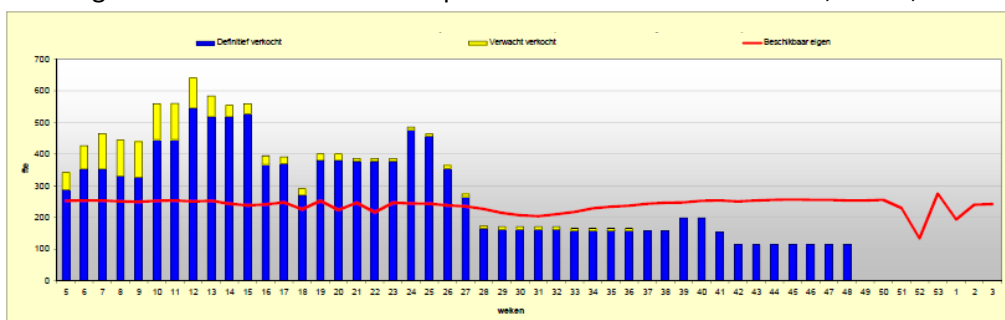
Doordat het lasproces aan hoge eisen moet voldoen, zijn lassers nodig die hele hoge kwaliteit kunnen leveren. Deze vakmensen zijn schaars in de markt en worden al uit verschillende landen gehaald om deze schaarste een beetje te kunnen dekken. Maar nog steeds blijft er een tekort aan goede lassers binnen BEDRIJF X.

Lasproces is complex

De lastig te bereiken plekken, complexe situaties en locaties zorgen er samen voor dat het lasproces vaak complex is. De lastig te bereiken plekken zorgen ervoor dat niet alle lasapparatuur geschikt is en dat de lasser soms in een houding moet lassen die zeker niet optimaal is, zoals onder een hoek tussen andere buizen. De complexe locaties en situaties ontstaan ook doordat er niet overal zomaar gelast mag worden, doordat er bepaalde stoffen in de lucht aanwezig zijn of het explosiegevaar verhoogd wordt door het lassen. Hierdoor moet er soms een andere lasmethode worden gebruikt of moet er onder hele andere omstandigheden worden gelast.

Te weinig personeel dat over de juiste vaardigheden beschikt

In figuur 2 hieronder is een capaciteitsplanning weergegeven van het directe personeel onder de afdeling werktuigbouw van 2015. Het directe personeel betreft o.a. de lassers, fitters, monteurs e.d.



FIGUUR 2: CAPACITEITSPANNING DIRECT PERSOONEEL

In deze grafiek wordt het werk in fte's weergegeven dat is verkocht (in projecten bijvoorbeeld) per week in blauwe balken weergegeven. De gele balken staan voor het werk waarvan verwacht wordt dat dit nog wordt verkocht in fte's, bovenop het werk dat al zeker verkocht is. De rode lijn geeft aan hoeveel personeel in fte's beschikbaar is in deze weken. Hieruit wordt duidelijk zichtbaar dat er eigenlijk altijd een onderbezetting is, waarvoor direct personeel wordt ingeleend.

Goede lassers zijn relatief duur

Doordat er schaarste op de markt is wat betreft lassers die zeer hoge kwaliteit leveren en ook nog eens de juiste lascertificaten bezitten, zijn deze krachten ook duur. Dit is natuurlijk relatief, maar ze zijn gewild waardoor ze meer waard en ook deze factor draagt eraan bij dat het lasproces een relatief duur proces is.

Lasproces duurt relatief lang

Voor de duur van het lasproces zijn algemene industrie normen opgesteld hoe lang een las van een bepaalde grootte mag duren. Dit is relatief, omdat er veel verschillen in kwaliteit gevraagd wordt. Met het proces van BEDRIJF X wordt een hoge kwaliteit geleverd, maar dit kost dan ook meer tijd. Het lasproces zou misschien iets sneller kunnen worden uitgevoerd maar hierdoor neemt de kans op afkeur ook toe omdat er niet aan de juiste kwaliteit wordt voldaan.

Er moet personeel ingeleend worden

Op de piekmomenten is er qua werkdruk meer personeel nodig omdat er te weinig eigen personeel in dienst is met de juiste kwalificaties. Het inlenen van personeel zorgt voor extra werk en meer onzekerheid wat betreft de kwaliteit van het personeel. Daarnaast ligt de gemiddelde leeftijd van de lassers in vaste dienst rond de 50 jaar. De verwachting is dat er de komende jaren meer kwalitatief goede lassers uitgaan dan dat er bij gaan komen. Hierdoor zal er steeds meer personeel ingeleend moeten gaan worden.

Extra werk door inlenen

Het inlenen van personeel zorgt voor meer werk door de bijkomende uitgebreide administratie e.d. voor andere afdelingen zoals personeelsplanning en administratie. Daarnaast moeten er proeflassen worden gemaakt waarmee ingeleend personeel laat zien dat zij voldoen aan de juiste kwaliteiten. Hiervan wordt gemiddeld 2/3 afgekeurd door de ontzettend hoge kwaliteitseisen, het eigen personeel moet hier tijd in stoppen om de lassen te controleren en er moet materiaal en ruimte beschikbaar zijn voor degenen die komen proeflassen. Dit werk brengt vanzelfsprekend kosten met zich mee die ook weer bijdragen aan de kosten van het lasproces.

Lasproces is relatief duur

Het lasproces blijkt een kostbaar proces te zijn, door de verschillende oorzaken die zijn genoemd, zoals hoge personeelskosten, strenge voorwaarden en hoge kwaliteitseisen. BEDRIJF X ziet een noodzaak om de kosten van dit proces te verlagen, vanzelfsprekend kan er meer winst gemaakt worden als de laskosten lager worden. Maar men wil ook de optie bekijken om dit voordeel aan de klant door te berekenen, om zo een betere prijs te kunnen bieden en een betere concurrentiepositie te verkrijgen. Met name dit laatste aspect is van belang doordat de werkzaamheden onder druk staan door concurrentie uit lage lonen landen zoals Polen en Portugal.

1.3| Kernprobleem

Om het kernprobleem te achterhalen wordt er gekeken naar het begin van de probleemkluwen, oftewel de meest linkerzijde. Hier bevinden zich de problemen die de verst liggende oorzaak zijn voor het uiteindelijke probleem: het lasproces en de lasfouten die erg duur zijn.

Deze problemen zijn:

- **Strengere voorwaarden**

BEDRIJF X kan aan de strenge voorwaarden niet veel veranderen, deze worden opgelegd door andere partijen en BEDRIJF X moet hieraan voldoen. Doordat BEDRIJF X zelf slechts heel beperkt invloed kan uitoefenen op dit probleem, kan dit geen kernprobleem zijn (Heerkens, 2012).

- **Iedere las is anders**

Iedere las is anders door de bestaande installatie of het ontwerp van een nieuwe installatie. Het ontwerp kan vrijwel nooit zo worden aangepast zodat iedere las gelijk is, hetzelfde geldt voor een bestaande installatie. Doordat op dit probleem ook vanuit BEDRIJF X weinig invloed uitgeoefend kan worden is dit ook geen kernprobleem (Heerkens, 2012).

- **Schaarste hoog gekwalificeerde lassers**

Er is een tekort aan hoog gekwalificeerde lassers, voor dit probleem kan BEDRIJF X kijken naar verschillende oplossingen, zoals mensen opleiden, andere afspraken rondom inlenen, automatisering enzovoort. Dit probleem kan aangepakt worden door BEDRIJF X en is daarmee ook het kernprobleem, doordat de andere twee problemen die het verst liggen van het uiteindelijke probleem, geen kernprobleem kunnen zijn.

Het kernprobleem waar in dit onderzoek naar gekeken gaat worden is het tekort aan mensen met de juiste vaardigheden doordat de hoog gekwalificeerde lassers erg schaars zijn.

1.4| Oplossing

Voor het kernprobleem zijn verschillende oplossingen te bedenken. Binnen Bedrijf X werd voor het probleem een mogelijke oplossing gezien, namelijk het inzetten van robots en/of mechanisering in het lasproces. Voor dit onderzoek is gevraagd deze mogelijkheid te onderzoeken. In dit onderzoek wordt alleen gekeken naar deze oplossing en de haalbaarheid van het inzetten van robots en/of mechanisering. Daarmee is dit een haalbaarheidsonderzoek voor robotisering of mechanisering van het lasproces. De andere mogelijke oplossingen worden omwille van de tijd in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Doordat dit onderzoek een haalbaarheidsonderzoek is en er al een oplossing is gegeneerd, begint dit onderzoek in de vierde fase van de Algemeen Bedrijfskundige Probleemaanpak (ABP). Fase 1, de probleemidentificatie, is in deze paragraaf behandeld. De fases 2 en 3 van de ABP worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten (Heerkens, 2012).

1.5| Onderzoeksvragen

De vraag waarmee dit onderzoek begint, is de vraag of robotisering en/of mechanisering bij kan dragen aan een voordeliger lasproces. En zo ja, wat de beste optie is om in te zetten in het lasproces.

Met deze vragen, zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

Hoofdvraag: Hoe kan robotisering en/of mechanisering bijdragen aan een voordeliger lasproces binnen Bedrijf X?

1. Hoe ziet de huidige situatie eruit?

De analyse van de huidige situatie is noodzakelijk voor het maken van een goede afbakening en om een overzicht te krijgen van aspecten die van belang zijn voor mogelijke opties voor robotisering of mechanisering.

a. Hoe ziet het huidige proces eruit?

Door deze vraag te beantwoorden komt er een overzicht van de verschillende processen en de bijbehorende activiteiten. Hierdoor kan er goed gekeken worden welke activiteiten vervangen of ondersteund kunnen worden met robotisering of mechanisering.

b. Welke apparatuur wordt gebruikt in het proces?

Een ander onderdeel van de analyse van het proces is een inventarisatie van de apparatuur die aanwezig is in het proces. Zo wordt duidelijk welke ervaring er al is betreffende robotisering en mechanisering, maar ook met welke apparatuur een nieuwe investering moet integreren.

c. Wat zijn aandachtspunten in het huidige proces?

Door te kijken welke aandachtspunten er nu zijn in het lasproces, kan er op deze punten misschien robotisering of mechanisering worden ingezet om dit te verbeteren. Ook is het bij de implementatie van belang dat de aandachtspunten in het proces bekend zijn.

2. Welke theoretische informatie is nodig voor dit onderzoek?

Het is van belang om de benodigde theoretische achtergrond te bestuderen die nodig is voor dit onderzoek.

a. Wat wordt verstaan onder robotisering en mechanisering?

Door een duidelijke definitie vast te stellen voor zowel robotisering als mechanisering, kan hier duidelijk onderscheid in gemaakt worden.

b. Hoe kunnen de laskosten bepaald worden?

Om de laskosten te kunnen bepalen, wordt er gekeken naar de aspecten die hierbij van belang zijn. Daarnaast worden reeds uitgevoerde onderzoeken op dit gebied bestudeerd.

c. Welke ervaringen zijn er met betrekking tot robotisering en mechanisering (van het lasproces)?

Door verschillende cases te bestuderen waar men gebruik heeft gemaakt van robotisering en mechanisering kan er lering getrokken worden uit de opgedane ervaringen.

3. Welke opties zijn er voor robotisering van het lasproces?

Voordat er een keuze gemaakt kan worden welke robotisering of mechanisering het beste toegepast kan worden in het lasproces, wordt eerst onderzoek gedaan naar de verschillende mogelijkheden. Eerst zal er gekeken worden naar de verschillende opties die op de markt zijn, gevolgd door een analyse welke van deze opties voor het lasproces van BEDRIJF X geschikt zijn.

a. Welke opties zijn er op de markt?

Met deze onderzoeksvraag worden de verschillende opties op de markt belicht door gebruik te maken van eerder uitgevoerde onderzoeken en interviews met verschillende leveranciers.

b. Welke opties zijn er procesmatig gezien geschikt voor BEDRIJF X?

Met behulp van de eerste deelvraag en interviews op de werkvloer wordt er in deze onderzoeksvraag een filtering gemaakt van de opties die geschikt zijn voor BEDRIJF X.

4. Wat dragen de verschillende opties bij aan een voordeliger proces?

Nadat de verschillende opties voor robotisering of mechanisering voor BEDRIJF X bekend zijn, moeten de opties tegen elkaar afgewogen worden. Hiervoor wordt er eerst gekeken welke factoren nodig zijn om een goede afweging te kunnen maken en worden de verschillende factoren daarna besproken. Tot slot wordt er een afweging gemaakt voor de beste optie voor BEDRIJF X.

a. Welke factoren zijn nodig voor een goede afweging?

Met deze onderzoeksvraag wordt besproken welke factoren van belang zijn om een goede afweging te maken voor het uiteindelijke doel: een voordeliger lasproces. Ook wordt er besproken hoe deze factoren meetbaar gemaakt kunnen worden.

b. Hoe kunnen deze factoren gemeten worden?

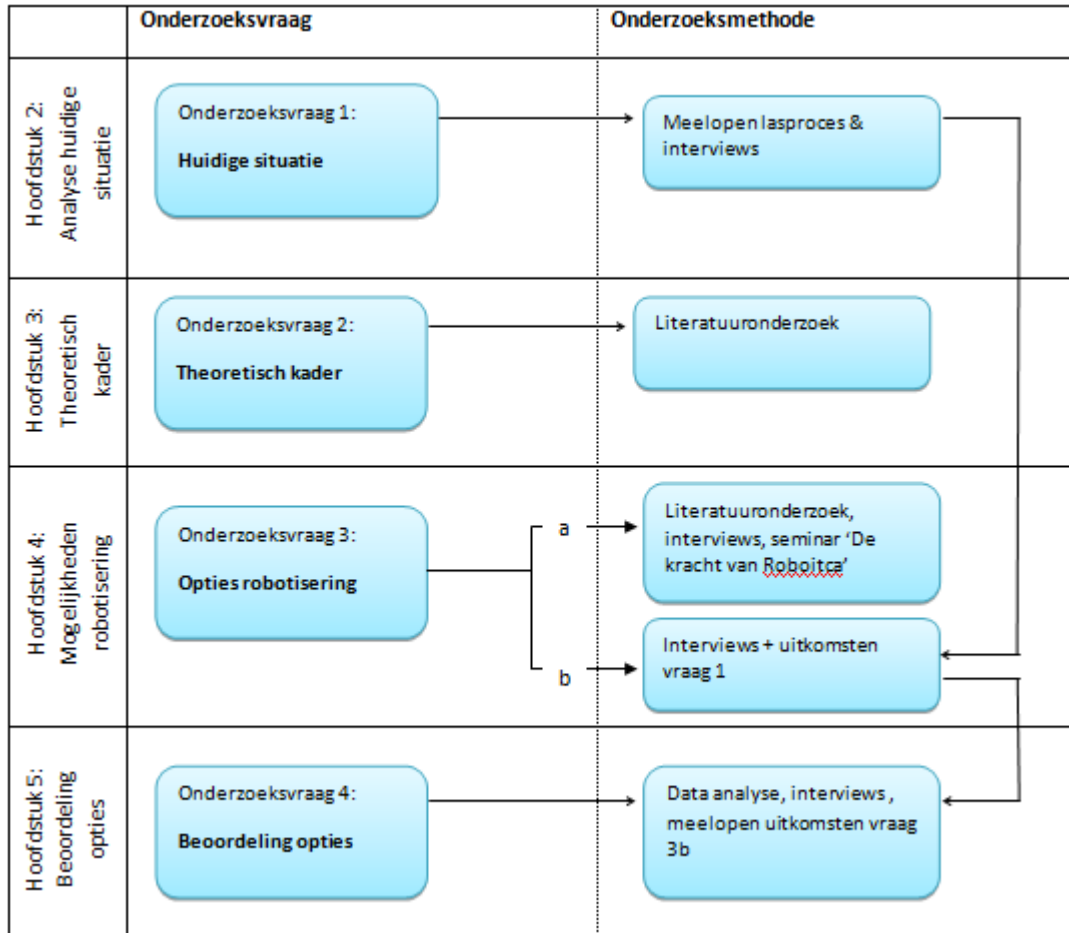
Nadat er is bepaald welke factoren nodig zijn voor een goede afweging, is het van belang om te kijken hoe deze factoren gemeten kunnen worden.

c. Welke optie is het beste voor BEDRIJF X?

Door een analyse te maken van de verschillende factoren en deze tegen elkaar uit te zetten, kan er gekeken worden naar de optie die het beste past binnen BEDRIJF X.

1.6| Probleemaanpak

In deze paragraaf wordt de aanpak van het onderzoek weergegeven op basis van de verschillende onderzoeksvragen met de bijbehorende onderzoeksmethode in figuur 3 hieronder.

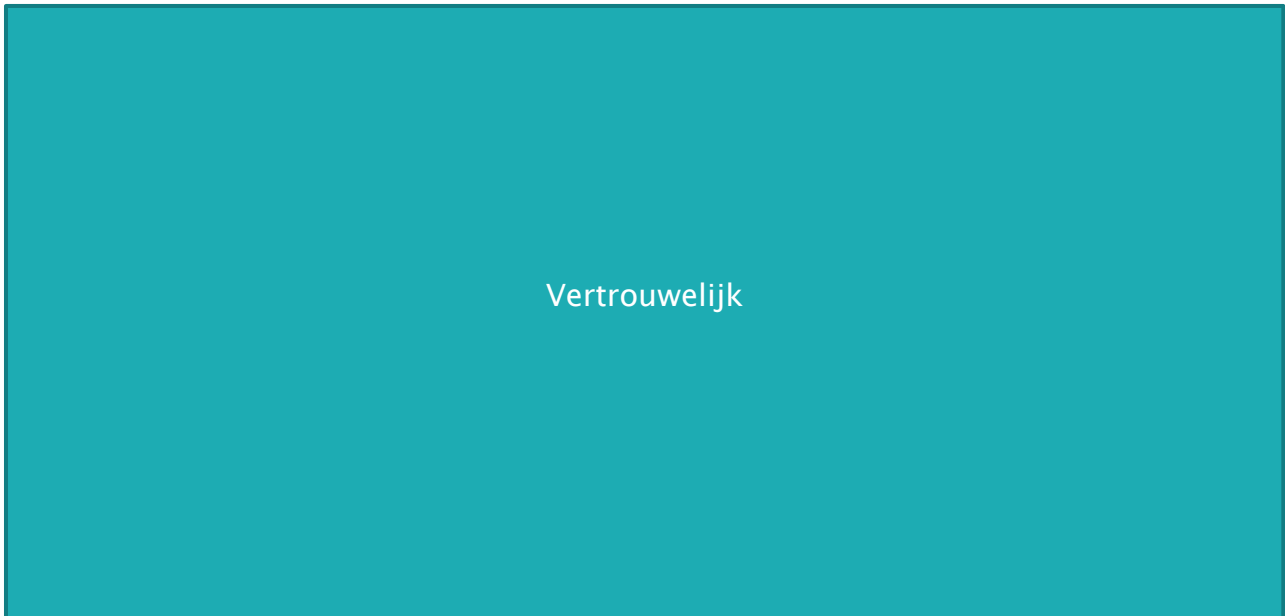


FIGUUR 3: PROBLEEMAANPAK

1.7| Stakeholder analyse

Stakeholder power-influence rooster

Om een onderscheid te maken in de verschillende stakeholders en om te kijken welke aanpak hier het beste past in de omgang, is het power-influence rooster gebruikt (Slack, Brandon-Jones, Johnston, 2013). In dit rooster staat op de verticale as aangegeven hoeveel invloed een stakeholder heeft en op de horizontale as hoeveel belang een stakeholder heeft bij het project. Deze 2 factoren zijn van invloed op hoe er omgegaan dient te worden met de verschillende partijen, in elk kwadrant staat aangegeven wat de beste aanpak is voor het contact.



FIGUUR 4: STAKEHOLDER POWER-INTEREST ROOSTER

1.8| Beoogde deliverables

Het beoogde doel is een advies omtrent het implementeren van robotisering en automatisering in het lasproces bij BEDRIJF X. Hiervoor wordt gekeken naar de verschillende opties voor robotisering en automatisering die beschikbaar zijn in de industrie en wordt er op basis van verschillende aspecten, zoals kosten en personeel gekeken welke van de opties het beste kan worden geïmplementeerd.

1.9| Afbakening

In dit onderzoek is er bewust voor gekozen om een aantal dingen buiten beschouwing te laten. Er wordt in dit onderzoek alleen de mogelijkheid onderzocht om robotisering/mechanisering toe te passen in de werkplaats. Op locatie zelf wordt er ook gelast, maar hierbij komen ontzettend veel factoren, weersinvloeden en dergelijke kijken waardoor het moeilijk meetbaar wordt en de mogelijkheden heel anders zijn. Daarom is dit buiten beschouwing gelaten en wordt er gefocust om robotisering/mechanisering toe te passen op de werkplaats. Verdere afbakening qua gegevens wordt verder in de bijbehorende hoofdstukken besproken.

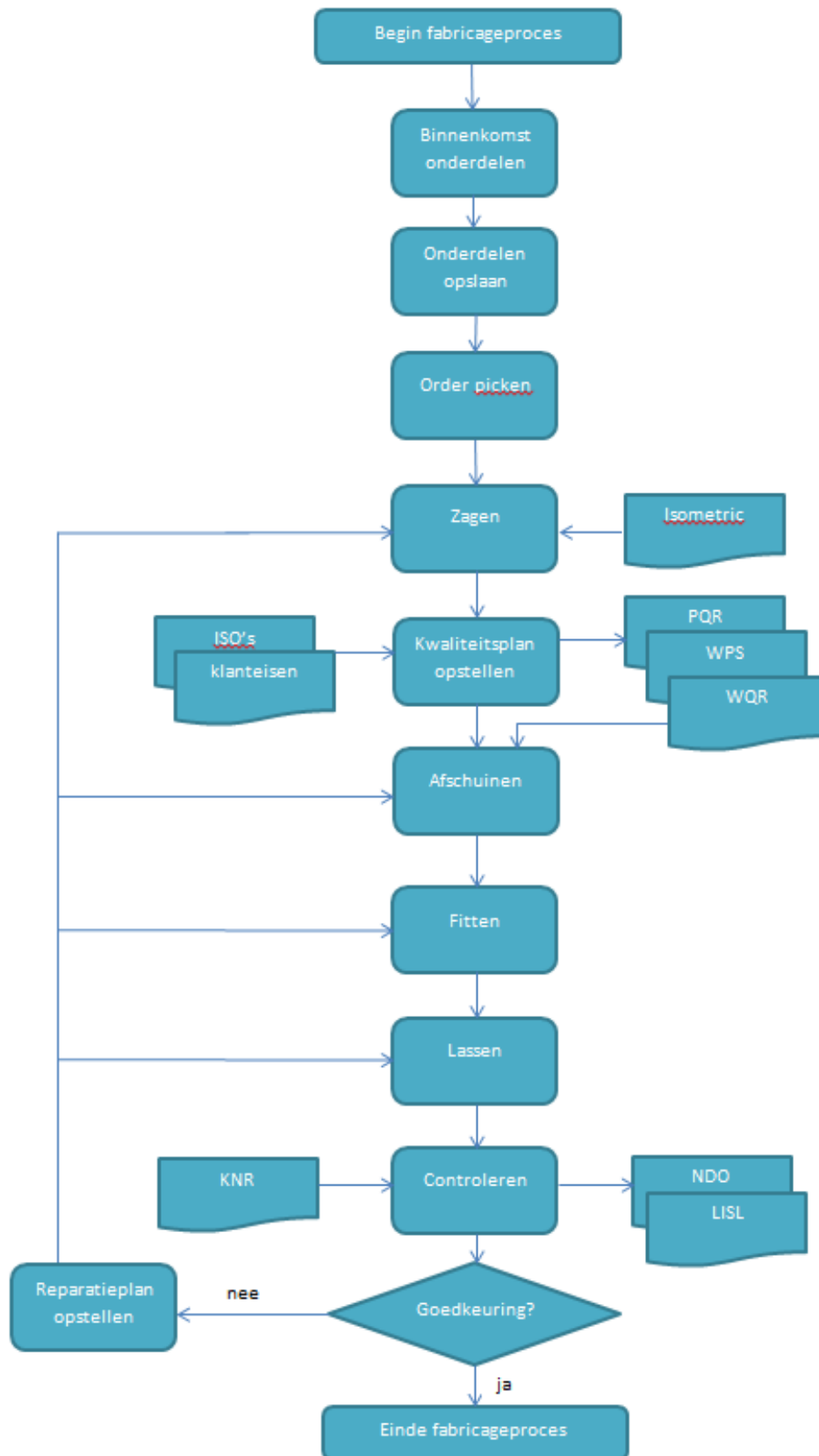
2 | ANALYSE HUIDIGE SITUATIE

In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie besproken, hierbij is het van belang om te kijken hoe het proces in elkaar zit. Het hele fabricageproces wordt in paragraaf 2.1 besproken, waar het lassen een onderdeel van is. Daarnaast is het van belang om te weten wat er al aanwezig is op de werkvloer qua apparatuur, mechanisering en automatisering, daarom wordt in paragraaf 2.2 hier een inventarisatie van gemaakt. Tot slot worden in paragraaf 2.3 een aantal bottlenecks besproken in de huidige situatie die van invloed zijn.

2.1 | Procesanalyse

Om een goed beeld te krijgen van de huidige situatie en het huidige lasproces kan er het beste worden gekeken naar het gehele prefabricageproces waar het lasproces een onderdeel van is. Als er iets verandert in het lasproces, zullen ook de processen hieromheen daardoor beïnvloed worden. Daarom is gekozen om bij de analyse van de huidige situatie (van het lassen) een analyse te maken van het hele proces (prefabricage) waar het daadwerkelijke lassen een onderdeel van is. Bij BEDRIJF X omvat het prefabricageproces onderdelen die worden geproduceerd voor de verschillende projecten. Dit kan de bouw zijn van een technische installatie, maar ook onderhoud aan bestaande fabrieken e.d. Veelal zijn deze onderdelen pijpen en buizen met de bijbehorende onderdelen zoals flensen en weldoets. Deze producten zijn in het algemeen in 3 grote groepen in te delen als we kijken naar waar deze producten voor gebruikt gaan worden, namelijk industrie piping, farma en zuivel. In het prefabricageproces komen de losse onderdelen binnen zoals deze buizen en pijpen en worden ze daarna op maat gemaakt en aan elkaar gemaakt. Dit proces vindt plaats zowel in de prefabricageshop (de werkplaats van BEDRIJF X) als op locatie bij de klant zelf, dit hangt af van wat de mogelijkheden zijn en wat de klant wil.

In figuur 5 op de volgende pagina wordt een procesflow weergegeven van het prefabricageproces. In paragraaf 2.1.1 zullen de verschillende processen in de procesflow worden besproken en in paragraaf 2.1.2 worden de bijbehorende documenten toegelicht.



FIGUUR 5: PROCESFLOW PREFABRICAGE PROCES

2.1.1 | Processen

Hieronder zullen de verschillende processen uit de procesflow (figuur 5) worden besproken.

Binnenkomst onderdelen

De onderdelen die nodig zijn voor de verschillende projecten worden vaak in een keer besteld bij leveranciers of zelf geleverd door de klant. Vaak worden de verschillende onderdelen in een keer per project bij de werkplaats afgeleverd. Soms kan het zo zijn dat hiervoor een uitzondering wordt gemaakt en er in delen geleverd wordt bij een groot project.

Onderdelen opslaan

Nadat de onderdelen zijn geleverd door de leveranciers worden deze opgeslagen, in de prefabshop gebeurt dit in het magazijn en op locatie gebeurt dit op de daarvoor aangewezen plekken of als er niet genoeg ruimte hiervoor is gebeurt dit in het magazijn van de prefabshop.

Order picken

Voor ieder werkpakket en iedere taak in de prefabshop zijn verschillende onderdelen nodig welke staan aangegeven op de materiaallijsten. Aan de hand van deze materiaallijsten worden de verschillende onderdelen verzameld uit het magazijn of van de opslagplaats. Ook worden er batches van orders gemaakt en worden deze onderdelen opgehaald uit de prefabshop en getransporteerd naar de juiste locatie, als er niet genoeg opslagruimte op locatie is.

Zagen

Het proces zagen betekent eigenlijk niets anders dan de onderdelen op de juiste maat maken, dus bijvoorbeeld standaardbuislengtes van 6 of 12 meter in kleinere delen op maat maken volgens de Isometrische tekeningen.

Kwaliteitsplan opstellen

Voor het juist uitvoeren voor de rest van het proces wordt er een kwaliteitsplan opgesteld om de kwaliteit te waarborgen. Volgens de documenten die vallen onder het kwaliteitsplan wordt de rest van het proces uitgevoerd. Zo wordt er in deze documenten bijvoorbeeld bepaald hoe groot de opening van de las mag worden en aan welke internationale kwaliteitsnormen de las moet voldoen. Ook wordt er bepaald welk personeel hieraan mag werken, of er speciale kwalificaties voor nodig zijn o.i.d. Dit kwaliteitsplan wordt vaak opgesteld aan de hand van verschillende eisen die (inter)nationaal zijn opgesteld.

Zoals al eerder besproken is in de probleemkluwen stelt de klant ook hele hoge eisen en vraagt een hoge kwaliteit. Deze eisen van de klanten worden dus ook meegenomen in het kwaliteitsplan, deze kunnen uiteenlopen van te gebruiken materiaal tot te gebruiken lasmethode.

Afschuinen

Het proces afschuinen betekent een schuine kant aan de buisranden maken zodat er een stevige lasverbinding gemaakt kan worden. Twee buizen die tegen elkaar aan worden gezet vormen samen de lasnaad waarmee de buizen aan elkaar kunnen worden gelast. Hoe schuin deze rand afgeschuind moet worden, dus bijvoorbeeld onder een hoek van 60° staat uitgewerkt in de Welding Procedure Specification (zie 3.1.2). Een schuine afkanting van 30° komt het meeste voor zodat de totale lasnaad 60° bedraagt.



FIGUUR 6: AFGESCHUINDE PIJPEN

Fitten

Tijdens het fitten worden de onderdelen op de juiste manier tegen elkaar aan geplaatst zodat deze goed staan om te gaan lassen. Met behulp van verschillende steunen en andere hulpmiddelen worden de onderdelen in de juiste positie geplaatst. Ook deze opzet wordt grotendeels door de WPS bepaald, zo wordt er bijvoorbeeld aangegeven hoe groot de tussenruimte tussen 2 onderdelen mag zijn en onder hoeveel graden er een bocht op gemaakt moet worden.



FIGUUR 7: GEFIT ONDERDEEL



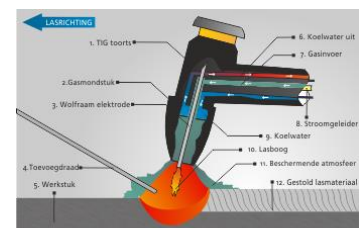
FIGUUR 8: GEFITTE PIJP

Lassen

De onderdelen worden in deze processtap daadwerkelijk aan elkaar gemaakt, dit gebeurt door gebruik te maken van een van de verschillende lasmethodes. De lasmethodes waarvan op dit moment gebruikt wordt gemaakt binnen BEDRIJF X zijn:

- **GTAW**

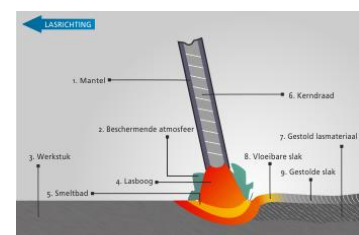
Het GTAW-lasproces is een handmatig proces, waarbij de elektrode de lasboog tot stand brengt en waar met de hand vervolgens de lasdraad aan wordt toegevoegd. Voor dit proces wordt een inert gas gebruikt (een gas dat slecht reageert met andere materialen). Met deze lasmethode is een zeer goede kwaliteit van de las te behalen maar dit proces vraagt ook een hoog vaardigheidsniveau van de lasser, en duurt meestal langer dan andere lasmethoden.



FIGUUR 9: GTAW-LASPROCES

- **SMAW**

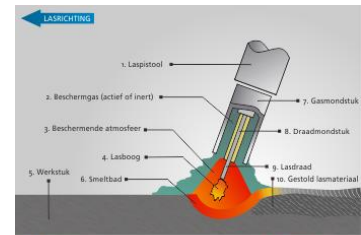
Het SMAW-lasproces is een lasproces waarbij gebruik wordt gemaakt van een afsmeltende elektrode welke automatisch aangevoerd kan worden. Deze elektrode dient om de lasboog tot stand te brengen en tegelijk is dit ook het toevoegmateriaal, daarnaast worden de gassen die de lasnaad beschermen tegen invloeden van buitenaf ook gevormd vanuit deze elektrode. Tijdens het lassen ontstaat er slak (lasspetters op het product) welke verwijderd moet worden na het lassen.



FIGUUR 10: SMAW-LASPROCES

- **FCAW**

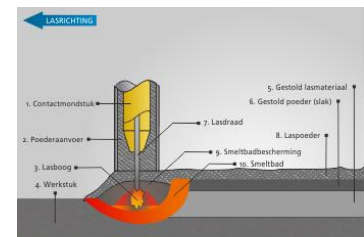
Het FCAW-lasproces maakt gebruik van een gevulde lasdraad. Deze draad is gevuld met poeder die de lasnaad beschermt voor invloeden van buitenaf. Dit heeft voordelen omdat deze lasdraad zelfs buiten in het veld te gebruiken is omdat er geen gas gebruikt hoeft te worden dat weg kan waaien. Daarnaast is het proces een redelijk snel proces. Maar dit proces heeft ook nadelen, de lasdraad is duur en de las wordt minder mooi en veroorzaakt veel slak.



FIGUUR 11: FCAW –LASPROCES

- **Onder poederdek lassen (SAW)**

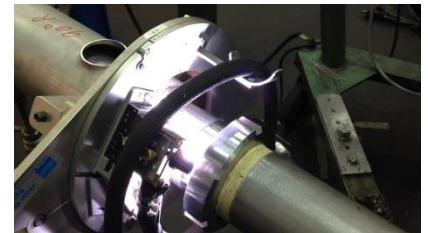
Bij het poederdek lassen wordt de lasboog beschermd door korrelig poeder ook wel flux genoemd. Deze flux beschermt net zoals bij FCAW de lasnaad tegen invloeden van buitenaf. Tijdens het lassen versmelt het poeder deels tot smeltbad (de lasnaad) en een deel vormt de bescherm laag in poedervorm dit kan na het proces weer worden hergebruikt. Deze lasmethode gebeurt vrijwel altijd met behulp van automatische lasapparatuur uitgevoerd.



FIGUUR 12: OP-LASPROCES

- **Orbitaal lassen**

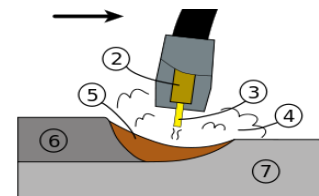
Orbitaal lassen is een lasproces waarbij lasverbindingen worden gemaakt door middel van een geautomatiseerd lasproces. De orbitaalmachine wordt ingesteld door de lasser waarna het lassen volledig automatisch gebeurt. Een groot voordeel van dit proces is dat de kwaliteit erg hoog is en de kosten voor het orbitaal lassen laag zijn.



FIGUUR 13: ORBITAAL LASSEN

- **GMAW lassen**

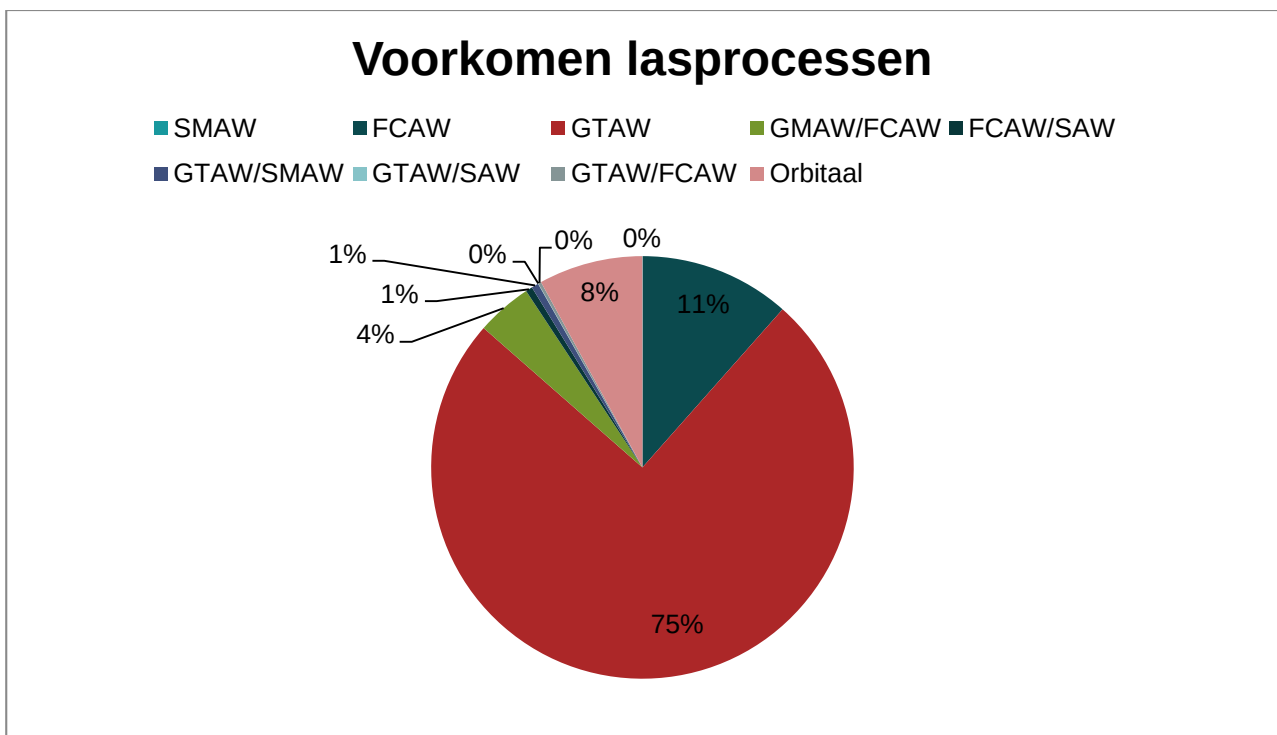
Bij het GMAW-lasproces wordt een massieve toevoegdraad gebruikt gecombineerd met een gastoevoer die de lasnaad beschermt tegen invloeden van buitenaf. Een voordeel van dit proces is dat het vrij goedkoop is en in veel verschillende situaties inzetbaar is.



FIGUUR 14: GMAW-LASPROCES

Deze bovenstaande lasprocessen worden ook wel gecombineerd gebruikt, dan worden de eerste lagen gelegd met een proces, meestal GTAW omdat hier vaak de beste grondlaag mee kan worden gelegd, en de lagen hierna worden dan gelegd met een ander (vaak sneller) proces.

In figuur 15 is te zien hoe vaak de verschillende lasprocessen voorkomen binnen BEDRIJF X. De getallen in het diagram zijn gebaseerd op de laswerkzaamheden uitgevoerd in de prefabricageshop (dus niet op locatie) van de afgelopen 3 jaar. Hier is te zien dat GTAW het meest voorkomende proces is. Er zijn ook processen die afgerond 0% bedragen van het totaal, echter komen ze wel voor, alleen dermate weinig ten opzichte van het totaal dat dit afgerond 0% omvat. Het feit dat het GTAW proces het meest voorkomende proces is, heeft een aantal oorzaken. Een voorbeeld van een van de grootste oorzaken is dat de klant hierom vraagt. Van oudsher waren FCAW en SMAW processen waarbij veel spetters en slak voorkwamen, en omdat de klant dit wil voorkomen wordt er vaak gevraagd om het GTAW proces waarbij de slak bijna niet voorkomt. Dit is tegenwoordig wel anders, de processen zijn dusdanig verbeterd dat dit weinig verschil uit maakt, maar omdat het een vrij conservatieve markt is waarin BEDRIJF X zich bevindt, wordt het vaak nog steeds niet door de klanten geaccepteerd.



FIGUUR 15: VOORKOMEN LASPROCESSEN

Controleren

Omdat de producten aan hoge kwaliteitseisen moeten voldoen, moet er ook een goede controle plaatsvinden of aan deze hoge kwaliteit is voldaan. Bij het controleren worden allerlei onderzoeken uitgevoerd zoals: visueel onderzoek, röntgenonderzoek enzovoort. Deze controle wordt georganiseerd door de afdeling QC (Quality Control) die zorgt voor kwaliteitsborging.

Goedkeuring

Nadat de verschillende benodigde onderzoeken zijn uitgevoerd, worden de resultaten geanalyseerd en wordt er goedkeuring gegeven voor het eindproduct of wordt dit (of een onderdeel) afgekeurd. Indien er afkeur plaatsvindt moet er aangegeven worden waarom zodat er een goed reparatieplan kan worden opgesteld. Het reparatieplan kan inhouden dat er inderdaad een reparatie plaatsvindt van het product, maar kan ook een (verbeterd) plan zijn om het product opnieuw te maken.

Reparatieplan opstellen

Naar aanleiding van de uitkomsten van het onderzoek en hetgeen wat er is afgekeurd wordt er een reparatieplan opgesteld zodat het product wel aan de gewenste kwaliteit kan gaan voldoen. Dit plan wordt opgesteld door de afdeling Lastechniek.

2.1.2| Documenten

In deze paragraaf worden de verschillende documenten uit de procesflow (Figuur 5) besproken.

Isometric

Een isometric is een tekening met onderdelen die nodig zijn en hoe deze op elkaar geplaatst moet worden. Een voorbeeld is te vinden in bijlage A: Isometric.

WPS

Op de Welding Procedure Specification staan de specificaties weergegeven per las, hierop staat bijvoorbeeld de bolling van de las en het volume van de lasnaad weergegeven. Ook staat hier het lasproces op en het materiaal. Een voorbeeld van een WPS is te vinden in bijlage B: WPS.

PQR

Een Welding Procedure Qualification Record is de onderbouwing van de WPS. Een voorbeeld van een PQR is te vinden in bijlage C: PQR.

WQR

Een Welder Qualification Record, laat zien over welke lascertificaten en kwalificaties een lasser beschikt. Zo kan er gekeken voor welke lassen de lasser kan worden ingezet. Een voorbeeld van de WQR is te vinden in bijlage D: WQR.

KNR

De KNR is een lijst van kwaliteitseisen en hierop staat vermeld aan welke normen de las moet voldoen en welke testen zullen uitgevoerd moeten worden op de las en onder welke normen deze test valt. Een voorbeeld van een KNR staat in bijlage E: KNR.

NDO

Een NDO is een Niet Destructief Onderzoek, dit is een onderzoek waarin de kwaliteit van de las wordt gecontroleerd, dit kan door middel van röntgenstraling, materiaalcontrole e.d. De uitslag van het onderzoek wordt vastgelegd en dit document wordt ook wel een NDO genoemd. Een voorbeeld van een NDO staat in bijlage F: NDO.

LISL

In een LISL worden de verschillende lassen vastgelegd als ze gemaakt worden, dus hierop staat ook vermeld wie deze gelast heeft op welke datum e.d. Ook staat hierop vermeld welke onderzoeken zijn uitgevoerd en of deze goedkeuring hebben of niet. Een voorbeeld van een LISL is te vinden in bijlage G: LISL.

2.2| Inventarisatie middelen

In het huidige lasproces wordt er al gebruikt gemaakt van verschillende apparatuur om het lasproces gemakkelijker en efficiënter te maken. Uiteraard wordt er gebruik gemaakt van de lasapparatuur om te lassen, voor de processen FCAW, GMAW en GTAW betreft dit laskarren die de benodigde apparatuur bevatten om dit proces te uit te kunnen voeren. Ook is er apparatuur zoals een slijptol voor de afwerking, het afschuinen e.d. Daarnaast is er ook al geïnvesteerd in apparatuur die het lasproces vergemakkelijken.

Zaagmachine

In de werkplaats is een zaagmachine aanwezig, waarmee de pijpen op de juiste afmetingen kunnen worden afgezaagd, echter is er na deze bewerking ook nog wat handwerk nodig om de pijp bij te slijpen.

Bevelmachine

Er is een bevelmachine aanwezig die zorgt voor de afschuining van de buizen. Handmatig gebeurt dit met een slijptol en is dit erg zwaar, waardoor de bevelmachine ook ergonomische voordelen biedt.

Plasmasnijder

In de werkplaats is ook een plasmasnijder aanwezig, deze plasmasnijder kan buizen op de juiste manier snijden zodat ze niet alleen op de goede maat worden gesneden, maar ook direct met een afgeschuinde kant eraan. Op deze manier worden deze 2 processtappen samengenomen.

Manipulatoren

Er zijn een aantal manipulatoren aanwezig in de werkplaats. Met deze manipulatoren kunnen de buizen automatisch worden geroteerd. Dit zorgt ervoor dat het lassen een stuk makkelijker gaat, omdat de lassers met de lastoorts op dezelfde plek kan blijven, terwijl de buis roteert. Daarnaast hoeft de lasser bij inzet van manipulatoren niet onder buizen door te kruipen of onder rare hoeken te lassen.

Pendelmachines

In 2015 zijn er 5 pendelmachines aangeschaft. Deze pendelmachines pendelen met de lastoorts heen en weer om de lasnaad op te vullen, oftewel de toorts wordt hierin geklikt en deze maakt heen en weergaande bewegingen om een laslaag te leggen. Normaal moet de lasser de toorts zelf in de goede positie houden en heen en weer pendelen. Doordat dit werk wordt overgenomen door de pendelmachine, wordt deze las strakker en neemt dit nog een stuk belasting voor de lasser weg. Ook heeft het als voordeel dat de snelheid van het lassen hoger kan komen te liggen, waardoor het proces sneller verloopt. De lasser moet in dit geval nog steeds wel zelf het lasproces nauwkeurig volgen en bijsturen waar nodig, bijvoorbeeld op snelheid, breedte of positie.



FIGUUR 16: LASSEN MET PENDELMACHINE

OP-machine

Voor het OP-proces (SAW) wordt er gebruik gemaakt van 2 OP-machines in de werkplaats. Dit lassen gebeurt vrijwel automatisch en heeft wel iets weg van een pendelmachine qua systeem. De lastoorts heeft een vaste plek en kan alleen licht bijgestuurd worden door de lasser. Wel kan de snelheid ingesteld worden (dmv de stroomtoevoer) en de poedertoevoer, de breedte van de naad e.d. Dit proces wordt altijd uitgevoerd in combinatie met een manipulator die de te lassen buis roteert. Rechts in figuur 17 is een afbeelding te zien van een van de OP-machines op de werkplaats, de buis is in een manipulator geklemd welke ook te zien is links op de foto.



FIGUUR 17: OP-MACHINE

2.3 | Aandachtspunten

In de huidige situatie zijn er enkele bottlenecks gezien waardoor robotisering niet goed toegepast kan worden. De visie van een deel van het huidige personeel is hierin een bottleneck evenals de klant en de planning van het proces. Deze 3 bottlenecks zullen hieronder verder worden uitgewerkt.

Visie en beleid personeel

Een probleem op de werkvloer is dat de middelen zoals besproken in 3.2 niet voltijds worden ingezet. Een deel van het personeel weigert deze middelen te gebruiken, omdat ze zichzelf dan geen echte vakman voelen of omdat ze bang zijn dat ze het echte vak gaan verliezen en hun banenkans dan aanzienlijk kleiner wordt zodra ze BEDRIJF X zouden (moeten) verlaten. Op dit moment is het niet verplicht opgelegd door de planning vanuit werkvoorbereiding of de voorman in de werkplaats en wordt er dan ook geen actie ondernomen als een lasser deze middelen niet gebruikt terwijl het wel zou kunnen. De visie van het personeel op de werkvloer en het beleid dat wordt gevoerd van hogerhand zorgt ervoor dat nieuwe middelen niet geaccepteerd en opgenomen worden in het proces. Dit vormt een grote bottleneck bij het eventuele implementeren van verdere automatisering of robotisering, en deze bottleneck zal daarom dan ook aangepakt moeten worden voordat er nieuwe middelen kunnen worden geïmplementeerd.

Klanteisen

De meeste klanten van BEDRIJF X bevinden zich in een vrij conservatieve markt, waardoor klanten niet altijd akkoord gaan met materiaal dat gelast is met nieuwe processen of apparatuur. Zo wordt het OP-lassen vaak niet geaccepteerd door de klant, net zoals FCAW, wat een mooi proces is voor de pendelmachines. Doordat er in het verleden veel negatieve verhalen en ervaringen waren rondom deze andere processen dan GTAW, willen klanten niet dat er met zo'n proces gelast wordt. Doordat de klant een ander proces niet accepteert, kan er dan ook minder gebruik gemaakt worden van de beschikbare middelen. De kans dat de klanten een eventuele robot wel zouden accepteren is dan ook in twijfel te trekken. Echter is er geen uitgebreid onderzoek gedaan naar de bereidheid van de huidige klanten om over te stappen op een ander lasproces.

Planning proces

In het huidige proces bestaat er geen planning over hoe onderdelen in elkaar worden gezet, er is wel een tekening van de uiteindelijke buis of spool (met of zonder bocht) en deze moet in elkaar worden gezet. De planning welke stukken eerst aan elkaar moeten is er echter niet, dit bepalen de lassers zelf. Bij complexe stukken vergt dit het nodige inzicht en ervaring om dit zo efficiënt mogelijk in elkaar te zetten, hierbij valt te denken aan een zo kort mogelijke omsteltijd maar ook zoveel mogelijk gebruik maken van de beschikbare middelen. Niet iedere lasser heeft dit inzicht al, en aangezien er niet voldoende op gelet wordt, worden de middelen nog niet altijd efficiënt gebruikt.

Omdat er een duidelijke planning van de te lassen onderdelen per dag of per week ontbreekt, wordt er vaak gepakt wat er klaar ligt om te lassen. Op deze manier zijn dit bijna nooit buizen met dezelfde diameters achter elkaar, waardoor er een omstelling nodig is van de middelen. Deze omsteltijd is soms zo lang voor de apparatuur dat het met de hand sneller gelast kan worden waardoor hier vaak voor gekozen wordt en de extra middelen niet veel gebruikt worden.

2.4| Conclusie

In dit hoofdstuk is er antwoord gegeven op de deelvragen 1a, 1b en 1c. De conclusie per deelvraag is als volgt:

Hoe ziet het huidige proces eruit?

In het prefabricageproces van BEDRIJF X worden voornamelijk buizen en pijpen gefabriceerd. De onderdelen en pijpen en buizen zijn vrijwel nooit gelijk, hierdoor wordt er niet in batches geproduceerd. Deze buizen en pijpen moet voor de industrie waar BEDRIJF X zich in begeeft aan hoge kwaliteit voldoen en hiervoor worden hoog gekwalificeerde lassers ingezet. De werkzaamheden vinden meestal plaats in de werkplaats van BEDRIJF X, maar soms ook op locatie bij de klant. Het fabriceren van de producten gebeurt in een aantal stappen, waar het lassen er een van is. Er wordt bij het lassen gebruik gemaakt van een aantal verschillende lasprocessen of een combinatie hiervan. De verschillende lasprocessen zijn: FCAW, SAW, GMAW, GTAW, SMAW en orbitaal lassen. Het lasproces waarmee het product gelast moet worden, wordt bepaald door de klant of de afdeling Lastechniek. In figuur 18 is een tabel te zien met het aantal keer dat de lasprocessen zijn toegepast in de afgelopen 3 jaar bij BEDRIJF X in de prefabricageshop.

Proces	Voorkomen (afgerond percentage)
SMAW	0%
GTAW/SAW	0%
GTAW/FCAW	0%
FCAW/SAW	1%
GTAW/SMAW	1%
GMAW/FCAW	4%
FCAW	11%
GTAW	75%

FIGUUR 18: TABEL VOORKOMEN LASPROCESSEN

Welke apparatuur wordt gebruikt in het proces?

Voor het lassen wordt gebruik gemaakt van verschillende apparatuur. Naast de standaard lasapparatuur die benodigd is, zijn er in de werkplaats bij BEDRIJF X ook al andere apparaten aanwezig om het lasproces gemakkelijker te maken. Om de voorbewerking gemakkelijker en nauwkeuriger te maken zijn aanwezig: een zaagmachine, bevelmachine en een plasmasnijder. Om het lasproces gemakkelijker te maken, wordt er gebruik gemaakt van manipulatoren, pendelmachines en een OP-machine.

Wat zijn aandachtspunten in het huidige proces?

In het huidige proces zijn er een aantal aandachtspunten waardoor robotisering en mechanisering bemoeilijkt wordt. In de eerste plaats worden nieuwe middelen moeilijk geaccepteerd door het huidige personeel. Daarnaast is er niemand die er toezicht op houdt dat de aangeschafte middelen toch worden ingezet. Daarnaast zijn er veel klanten die veel en hoge eisen stellen aan de producten, maar ook aan het toegepaste proces. Doordat de markt conservatief is en klanten vaak zelf willen bepalen hoe er gelast wordt, wordt nieuwe apparatuur ook moeilijker inzetbaar. Als laatste is de planning van het proces ook van belang voor een goede inzet van de nieuwe middelen. Als er complexere assemblages moeten worden gelast of simpelweg buizen met een bocht, moet er over de volgorde van het lassen worden nagedacht. Op die manier kunnen de middelen zoveel mogelijk worden gebruikt. Op dit moment gebeurt dit nog weinig in het huidige proces en ligt deze verantwoordelijkheid om zo efficiënt mogelijk te werken bij de lassers zelf. Echter is er ook hier niemand aangesteld die hierop controleert of hierbij ondersteunt.

3 | THEORETISCH KADER

In dit hoofdstuk worden de theoretische aspecten van dit onderzoek besproken. In paragraaf 3.1 worden de definities besproken die worden toegepast in dit onderzoek. De verschillende theorieën rondom de laskosten worden tegen elkaar uitgezet in paragraaf 3.2. Daarna worden voor en nadelen besproken uit de ervaringen van het implementeren van robotisering en mechanisering in verschillende processen in paragraaf 3.3.

3.1 | Robotisering en mechanisering

Om de vraag te kunnen beantwoorden of robotisering of mechanisering bij kan dragen aan een voordeliger proces is het van belang om de definities hiervan te bepalen. In de literatuur worden de termen robotisering, automatisering en mechanisering veelal door elkaar gebruikt en zijn er geen harde overgangen. Er zijn verschillende definities opgesteld in de loop der jaren. In dit onderzoek worden de definities toegepast volgens the British Standard. Deze verschillende definities zullen hieronder worden gegeven.

Gemechaniseerd lassen: Lassen waarbij de lasparameters mechanisch of elektronisch worden gestuurd en handmatig aangepast kunnen worden tijdens het lassen om de gewenste laspositie te handhaven.

Geautomatiseerd lassen: Lassen waarbij alle lasparameters mechanisch of elektronisch worden gestuurd. Tussen de werkzaamheden door kunnen aanpassingen worden gedaan, maar dit kan niet tijdens het lassen.

Robotisch lassen: Automatisch lassen waarbij gebruik gemaakt wordt van een robot, die voorgeprogrammeerd kan worden voor verschillende paden en fabricagetoleranties.

3.2 | Laskosten

Om de laskosten te bepalen voor de verschillende opties moet er naar veel verschillende aspecten gekeken worden, zoals de kosten van het te gebruiken materiaal, loonkosten, onderhoudskosten e.d. De kosten bij een kleine pijp bestaan slechts voor een klein deel uit toevoegmateriaal, maar voor een erg groot deel uit loonkosten. Deze hoge loonkosten ontstaan doordat de lasser relatief veel tijd van zijn werkzaamheden bezig is met inspannen, verplaatsen van het werkstuk e.d.. Voor een grotere pijp ligt dit anders, doordat er een groter deel van de tijd gelast wordt, is het percentage aan loonkosten bijvoorbeeld lager. Hierdoor zijn de kosten per pijp niet goed met elkaar te vergelijken en is er gekozen om te kijken naar de laskosten per meter. De gemiddelde kosten om een meter te lassen worden met elkaar vergeleken voor de verschillende opties. Hieronder zullen twee verschillende formules worden besproken die de laskosten per meter bepalen.

3.2.1 | Basz' theorie

In het artikel 'A quality and cost approach for welding process selection' wordt een aanpak beschreven om de kosten en de kwaliteit voor verschillende lasprocessen te bepalen, om op deze manier een goede keuze te kunnen maken. In dit onderzoek wordt er niet gekeken naar een keuze tussen verschillende lasprocessen, maar wel naar een keuze tussen verschillende opties voor robotisering van het lasproces, welke op dezelfde manier wordt bepaald.

In de formule van Basz wordt gesteld dat de totale laskosten bestaan uit:

- Materiaalkosten
- Loonkosten
- Apparatuurkosten
- Elektriciteitskosten

MATERIAALKOSTEN

De materiaalkosten worden bepaald door te kijken naar het materiaal dat wordt verbruikt en het gas dat wordt verbruikt bij het lassen. De materialen die worden verbruikt zijn de electrode en het lastoevoegmaterialen. De materiaalkosten worden weer onderverdeeld in 3 groepen:

○ Kosten voor de electrode

$$Ke = \frac{Pe}{(te \times tspeed \times \frac{60}{100})}$$

- Ke: kosten electrode (€/m)
- Pe: prijs electrode (€)
- te: levensduur electrode (u)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)

○ Kosten voor het toevoegmateriaal

$$Kt = \frac{Pt \times (D \times \frac{100}{de})}{(tspeed \times \frac{60}{100})}$$

- Kt: kosten toevoegmateriaal (€/m)
- Pt: prijs toevoegmateriaal (€/kg)
- D: Neersmeltsnelheid (kg/u)
- de: rendement lasmateriaal (%)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)

○ Kosten voor het gas

$$Kg = Pg \times Rg \times \frac{100}{tspeed}$$

- Kg: kosten gas (€/m)
- Pg: prijs gas (€/dm³)
- Rg: gasverbruik (l/min)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)

LOONKOSTEN

De loonkosten vormen een groot deel van de laskosten en worden in het model van Basz als volgt bepaald:

$$Lk = \frac{Sk}{(tspeed \times \frac{60}{100} \times \frac{i}{100})}$$

- Lk: loonkosten (€/m)
- Sk: Salariskosten lasser (€/u)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)
- i: inschakelduur

APPARATUURKOSTEN

De apparatuurkosten worden bepaald door te kijken naar de investeringen, afschrijvingen en onderhoud.

○ Investeringskosten

$$Ki = \frac{Ve \times \frac{Ir}{100} \times D}{Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

- Ki: Investeringskosten (€/m)
- Ve: Waarde apparatuur (€)
- Ir: maandelijkse rente (%)
- D: Neersmeltsnelheid (kg/u)
- Pm: Maandelijkse productie (kg/maand)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)

○ Afschrijvingskosten

$$Ka = \frac{Ve \times D}{Ta \times Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

- Ka: Afschrijvingskosten (€/m)
- Ve: Waarde apparatuur (€)
- D: Neersmeltsnelheid (kg/u)
- Ta: Afschrijvingstermijn (maand)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)

○ Onderhoudskosten

$$Ko = \frac{Em \times D}{Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

- Ko: Onderhoudskosten (€/m)
- Em: Maandelijkse onderhoudskosten (€/maand)
- D: Neersmeltsnelheid (kg/u)
- Pm: Maandelijkse productie (kg/maand)
- tspeed: loopsnelheid (cm/min)

ELEKTRICITEITSKOSTEN

Om de elektriciteitskosten te berekenen wordt er gebruik gemaakt van de elektrische stroom voor het lassen van een meter en het rendement van de lasapparatuur op dit gebied.

$$Kel = \frac{Im \times Vm \times Pel}{1000 \times \frac{ee}{100} \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

- Kel: Elektriciteitskosten (€/m)
- Im: Gemiddelde amperes (A)
- Vm: Gemiddeld voltage (V)
- Pel: Electriciteisprijs (€/kWh)
- ee: rendement stroomgebruik apparatuur (%)

Als we deze categorieën bij elkaar nemen, ziet de totale formule er als volgt uit met W voor de totale laskosten per meter lassen:

$$W = \frac{Pe}{\left(te \times tspeed \times \frac{60}{100}\right)} + \frac{Pt \times \left(D \times \frac{100}{de}\right)}{\left(tspeed \times \frac{60}{100}\right)} + Pg \times Rg \times \frac{100}{tspeed}$$

$$+ \frac{Sk}{\left(tspeed \times \frac{60}{100} \times \frac{i}{100}\right)} + \frac{Ve \times \frac{Ir}{100} \times D}{Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

$$+ \frac{Ve \times D}{Ta \times Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}} + \frac{Em \times D}{Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}} + \frac{Im \times Vm \times Pel}{1000 \times \frac{ee}{100} \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

3.2.2| Lincoln Electric Laskosten

In de laskostenformule uit het artikel 'zin en onzin over laskostenbeheersing' van Lincoln Electric worden 3 van de 4 categorieën uit de formule van Basz toegepast. Ten opzichte van Basz is deze formule niet opgedeeld in categorieën maar achter elkaar gegeven, echter voor het overzicht en om een goede vergelijking te kunnen maken, zullen de categorieën los besproken worden. De 3 categorieën die in de formule van Lincoln Electric terug te vinden zijn, zijn:

- Materiaalkosten
- Loonkosten
- Apparatuurkosten

Het grote verschil met de formule van Basz is dat de kosten worden benaderd vanuit de lasnaadinhoud, dus hier wordt er ook rekening mee gehouden hoe groot de wanddikte is en hoeveel lagen er nodig zijn om deze te vullen.

MATERIAALKOSTEN

De formule voor de materiaalkosten wordt bepaald door te kijken welk materiaal er wordt toegevoegd, het laspoeder en de afsmeltende elektrodes zijn in dit geval het lastoevoegmateriaal, daarnaast bestaan er de kosten van het gas dat wordt toegevoegd tijdens het lassen.

- Kosten lastoevoegmateriaal

$$\blacksquare Kt = V \times \rho \left(\left(M \times \frac{100}{\eta} \right) + (P \times \delta) \right)$$

- Kt: Kosten lastoevoegmateriaal (€/m)
- V: Volume lasnaad inclusief overdikte (m³/m)
- ρ: Dichtheid lasmetaal (kg/m³)
- M: Kosten lastoevoegmateriaal (€/kg)
- η: Rendement lasmateriaal (%)
- P: Kosten laspoeder (€/kg)
- δ: Factor poederverbruik per kg lasdraad

- Kosten voor het gas

$$\blacksquare Kg = V \times \rho \times \frac{Vg \times G}{F} \times \frac{1000}{60}$$

- Kg: Kosten gas(€/m)
- V: Volume lasnaad inclusief overdikte (m³/m)
- ρ: Dichtheid lasmetaal (kg/m³)
- Vg: Verbruik beschermgas (l/min)
- G: Kosten beschermgas (€/m³)
- F: Neersmeltsnelheid lasmetaal (kg/h)
- i: Inschakelduur (%)

LOONKOSTEN

De loonkosten worden bepaald door naar het volume van een meter lasnaad en de dichtheid van het lasmetaal te kijken, hierbij te kijken hoe groot de neersmeltsnelheid is waarmee de lasnaad wordt gedicht, zo kan het aantal uur worden berekend wat hiervoor nodig is. Dan wordt hier het uurtarief tegen uitgezet samen met de inschakelduur (het percentage dat een lasser daadwerkelijk aan het lassen is, als de lasboog brandt).

$$Lk = V \times \rho \times \frac{100}{i} \times \frac{1}{F} \times L$$

- Lk: Loonkosten (€/m)
- V: Volume lasnaad inclusief overdikte (m³/m)
- ρ: Dichtheid lasmetaal (kg/m³)
- i: Inschakelduur (%)
- F: Neersmeltsnelheid lasmetaal (kg/h)
- L: Loonkosten lasser (€/h)

APPARATUURKOSTEN

De apparatuurkosten worden bepaald door de jaarlijkse afschrijving, rente op investering en de onderhoudskosten. Deze worden gedeeld door 1600 omdat dit het aantal uren is dat er in een jaar wordt gewerkt, om zo de kosten per uur te bepalen. Verder zorgt het eerste deel van de formule weer voor het aantal uur dat nodig is per meter lassen. Bij de apparatuurkosten is er daarnaast nog gekeken naar de bezettingsgraad van de apparatuur zodat het juiste aantal uren wordt berekend dat de machines worden gebruikt en niet alleen de uren dat een lasser erachter staat.

$$Ak = V \times \rho \times \frac{100}{i} \times F \times \frac{A+R+O}{1600} \times \frac{100}{\beta}$$

- Ak: Apparatuurskosten (€/m)
- V: Volume lasnaad inclusief overdikte (m³/m)
- ρ: Dichtheid lasmetaal (kg/m³)
- i: Inschakelduur (%)
- F: Neersmeltsnelheid lasmetaal (kg/h)
- A: Afschrijving apparatuur (€/jaar)
- R: Rente op investering apparatuur (€/jaar)
- O: Onderhoud betreffende apparatuur (€/jaar)
- β: Bezettingsgraad apparatuur (%)

Als we deze categorieën bij elkaar nemen, ziet de totale formule er als volgt uit met W voor de totale laskosten per meter lassen:

$$W = V \times P \left[\frac{100}{i} \times \frac{1}{F} \left(L + \frac{A + R + O}{1600} \times \frac{100}{\beta} \right) + M \times \frac{100}{\eta} + P \times \delta + \frac{1000}{60} \times \frac{Vg \times G}{F} \right]$$

3.2.3| Toepassing theorie laskosten

Voor dit onderzoek is er gekozen voor de Lincoln Electric laskostenformule met toevoegingen uit Basz' theorie. Er is gekozen voor deze formule, omdat met deze formule niet wordt gekeken naar de kosten van één laslaag maar naar de kosten van een complete meter lassen. Vaak bestaat deze meter uit meerdere lagen waarmee de lasnaad wordt opgevuld, welke in de Basz' theorie buiten beschouwing wordt gelaten. Dit is van belang omdat de inschakelduur aanzienlijk anders is bij meerdere lagen. Bij meerdere lagen wordt er relatief meer tijd besteed aan het lassen dan bij een enkele laag, waardoor de inschakelduur een stuk hoger wordt. Er zijn echter wel aspecten uit de Theorie van Basz die niet meegenomen worden in de Lincoln Electric formule.

3.3| Ervaringen robotisering en mechanisering

Om een beter beeld te verkrijgen van het robotiseren en mechaniseren van werkzaamheden en processen, is er onderzoek gedaan naar de voor- en nadelen hiervan. Hiervoor is gebruik gemaakt van reeds uitgevoerde onderzoeken en documentatie over de ervaringen op het gebied van robotisering en mechanisering. Uit deze ervaringen kan lering worden getrokken voor de afweging en eventuele implementatie van machines binnen het lasproces van BEDRIJF X.

3.3.1| Potentiële voordelen

In deze paragraaf zullen de verschillende ervaren voordelen kort worden toegelicht.

Verhoogde productiviteit

Door de inzet van robots kan een veel hogere productiviteit bereikt worden, doordat robots werkzaamheden vaak veel sneller uit kunnen voeren. Daarnaast heeft de robot geen last van sociale factoren, ziekteverzuim e.d. Daardoor kan de robot consistent blijven werken zonder invloeden van buitenaf in tegenstelling tot personeel.

Verhoogde veiligheid

Aan het lassen zitten verschillende risico's door bijvoorbeeld gevaarlijke dampen en brandgevaar, dit risico wordt met een robot aanzienlijk minder doordat de lasser deze op afstand kan bedienen. Daarnaast is het risico minder groot dat er iets misgaat zoals iets omstoten of struikelen doordat de robot een vaste plek heeft.

Verhoogde efficiëntie

Doordat de productiviteit een stuk omhoog gaat en de robot vaak een stuk sneller kan werken dan een lasser, zal er in dezelfde tijd meer gelast worden. Dit zorgt ervoor dat er een hogere efficiëntie wordt bereikt.

Verhoogde consistentie

Zoals ook al genoemd bij de productiviteit heeft een robot geen last van externe factoren, een robot wordt niet ziek, heeft geen last van sociale factoren, raakt niet vermoeid. Daarnaast is een robot in staat een werkzaamheid precies hetzelfde uit te voeren als de keer daarvoor, iets wat bij mensen altijd iets af zal wijken. Hierdoor is er in totaal sprake van een hogere consistentie bij een robot t.o.v. werknemers.

Verhoogde kwaliteit

De robot zal een hogere kwaliteit af kunnen leveren omdat deze veel nauwkeuriger afgesteld kan worden dan de mens en ook nog eens veel consistent is. Een lasser zal ondanks zijn vaste hand tijdens een las toch soms trillen of iets verder afwijken dan het stukje las daarvoor. Bij een robot is hier geen sprake van, deze kunnen soms wel tot 0,01 mm nauwkeurig worden ingesteld. Dit levert voordelen op, omdat de kwaliteit bij het lassen een hele belangrijke factor is.

Lagere proceskosten

De kosten voor de aanschaf van een robot zijn aanzienlijk, maar uiteindelijk zorgt het wel voor lagere proceskosten. Als de robot er eenmaal is, vraagt dit alleen onderhoudskosten, welke aanzienlijk lager zijn dan de loonkosten van een lasser. Daarnaast kan de robot veel sneller lassen waardoor er meer werk in dezelfde tijd wordt uitgevoerd. Ook is het zo dat de robot geen vakantiegeld krijgt of doorbetaald hoeft te worden tijdens ziekte.

Robots werken onder slechte omstandigheden

De omstandigheden waaronder gelast wordt zijn niet altijd de beste, vochtige ruimtes, schadelijke dampen, weersinvloeden e.d. Een werknemer kan hier veel last van ondervinden en dit kan schadelijk zijn voor zijn/haar gezondheid. Een robot kan echter onder deze omstandigheden prima werken, wat ook zorgt voor een betere veiligheid en gezondheid voor werknemers.

3.3.2| Potentiële nadelen

In deze paragraaf zullen de verschillende ervaren nadelen kort worden toegelicht.

Nemen de plek in van werknemers, economische problemen

Ook al blijven er altijd werknemers nodig die de robots installeren, onderhouden en deze kunnen bedienen, toch gaat het arbeidsplekken kosten. Doordat een robot veel sneller last is er per saldo minder werk voor bepaalde functies beschikbaar en zullen er dus mensen zonder werk komen te staan of omgeschoold moeten worden.

Kostbaar

Met alleen het aanschaffen van de robot zijn niet alle kosten gedekt, de implementatie van de robot in het huidige proces wordt als een kostbare activiteit ervaren. Er zijn hoge installatiekosten en het personeel heeft omscholing nodig. Daarnaast is er een klein risico op reparaties, maar als deze voorkomen zijn ze naar verwachting wel duurder dan reparaties aan de huidige apparatuur. Hierdoor moet er met zekerheid gezegd kunnen worden dat de robot financieel voordeel oplevert alvorens deze te implementeren en zal er ook rekening gehouden moeten worden met deze andere kosten.

Kunnen niet reageren in geval van nood of gevaar

Als er iets misgaat, is er een kleinere kans dat een robot dit signaleert dan dat een werknemer dit doet. Daarnaast kan een robot bijvoorbeeld alleen stoppen in geval van nood (als de robot dit al merkt, maar niet ingrijpen). Dit brengt een risico met zich mee, waardoor er extra maatregelen nodig zijn.

3.4| Conclusie

In dit hoofdstuk is er antwoord gegeven op de deelvragen 2a,2b en 2c. De conclusie per deelvraag is als volgt:

Wat wordt verstaan onder robotisering en mechanisering?

In dit onderzoek worden de definities van robotisering en mechanisering aangehouden volgens de British Standard. Deze zijn als volgt:

Gemechaniseerd lassen: Lassen waarbij de lasparameters mechanisch of elektronisch worden gestuurd en handmatig aangepast kunnen worden tijdens het lassen om de gewenste laspositie te handhaven.

Geautomatiseerd lassen: Lassen waarbij alle lasparameters mechanisch of elektronisch worden gestuurd. Tussen de werkzaamheden door kunnen aanpassingen worden gedaan, maar dit kan niet tijdens het lassen.

Robotisch lassen: Automatisch lassen waarbij gebruik gemaakt wordt van een robot, die voorgeprogrammeerd kan worden voor verschillende paden en fabricagetoleranties.

Hoe kunnen de laskosten bepaald worden?

Om deze vraag te beantwoorden is er gekeken naar methodes die reeds gebruikt zijn in onderzoeken naar de laskosten. Er zijn 2 theorieën gevonden die de laskosten bepalen, namelijk Basz' theorie en de kostenformule volgens Lincoln Electric. De formule behorend bij de Basz' theorie is als volgt:

$$W = \frac{Pe}{(te \times tspeed \times \frac{60}{100})} + \frac{Pt \times (D \times \frac{100}{de})}{(tspeed \times \frac{60}{100})} + Pg \times Rg \times \frac{100}{tspeed} + \frac{Sk}{(tspeed \times \frac{60}{100} \times \frac{i}{100})} + \frac{Ve \times \frac{Ir}{100} \times D}{Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}} + \frac{Ve \times D}{Ta \times Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}} + \frac{Em \times D}{Pm \times tspeed \times \frac{60}{100}} + \frac{Im \times Vm \times Pel}{1000 \times \frac{ee}{100} \times tspeed \times \frac{60}{100}}$$

De formule volgens Lincoln Electric staat hieronder weergegeven.

$$W = V \times P \left[\frac{100}{i} \times \frac{1}{F} \left(L + \frac{A + R + O}{1600} \times \frac{100}{\beta} \right) + M \times \frac{100}{\eta} + P \times \delta + \frac{1000}{60} \times \frac{Vg \times G}{F} \right]$$

De theorie die gebruikt zal worden in dit onderzoek is de formule volgens Lincoln Electric.

Welke ervaringen zijn er met betrekking tot robotisering en mechanisering (van het lasproces)?

Er zijn verschillende voor- en nadelen bevonden bij de implementatie en de inzet van robotisering en mechanisering. De voor- en nadelen staan hieronder beknopt weergegeven.

Voordelen

- Verhoogde productiviteit
- Verhoogde veiligheid
- Verhoogde efficiëntie
- Verhoogde kwaliteit
- Lagere proceskosten
- Robots werken onder slechte omstandigheden

Nadelen

- Nemen de plek in van werknemers
- Economische problemen
- Kostbaar
- Robots kunnen niet reageren in geval van nood of gevaar

4 | MOGELIJKHEDEN ROBOTISERING

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden voor robotisering van het lasproces van BEDRIJF X besproken. Allereerst door te kijken naar welke opties voor robotisering van het lasproces er op de markt zijn, welke worden besproken in paragraaf 4.1. Gevolgd door paragraaf 4.2 waarin wordt besproken welke opties binnen het lasproces van BEDRIJF X toepasbaar zijn.

4.1 | Opties robotisering lasproces

Op het gebied van robotisering van lasprocessen zijn er veel verschillende opties ontwikkeld. Zo zijn er voorbeelden zoals het onderstel voor de vrachtwagens van SCANIA welke volledig door robots in elkaar wordt gezet. Hierbij worden de aan elkaar te lassen onderdelen in een mal geklikt en het laswerk wordt volledig uitgevoerd door robots. In de literatuur bestaan veel verschillende indelingen voor soorten lasrobots. In dit onderzoek worden 3 verschillende soorten lasrobots onderscheiden, welke hieronder zullen worden toegelicht.

- **Lasrobots waar de coördinaten worden geprogrammeerd waar gelast moet worden**
Deze lasrobots moeten van tevoren worden geprogrammeerd en de onderdelen die aan elkaar moeten worden gelast moeten op exact de juiste plaats worden ingespannen. Op deze manier last de robot exact op de coördinaten die zijn ingegeven. Een voorbeeld hiervan zijn de reeds genoemde onderstellen van de vrachtwagens van SCANIA. Doordat de plaatsing van de onderdelen heel exact ingesteld moet worden, heeft dit een hoge insteltijd en is daarom goed inzetbaar voor productielijnen waar constant hetzelfde product of hele grote batches worden geproduceerd.
- **Lasrobots die de omgeving kunnen herkennen en hierop aan kunnen passen**
Deze categorie lasrobots betreft een steeds groter deel van de lasrobots die worden ingezet in de industrie. De robots maken van allerlei verschillende hulpmiddelen gebruik om het werkstuk te herkennen en zich hierop aan te passen. Dit gaat om allerlei verschillende hulpmiddelen zoals camera's, lasers en zelfs voelsprietten om de lasnaad te kunnen herkennen. Deze middelen worden voor de lastoorts gezet waardoor de lasrobots de situatie net voor het moment dat er gelast gaat worden, kunnen herkennen. Zodra er een verandering wordt ontdekt wordt dit doorgegeven aan het besturingsprogramma en stuurt de robot hierop bij. Het nadeel hiervan is dat er altijd bijgestuurd wordt op het laatste moment en het lastig is om te bepalen hoeveel er moet worden bijgesteld. Om dit proces precies te krijgen wordt er vaak toch ook nog gebruik gemaakt van een combinatie met coördinaten. Het voordeel is echter dat deze coördinaten wat minder exact moeten worden ingesteld, omdat de robot zelf nog een klein beetje bij kan sturen. Hierdoor zijn deze robots weer geschikter om toe te passen op kleinere batches doordat de insteltijd weer een stukje lager ligt dan de robots die puur op coördinaten werken.

- **Zelflerende lasrobots**

Dit type robot is steeds meer in ontwikkeling en heeft veel invloeden van robots uit andere vakgebieden met artificial intelligence. Deze lasrobots werken door met een basisprogramma te beginnen en zichzelf verbeteringen aan te leren. Zo bestaan er technieken die de lastoorts een aantal keer over de lasnaad laten gaan. Zodra de rechterkant geraakt wordt, wordt er bijgestuurd naar links en vice versa. De eerste keer zou dit geen mooie lasnaad zijn, maar nadat de toorts hier drie keer overheen heeft gelopen kan er al gelast worden met een maximale afwijking van 0,1 mm. (Onderzoek UT, LAC) Deze techniek wordt steeds verder ontwikkeld in het LAC aan de Universiteit Twente, waar een project is gestart met het doel lasrobots geschikt maken voor enkelstuks productie. Op dit moment duurt het aanleren van de juiste skills voor de robot nog relatief lang voor enkelstuks productie, maar is al wel goed toepasbaar in kleine batches.

- **Lasrobots die bijgestuurd kunnen worden tijdens het proces (mechanisering)**

Deze categorie wordt ook vaak gezien als lasrobot, maar deze categorie valt niet onder de definitie die in dit onderzoek gebruikt wordt voor robotisering, maar onder mechanisering. Deze categorie betreft apparatuur die voornamelijk last op de instellingen die van tevoren worden ingegeven maar waar de lasser de mogelijkheid heeft om bij te sturen tijdens het proces. Een goed voorbeeld hiervan zijn de OP-machines die reeds in gebruik zijn. Deze zijn alleen toepasbaar voor het proces SAW, maar er is inmiddels ook apparatuur op de markt voor GTAW, SMAW en FCAW processen. De instellingen die hiervoor nodig zijn, zijn een aantal snelle keuzes die worden ingevoerd waarna de robot kan gaan lassen. Doordat de insteltijd relatief kort is, is deze methode ook geschikt voor kleine batches en ook voor enkelstuks productie.

4.2 | Opties robotisering voor BEDRIJF X

In de voorgaande paragraaf zijn de verschillende opties voor robotisering van het lasproces besproken, in deze paragraaf wordt er specifiek gekeken welke van deze opties goed toepasbaar zouden zijn binnen het lasproces bij BEDRIJF X. Een van de belangrijkste aspecten hierbij is de enkelstuksproductie, doordat ieder onderdeel vrijwel uniek is, zal een lasrobot in staat moeten zijn om een korte omschakeltijd te bewerkstelligen, om tijdsvoordeel op te leveren ten opzichte van handmatig lassen. De snelheid van het lassen ligt wel een stuk hoger maar dit moet opwegen tegen de omschakeltijd, die bij een robot vaak weer een stuk hoger uitvalt. Aangezien de kwaliteit van het handmatig lassen erg hoog ligt (slechts 0,4% afkeur) valt hier met een lasrobot niet veel winst te boeken waardoor de tijdswinst een nog grotere rol gaat spelen. Hier valt namelijk wel veel verbetering te halen. De categorieën uit paragraaf 4.1 zullen hieronder kort worden uitgezet wat betreft de mogelijkheid voor BEDRIJF X.

1. Lasrobots waar de coördinaten worden geprogrammeerd waar gelast moet worden

Doordat de insteltijd voor deze vorm van robotisering erg hoog is en dit voor ieder onderdeel opnieuw zal moeten worden ingesteld, wordt dit niet meegenomen als optie binnen BEDRIJF X. Dit in- en omstellen van de machine zou zoveel tijd in beslag nemen dat het hele proces veel langer gaat duren dan wanneer er met de hand gelast zal worden. Dit is mede bevestigd in een gesprek met Valk Welding, een leverancier van lasrobots.

2. Lasrobots die de omgeving kunnen herkennen en hierop aan kunnen passen

Bij deze categorie hoeft er minder precies te worden geprogrammeerd en kan de robot zelf afwijkingen herkennen. Dit maakt dat de insteltijd een stuk korter ten opzichte van de bovenstaande optie. Ook het herkennen van afwijkingen en hierop kunnen reageren is een voordeel in het proces bij BEDRIJF X, doordat er geen precisiepijpen worden gebruikt (vanwege de hoge kosten) kunnen er zelfs in het materiaal al maatafwijkingen voorkomen voor de bewerking. Doordat de lasrobot dit voortijdig kan detecteren en hierop kan reageren vormt dit een minder groot probleem. Voor deze optie zal er gekeken moeten worden of de hogere lassnelheid van de robot opweegt tegen de omschakeltijd. Deze optie wordt wel meegenomen als optie voor BEDRIJF X zodat de verschillende kosten tegen elkaar uitgezet kunnen worden en er gekeken kan worden of deze optie BEDRIJF X voordeel op kan leveren.

3. Zelflerende lasrobots

De categorie zelflerende lasrobots wordt niet meegenomen als optie voor BEDRIJF X, omdat deze nog vol in ontwikkeling zijn en het in dit geval eerder een pilot wordt waar gegevens nog uit moeten komen. Voor dit onderzoek wordt er gekeken naar de gegevens die al bekend zijn uit eerdere implementaties en overleg met vakmensen. Doordat over de zelflerende lasrobots nog veel onduidelijkheden zijn en de methode erg complex is waardoor er nog niet veel verschillende onderdelen op kunnen worden gelast, wordt deze niet meegenomen als optie voor BEDRIJF X.

4. Lasrobots die bijgestuurd kunnen worden tijdens het proces (mechanisering)

Deze categorie wordt wel meegenomen als optie voor BEDRIJF X, omdat deze optie zeer geschikt is voor enkelstuksproductie en het de mogelijkheid geeft om bij te sturen tijdens het proces. Dit is omwille van de complexiteit van het proces en de afwijkingen wenselijk. Daarnaast is al gebleken met de OP-machine (enigszins vergelijkbaar) dat deze mechanisering goed toe te passen is in het lasproces van BEDRIJF X.

Om een duidelijk overzicht te creëren zijn een aantal belangrijke factoren tegen elkaar uitgezet voor de verschillende categorieën in de tabel in figuur 19. Categorie 2 en 4 worden meegenomen in het onderzoek omdat zij geen negatieve punten bevatten en aan de belangrijke factoren voldoen.

	Categorie 1	Categorie 2	Categorie 3	Categorie 4
Garantie kwaliteit	+	0	-	+
Enkelstuksproductie	-	+	-	+
Lassnelheid	+	+	+	+
Instel/omschakeltijd	-	0	0	0

FIGUUR 19: TABEL CATEGORIEËN LASROBOTS

De categorieën die dus verder meegenomen worden om af te wegen in het onderzoek zijn de lasrobot die de omgeving kan herkennen en zich hierop aan kan passen en de lasrobot die bijgestuurd kan worden tijdens het proces. Voor beide opties is er contact opgenomen met verschillende leveranciers om concrete opties mee te nemen. Voor beide categorieën is er een robot gevonden die binnen de categorie past en waarvoor BEDRIJF X interesse zou hebben. Deze robots worden hierna besproken.

Categorie 2: Lasrobots die de omgeving kunnen herkennen en hierop aan kunnen passen

Voor de lasrobot die zich aan kan passen aan de omgeving, is er contact opgenomen met Valk Welding. Zij hebben inmiddels vele van deze lasrobots geïmplementeerd bij verschillende bedrijven door heel Europa. Er is met Valk Welding een op maat gemaakte oplossing besproken die past binnen het lasproces van BEDRIJF X. Op deze lasrobot zijn verschillende processen uit te voeren zoals: GTAW en FCAW, welke de meest voorkomende processen zijn.



FIGUUR 10: VALK WELDING ROBOT

Categorie 4: Lasrobots die bijgestuurd kunnen worden tijdens het proces (mechanisering)

Voor de lasrobot die bijgestuurd kan worden tijdens het proces is er gekeken naar een specifiek product, de Rotoweld 3.0. Er is voor dit product gekozen omdat het een oplossing is die zou passen in het huidige proces en er al positieve ervaringen waren met dit product. Een eerdere versie is op de werkvloer in gebruik geweest, maar is 2 jaar geleden weggedaan. Dit met de reden dat er weinig personeel voor getraind was en op het moment dat zij uit dienst gingen de kennis hiermee ook uit het bedrijf was. Binnen de groep werknemers kon er op dat moment geen gemotiveerde kandidaat gevonden worden die dit op wilde pakken en is er besloten om de Rotoweld op te ruimen. Ondanks dat het product is weggedaan zijn er wel veel positieve ervaringen over de geleverde onderdelen die met de RotoWeld zijn geproduceerd. In figuur 14 is een afbeelding te zien voor een opzet van een Rotoweld. Een Rotoweld bevat 2 werkstations met manipulator en 1 lasapparaat die zich over een verrijdbare rails van het ene naar het andere werkstation kan verplaatsen. Terwijl op het ene werkstation een werkstuk kan worden ingespannen kan op het andere werkstation worden gelast. Voor het lassen kunnen verschillende opties worden ingesteld zoals de breedte van de lasnaad en de stroomtoevoer. Tijdens het lassen kan de lasser deze instellingen

aanpassen en licht bijsturen met de lastoorts. Op de Rotoweld zijn bijna alle lasprocessen toepasbaar: GTAW, SAW, FCAW en GMAW.



FIGUUR 11: ROTOWELD

Huidige middelen

Als laatste optie voor BEDRIJF X wordt de inzet van de huidige middelen meegenomen. Omdat er middelen beschikbaar zijn maar deze niet ingezet wordt, wordt er ook gekeken naar de optie om deze middelen wel te gaan gebruiken. Dit kan bijvoorbeeld door een ander beleid in te zetten of mensen die er mee moeten werken bewuster te maken van het nut dat deze middelen hebben. Omdat deze middelen bijna niet ingezet zijn wordt er in dit onderzoek ook gekeken naar de optie om deze middelen wel optimaal te gebruiken en welke voordelen hierbij komen. Hier worden alleen de huidige middelen meegenomen die beschikbaar zijn voor het lassen. Dit zijn de pendelmachines in combinatie met de manipulators en de OP-machine voor het SAW-proces.

4.3| Conclusie

In dit hoofdstuk is er antwoord gegeven op de deelvragen 2a en 2b. De conclusie per deelvraag is als volgt:

Welke opties zijn er op de markt?

Er zijn tegenwoordig erg veel opties voor robotisering van het lasproces op de markt. Deze opties zijn in te delen in 4 verschillende categorieën, namelijk:

1. Lasrobots waar de coördinaten worden geprogrammeerd waar gelast moet worden
2. Lasrobots die de omgeving kunnen herkennen en hierop aan kunnen passen
3. Zelflerende lasrobots
4. Lasrobots die bijgestuurd kunnen worden tijdens het proces (mechanisering)

Welke opties zijn er procesmatig gezien geschikt voor BEDRIJF X?

De verschillende categorieën zijn niet allemaal toepasbaar binnen het lasproces van BEDRIJF X. Er zijn een aantal factoren die de mogelijkheden beïnvloeden, zoals een hoge kwaliteit die geleverd moet worden, er moet enkelstuksproductie mogelijk zijn en de lassnelheid moet hoog liggen terwijl de omschakeltijd omlaag moet. De categorieën die het beste toepasbaar zijn binnen BEDRIJF X zijn categorie 2 en 4. Voor beide categorieën is er een concreet product gevonden uit interviews en bezoeken aan leveranciers. Voor categorie 2 is dit een robot van Valk Welding en voor categorie 4 is dit product de RotoWeld. Daarnaast wordt ook de inzet van de beschikbare middelen binnen het lasproces als mogelijke optie voor mechanisering van het lasproces gezien. Deze huidige beschikbare middelen bestaan uit manipulatoren en pendelmachines die al op de werkvloer aanwezig zijn, maar nog niet veel worden gebruikt.

De opties voor robotisering/mechanisering die geschikt zijn voor het lasproces van BEDRIJF X zijn:

- Valk Welding robot
- RotoWeld
- Inzet beschikbare middelen op de werkvloer

5 | BEOORDELING OPTIES

In dit onderzoek worden de 3 opties die besproken zijn in paragraaf 4.2 tegen elkaar uitgezet: inzet huidige middelen, mechanisering en robotisering. Om deze 3 opties goed met elkaar te kunnen vergelijken worden er in paragraaf 5.1 criteria opgesteld naar aanleiding van de wensen en eisen van BEDRIJF X. In paragraaf 5.2 wordt besproken hoe deze criteria operationeel gemaakt kunnen worden, gevolgd door paragraaf 5.3 waar de data verzameling wordt besproken. In paragraaf 5.4 wordt de beste optie bepaald voor BEDRIJF X met behulp van de gevonden data.

5.1 | Eisen en wensen

Door de stakeholders worden er verschillende eisen en wensen gesteld aan het lasproces maar ook aan de eventuele robotisering hiervan. Zo moet de robot geschikt zijn voor de huidige lasprocessen, vragen de klanten een hoge kwaliteit en vraagt het management lagere kosten voor het proces en een zo kort mogelijke terugverdiëntijd. De belangrijkste overlappende wensen en eisen die uit interviews naar voren gekomen zijn, zijn:

- **Kosten**
Allereerst zijn lage kosten een wens van het management van BEDRIJF X, omdat er simpelweg meer winst gemaakt kan worden. Maar de lagere kosten zorgen er ook voor dat BEDRIJF X haar producten en diensten goedkoper aan kan bieden aan de klanten. Hierdoor versterkt haar concurrentiepositie, een probleem dat ook genoemd is in de probleemkluwen. De klanten van BEDRIJF X hebben dus ook baat bij de eis voor lagere kosten (mits het voordeel ook deels aan hen wordt doorberekend).
- **Kwaliteit**
Zoals al eerder genoemd, vraagt de industrie waar BEDRIJF X zich in bevindt een hoge kwaliteit van de producten. Daarnaast moet aan internationale kwaliteitsnormen worden voldaan, waarvoor ook een hoge kwaliteit is vereist. Ook het management van BEDRIJF X heeft hierdoor belang bij een hoge kwaliteit, allereerst omdat er graag goede producten worden afgeleverd en hierdoor een netwerk opgebouwd kan worden met tevreden klanten.
- **Flexibiliteit**
Doordat er vrijwel geen batches worden geproduceerd is het van belang dat de apparatuur flexibel is en bijvoorbeeld een korte omsteltijd heeft. Ook wordt er binnen het lasproces van BEDRIJF X veel gebruik gemaakt van verschillende processen, waar tussen gewisseld moet worden. Daarnaast zijn er pieken en dalen in de vraag waardoor het hierbij ook van belang is dat de capaciteit van de productielijn gemakkelijk aangepast kan worden.
- **Terugverdiëntijd**
Des te sneller de investering is terug verdiend en winst gaat opleveren, des te aantrekkelijker is deze optie voor BEDRIJF X. Als de investering snel is terug verdiend, geeft dit minder risico en kan men sneller winst gaan maken door de nieuwe investering.

5.2 | Operationalisering criteria

In deze paragraaf wordt besproken hoe de criteria uit paragraaf 5.1 operationeel gemaakt kunnen worden. Dit wordt gedaan door het toekennen van subattributen aan de criteria. De verschillende subattributen zullen hieronder worden besproken. Aan al deze sub attributen zijn gewichten toegekend om deze onderling te beoordelen op belangrijkheid. De schaal die hiervoor is toegepast is 1 t/m 5, waarbij 1 heel onbelangrijk is en 5 heel belangrijk. Hoe goed er gescoord wordt op een sub attribuut wordt bepaald met een uniforme schaal van 0 tot 100. Bij deze schaalverdeling scoort de beste optie 100 en de slechtste optie 0. In overleg met de opdrachtgever zijn de scores tussen de 0 en de 100 bepaald voor de andere opties.

De verschillende sub attributen worden in deze paragraaf toegelicht per criterium.

5.2.1 | Kosten

De verschillende sub attributen zijn bepaald vanuit de verschillende interviews, waar veel aspecten van de kosten zijn besproken.

- **Aanschafkosten**
Onder de aanschafkosten worden de kosten verstaan voor de nieuwe apparatuur samen met het vervoer en de plaatsing hiervan. Ook worden de kosten voor trainingen van het personeel hierin meegenomen. De aanschafkosten zijn van belang omdat er geld vrij gemaakt moet worden om deze investering te bewerkstelligen.
- **Kosten per meter**
Onder kosten per meter lassen worden de materiaalkosten, loonkosten en apparatuurkosten verstaan per gelaste meter per lengte. De kosten per meter zijn een belangrijke factor doordat hiermee het voordeel wordt getoond wat een robot kan opleveren t.o.v. handmatige productie.
- **Onderhoudskosten**
Onder onderhoudskosten worden de gemiddelde kosten per jaar verstaan die worden gebruikt om reparaties uit te voeren of kleine onderdelen te vervangen. De onderhoudskosten zijn van belang, omdat deze kostenpost aangeeft hoeveel geld er per jaar vrij moet worden gemaakt voor onderhoud van de apparatuur.

5.2.2 | Kwaliteit

De verschillende sub attributen zijn ook bepaald vanuit verschillende interviews en gesprekken met verschillende medewerkers. Voor de kwaliteit is vooral veel overleg geweest met de afdeling Quality & Control.

- **Afkeurpercentage**
Onder het afkeurpercentage wordt het deel van de totale werkzaamheden verstaan dat wordt afgekeurd door de lassers zelf, de leidinggevende of door middel van Niet Destructief Onderzoek dat door de klant wordt uitgevoerd. Om een hoge kwaliteit te kunnen leveren, moet het percentage afkeur zo laag mogelijk blijven.
- **Fabriekstoleranties**
Onder de fabriekstoleranties wordt verstaan welke afwijking de robot mag vertonen bij het uitvoeren van zijn werkzaamheden. Als er staat dat de robot een precisie heeft van 0,1 mm, is er een afwijking vastgesteld die deze precisie mag hebben.

5.2.3 | Flexibiliteit

De subattributen zijn bepaald naar aanleiding van verschillende interviews met leveranciers en de werknemers op de werkplaats.

- **Aantal verschillende processen toepasbaar**
Omdat er gebruik gemaakt wordt van veel verschillende processen binnen BEDRIJF X, is het belangrijk dat de robot verschillende processen kan gebruiken om de werkzaamheden uit te voeren. Het zou gemakkelijk zijn als er meerdere processen uitgevoerd kunnen worden op de robot.
- **Totaal aantal toepasbare lassen**
Het is belangrijk om niet alleen te kijken naar het aantal processen wat toegepast kan worden op de robot. Het is van belang om te kijken hoe vaak de verschillende processen worden toegepast. Als de robot een aantal verschillende processen kan toepassen die vrijwel niet voorkomen is het wellicht voordeliger als de robot slechts één proces kan uitvoeren, die wel vaak wordt gebruikt.

- **Omschakeltijd**

Er is al eerder benoemd, dat in het prefabricageproces vrijwel nooit batches worden geproduceerd en de apparatuur vaak omgesteld moet worden bij een volgende werkzaamheid. Om ervoor te zorgen dat de werkzaamheden zo efficiënt mogelijk gebeuren, is het belangrijk om de omschakeltijd zo kort mogelijk te houden.

- **Capaciteit**

Doordat er veel pieken en dalen zijn in de opdrachten van de klanten, is het belangrijk dat de capaciteit flexibel is. Dit kan natuurlijk door personeel in te lenen, maar sommige robots hebben een veel hogere capaciteit dan medewerkers waardoor het verschil in de pieken en dalen makkelijker kan worden opgevangen.

- **Doorlooptijd**

Hoe korter de doorlooptijd van het proces wordt, des te gemakkelijker is er een extra werkzaamheid nog even uit te voeren.

5.2.4 | Terugverdientijd

De terugverdientijd bepaalt wanneer de gedane investering compleet is terugverdiend. Deze factor geeft een deel van het risico van de investering weer, als de investering sneller terugverdiend is kan er sneller meer winst geboekt worden. De terugverdientijd is al operationeel en zal worden berekend voor de verschillende opties.

Hieronder in figuur 22 zijn de verschillende subattributen weergegeven met de toegekende gewichten. Deze gewichten zijn bepaald in overleg met de opdrachtgever.

Subattribuut	Gewicht
KOSTEN	
Aanschafkosten	2
Kosten per meter	5
Onderhoudskosten per jaar	2
KWALITEIT	
Afkeurpercentage	4
Fabriekstoleranties	2
FLEXIBILITEIT	
Aantal verschillende processen	3
Totaal aantal toepasbare lassen	5
Omschakeltijd	5
Capaciteit	4
Doorlooptijd	2
TERUGVERDIENTIJD	
Terugverdientijd	4

FIGUUR 12: TABEL GEWICHTEN SUBATTRIBUTEN

5.3| Data verzameling

In deze paragraaf zal worden besproken hoe de verschillende data is verzameld om de sub attributen meetbaar te maken die besproken zijn in paragraaf 5.2. Hierna zal voor ieder sub attribuut de gevonden data gegeven worden voor de vier verschillende opties: huidige situatie, inzet pendelmachines, inzet valk welding robot, en de inzet van de RotoWeld. Bij deze data zal de score op uniforme schaal van 1 t/m 100 gegeven worden, zoals bepaald door de opdrachtgever.

5.3.1 | Aanschafkosten

De aanschafkosten zijn voor de verschillende opties bepaald door gesprekken met de leveranciers van de verschillende opties. Na gesprekken met de leverancier voor de wensen en eisen voor het proces van BEDRIJF X hebben zij een prijs opgesteld, dit is een eerste indicatie van een prijs waar voor dit onderzoek vanuit is gegaan. De daadwerkelijke aanschafprijs kan hier iets van afwijken.

De aanschafkosten van de huidige situatie worden op 0 gehouden, aangezien alle apparatuur al aanwezig is. Echter is het wel zo dat de apparatuur ooit weer vervangen moet worden, maar dat wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Voor optimaal gebruik van de beschikbare middelen, de pendelmachines, zal er geïnvesteerd moeten worden in het ombouwen van de manipulators. Deze manipulators haperen soms en daardoor is het lastiger om deze te gebruiken in combinatie met de pendelmachines. De kosten voor het ombouwen van een manipulator worden geschat op €1.300,-. Daarnaast moet het personeel leren om met de pendelmachines te lassen, deze opleidingskosten worden geschat op €9800,-. De aanschafkosten voor de Valk Welding robot inclusief training voor het personeel wordt geschat op €555.000,-. De aanschafkosten inclusief training voor de RotoWeld worden geschat op €725.000,-.

Optie	Aanschafkosten	Score
Huidige situatie	€0,-	100
Pendelmachines	€11.100	95
Valk Welding robot	€555.000,-	20
RotoWeld	€725.000,-	0

FIGUUR 2313: TABEL AANSCHAFKOSTEN

5.3.2 | Kosten per meter

De kosten per meter worden berekend voor de verschillende opties met behulp van de onderstaande formule welke besproken is in paragraaf 2.1.2.

$$W = V \times P \left[\frac{100}{i} \times \frac{1}{F} \left(L + \frac{A + R + O}{1600} \times \frac{100}{\beta} \right) + M \times \frac{100}{\eta} + P \times \delta + \frac{1000}{60} \times \frac{Vg \times G}{F} \right]$$

Omdat deze formule uit veel verschillende variabelen bestaat en deze variabelen voor ieder lasproces en lasspecificatie (WPS) anders zijn, is er een database aangemaakt waar de verschillende waarden van de variabelen zijn opgeslagen. Voor vaste waarden per optie bijvoorbeeld het soort metaal, de lasnaadinhoud e.d. zijn de gemiddeldes gebruikt over de afgelopen 3 jaar, voor andere waarden die wel veranderen per optie zijn er interviews afgenomen. Omdat iedere WPS (zie 3.2.1) anders is en ook hele andere waardes voor de variabelen omvat is ervoor gekozen om deze database op te bouwen per WPS. Ieder lasproces (zie 3.1.1) komt meerdere keren voor op WPS, bij iedere WPS hoort 1 lasproces of een combinatie van 2 lasprocessen. Vanuit deze database zijn de gemiddelde kosten per meter bepaald per lasproces. Hierbij is meegenomen hoe vaak de verschillende WPS-en zijn voorgekomen in de afgelopen 3 jaar. Daarna zijn de

totale gemiddelde kosten bepaald voor de verschillende opties. Echter is er een beter overzicht te krijgen als er wordt gekeken naar de verschillende lasprocessen apart, dit omdat niet alle lasprocessen toepasbaar zijn op iedere robot. Voor verdere toelichting hoe de waardes in de database zijn bepaald zie bijlage H. De kosten per meter zijn bepaald per WPS en bepaald per toegepast proces. De resultaten worden weergegeven in tabel 24 hieronder.

Optie	Kosten per meter	Score
Huidige situatie	€242,54	70
Pendelmachines	€240,19	100
Valk Welding robot	€258,48	0
RotoWeld	€241,19	75

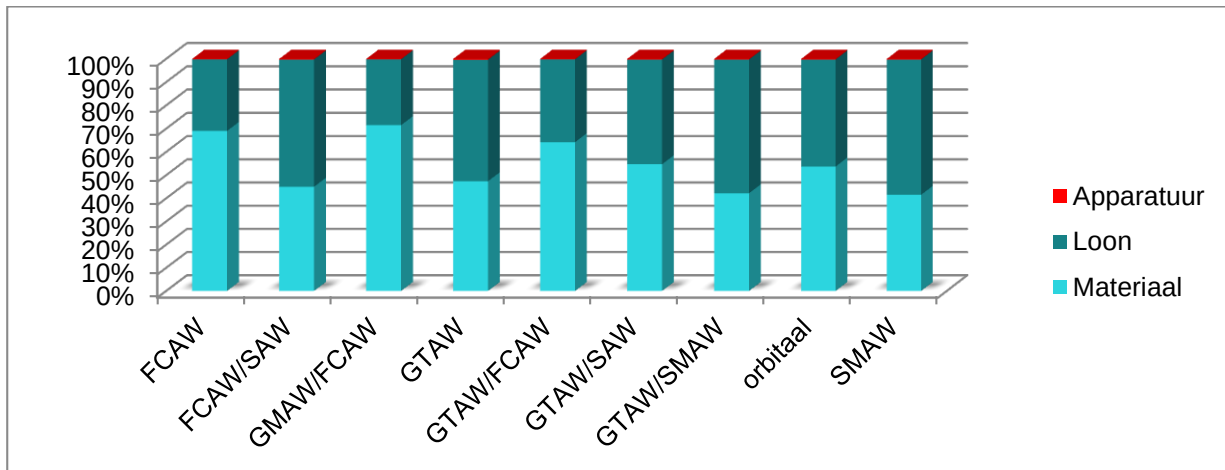
FIGUUR 24: TABEL KOSTEN PER METER

De kosten per meter geven een gewogen gemiddelde over alle processen, echter kunnen niet alle processen worden toegepast op de verschillende robots. Zie figuur 34 voor de toepasbare processen voor de verschillende opties. Om duidelijk te krijgen welke verschillende processen toepasbaar zijn op de verschillende robots, zijn er interviews gehouden met de leveranciers. Daarna is er met medewerkers van de afdeling Lastechniek besproken welke processen voor BEDRIJF X ook voordelig zouden zijn om te vervangen door robots. Deze processen zijn aangepast in prijs per meter voor de verschillende opties. In figuur 26 is een uitgebreider overzicht te zien van de verschillende opties per proces. De prijzen in rood geven aan welke processen toepasbaar zijn op de verschillende opties. In zwart zijn de prijzen weergegeven voor het handmatige proces.

Proces	Kosten per meter Huidige situatie	Kosten per meter Pendelmachines	Kosten per meter Robot Valk Welding	Kosten per meter Rotoweld
FCAW	€ 194,28	€ 176,33	€ 186,60	€ 184,09
FCAW/SAW	€ 128,04	€ 120,60	€ 137,57	€ 127,06
GMAW/FCAW	€ 246,23	€ 225,46	€ 248,27	€ 236,25
GMAW/SMAW	€ 420,31	€ 420,31	€ 420,31	€ 420,31
GTAW	€ 247,00	€ 247,00	€ 275,62	€ 247,00
GTAW/FCAW	€ 270,81	€ 254,02	€ 273,32	€ 269,60
GTAW/SAW	€ 124,82	€ 124,82	€ 124,82	€ 124,82
GTAW/SMAW	€ 1136,78	€ 1136,78	€ 1136,78	€ 1136,78
Orbitaal	€ 57,00	€ 57,00	€ 57,00	€ 57,00
SMAW	€ 115,82	€ 115,82	€ 115,82	€ 115,82

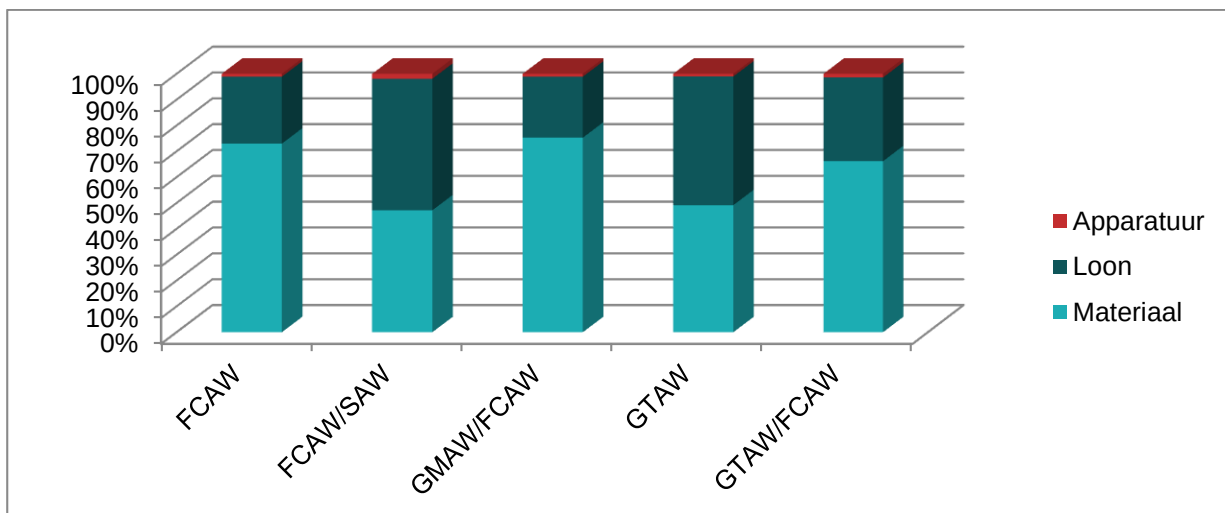
FIGUUR 25: TABEL KOSTEN PER METER PER PROCES

Bij bovenstaande prijzen zijn de afschrijvingskosten ook meegenomen, deze afschrijving staat voor 10 jaar en deze kosten vervallen na deze 10 jaar. Daarnaast is het interessant om te zien hoeveel van de kosten besteed wordt aan materiaal en loon, zo kan worden gekeken waarop bespaard wordt met de verschillende opties. De totale kosten staan onderverdeeld in de verschillende kostenposten voor de verschillende processen in onderstaande grafieken. Per optie is er een grafiek weergegeven. In figuur 26 staat de verdeling van de kosten weergegeven voor de huidige situatie, in figuur 27 staat dit voor het gebruik van de pendelmachines. De onderverdeling van de kosten voor de processen toepasbaar op de robot van Valk Welding wordt weergegeven in figuur 28 gevolgd door figuur 29 waar de kosten staan weergegeven voor de processen toepasbaar op de RotoWeld.



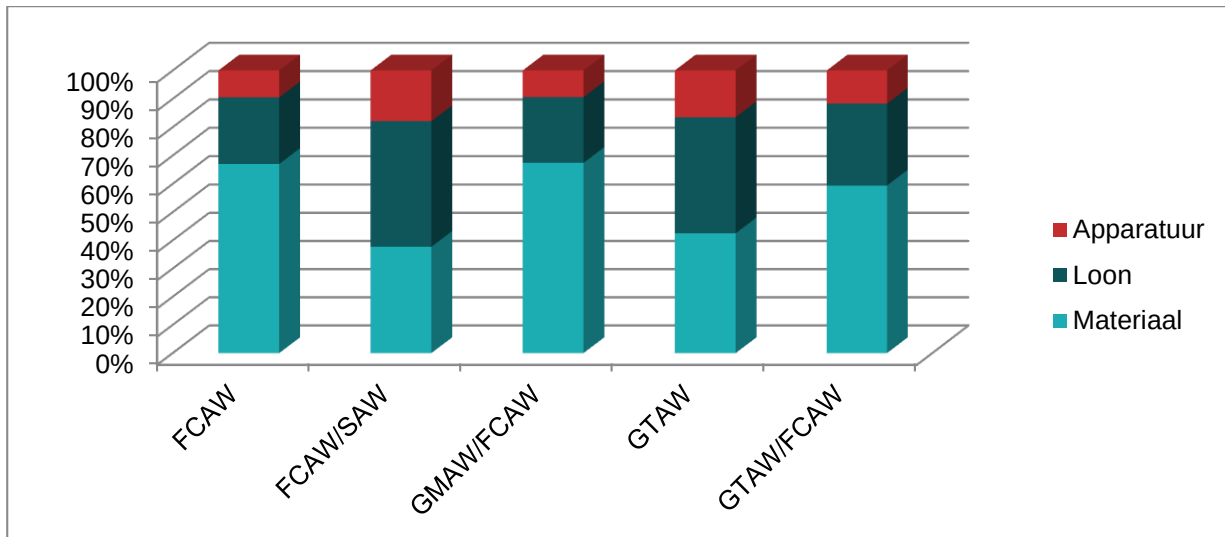
FIGUUR 2614: KOSTENVERDELING HUIDIGE SITUATIE

In figuur 26 is te zien dat de apparatuurkosten zeer laag zijn. Dit komt omdat alle investeringen inmiddels zijn afgeschreven en er slechts een klein deel kosten voor onderhoud zijn per jaar.

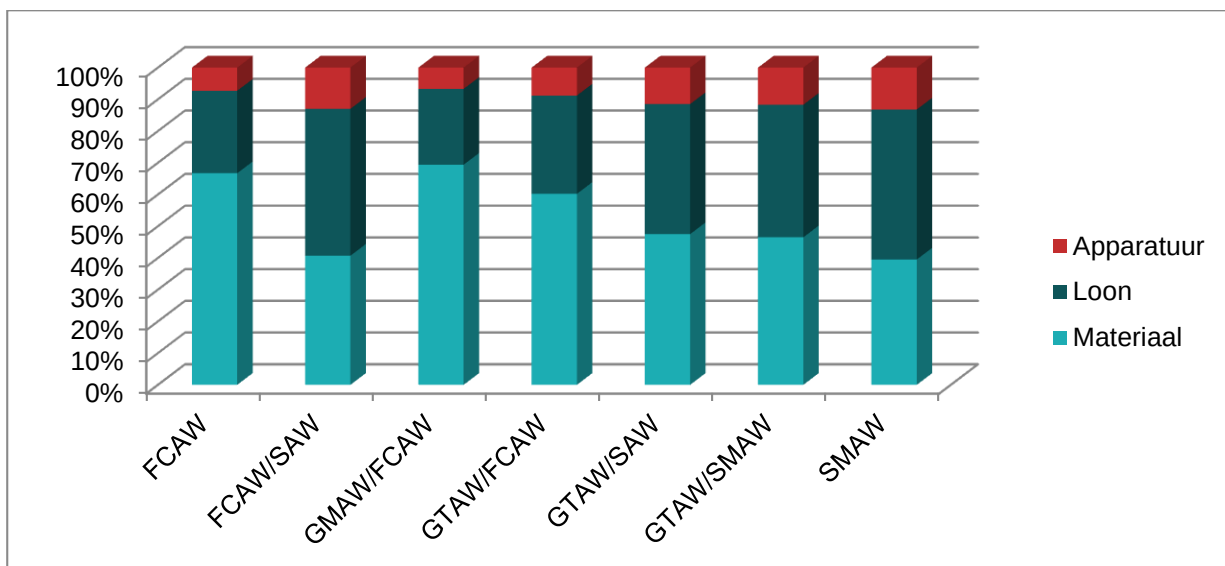


FIGUUR 2715: KOSTENVERDELING PENDELMACHINES

In figuur 27 is te zien dat de apparatuurkosten wel iets hoger worden, omdat er een kleine investering nodig is en er iets meer onderhoud nodig is voor de apparatuur. Echter zijn de apparatuurkosten nog steeds slechts een klein deel van de totale kosten per meter lassen.



FIGUUR 28: KOSTENVERDELING VALK WELDING ROBOT



FIGUUR 169: KOSTENVERDELING ROTOWELD

In figuur 28 en figuur 29 is te zien dat de kosten per meter lassen voor de Valk Welding en de RotoWeld een aanzienlijk groter percentage apparatuurkosten omvatten dan de huidige situatie en de inzet van de pendelmachines. Dit komt doordat er een relatief grote investering nodig is waarbij de eerste 10 jaar de afschrijvingen worden meegenomen in de kosten per meter. Na deze 10 jaar zullen de apparatuurkosten dus een stuk afnemen, waardoor de kosten per meter lager uit zullen vallen dan weergegeven in figuur X. Echter blijven er wel onderhoudskosten aan beide opties verbonden die meer bedragen dan in de huidige situatie of bij de inzet van de pendelmachines.

Om duidelijk in beeld te krijgen hoeveel de investeringen opleveren nadat ze zijn afgeschreven is er ook een berekening gemaakt van de kosten per meter exclusief de afschrijving. Alle factoren zoals onderhoudskosten zijn constant gebleven, alleen de afschrijvingskosten zijn gelijk gesteld aan 0. De gemiddelde kosten per meter exclusief afschrijving zijn terug te vinden in figuur 30.

Optie	Kosten per meter exclusief afschrijving
Huidige situatie	€242,54
Pendelmachines	€240,00
Valk Welding robot	€232,90
RotoWeld	€237,78

FIGUUR 3017: KOSTEN PER METER EXCL AFSCHRIJVING

5.3.3| Onderhoudskosten

De onderhoudskosten zijn bepaald door interviews met de leveranciers, er is uitgegaan van de ervaring van de leveranciers op dit gebied. Voor de huidige situatie en de inzet van reeds beschikbare middelen zijn de onderhoudskosten bepaald door de magazijnmedewerkers, omdat zij de vervanging van de verschillende onderdelen en reparaties regelen. De onderhoudskosten per jaar die naar voren zijn gekomen uit gesprekken met de leveranciers en de medewerkers van het magazijn zijn weergegeven in figuur 31.

Optie	Onderhoudskosten per jaar	Score
Huidige situatie	€1000,-	100
Pendelmachines	€6300,-	60
Valk Welding robot	€11.000,-	30
RotoWeld	€20.000,-	0

FIGUUR 3118: TABEL ONDERHOUDSKOSTEN

5.3.4| Afkeurpercentage

Het afkeurpercentage is eerst bepaald van de afgelopen 3 jaar door een database aan te maken van de Niet Destructieve Onderzoeken en de totaal gemaakte lassen in deze tijdsperiode. Het afkeurpercentage voor de andere opties is geschat door middel van gesprekken met de leveranciers en de werknemers van de afdeling lastechniek. Het geschatte afkeurpercentage is voor alle opties gelijk, er wordt verwacht dat er soms nog steeds dingen misgaan maar het afkeurpercentage is op het moment al erg laag in de prefabricageshop, namelijk 0,1%. Echter wordt er ook niet verwacht dat het afkeurpercentage met een robot veel omhoog gaat. Met de robot van Valk Welding is dit risico het grootste omdat daar niet bijgestuurd kan worden tijdens het lassen. Echter staan deze robots bekend om de hoge nauwkeurigheid en wordt daarom geen hoger afkeurpercentage verwacht.

5.3.5| Fabriekstoleranties

De fabriekstoleranties zijn bepaald door middel van interviews met de leveranciers van de verschillende opties. De fabriekstoleranties bepalen de afwijkingen en daarmee ook deels de kwaliteit van de las. Omdat er een hoge kwaliteit wordt gevraagd door de klanten is dit van groot belang. De fabriekstoleranties (maximale afwijkingen) voor de verschillende opties staan hieronder weergegeven in figuur 34.

Optie	Max. afwijking	Score
Huidige situatie	> 1 mm	0
Pendelmachines	> 1 mm	0
Valk Welding robot	<0,1 mm	100
RotoWeld	0,1 – 1 mm	50

FIGUUR 32: TABEL FABRIEKSTOLERANTIES

5.3.7| Aantal verschillende processen

De hoeveelheid processen die op de robot toegepast kunnen worden zijn naar voren gekomen uit de specificaties van de robots en interviews met de leveranciers. Daarna is met de werknemers van de afdeling Lastechniek besproken welke processen toe te passen zijn op een robot op zo'n manier dat zij ook voordeel opleveren ten opzichte van handmatig lassen. Het aantal verschillende processen die uit te voeren zijn op de verschillende opties, zegt iets over de flexibiliteit van de optie. De percentages van de totale processen die op de opties toepasbaar zijn, staan weergegeven in figuur 35. Hierbij moet rekening worden gehouden dat dit iets zegt over de flexibiliteit en er wordt gekeken naar het aantal verschillende lasprocessen, waarbij het voorkomen van de verschillende lasprocessen niet is meegenomen.

Optie	% toepasbare processen	Score
Huidige situatie	100%	100
Pendelmachines	44%	0
Valk Welding robot	56%	50
RotoWeld	78%	80

FIGUUR 33: TABEL AANTAL PROCESSEN

5.3.8| Totaal aantal toepasbare lassen

Het totaal aantal toepasbare lassen voor de verschillende opties is bepaald door de percentages van het voorkomen van de verschillende lassen (figuur 15) in combinatie met de toepasbaarheid van de processen voor de verschillende opties (figuur 34). In figuur 34 wordt een overzicht weergegeven van de toepasbaarheid van de processen op de verschillende opties die tegen elkaar worden afgewogen.

Proces	Huidige situatie	Pendelmachines	Valk Welding robot	RotoWeld
FCAW	X	X	X	X
FCAW/SAW	X	X	X	X
GMAW/FCAW	X	X	X	X
GTAW	X		X	
GTAW/FCAW	X	X	X	X
GTAW/SAW	X			X
GTAW/SMAW	X			
Orbitaal	X			
SMAW	X			

FIGUUR 34: TABEL TOEPASBAARHEID PROCESSEN

Op basis van de 2 verschillende tabellen zijn de data gevonden, zoals weergegeven in figuur 35 voor het aantal toepasbare lassen per optie.

Optie	% toepasbare processen	Score
Huidige situatie	100%	100
Pendelmachines	16%	20
Valk Welding robot	91%	90
RotoWeld	16%	20

FIGUUR 35: TABEL AANTAL TOEPASBARE LASSEN

5.3.9| Omschakeltijd

De omschakeltijd is ingeschat met behulp van de inschakelduur van het lasproces, dit is de tijd dat er daadwerkelijk gelast wordt van de totale tijd. De andere tijd is een lasser aan het werk, machines opnieuw in te stellen, materialen op te halen enzovoort. Door interviews te houden met de lassers en rond te lopen op de werkvloer is er een inschatting gemaakt van de benodigde omschakeltijd. De omschakeltijd voor de verschillende opties wordt weergegeven in figuur 36.

Optie	Omschakeltijd	Score
Huidige situatie	> 10 minuten	0
Pendelmachines	5 - 10 minuten	40
Valk Welding robot	> 10 minuten	0
RotoWeld	< 5 minuten	100

FIGUUR 36: TABEL OMSCHAKELTIJD

5.3.10| Capaciteit

De capaciteit per robot is uitgezocht door interviews met de leverancier, verrichte capaciteitsmetingen in het verleden en door berekeningen van de duur van verschillende werkzaamheden. De capaciteit voor de verschillende opties wordt hieronder weergegeven. Er is gekozen om de capaciteit weer te geven per lasser. De RotoWeld heeft per dag een capaciteit van 300 duim per dag, hier staan echter 2 lassers bij om het apparaat te bedienen.

Optie	Capaciteit	Score
Huidige situatie	40 duim per dag	20
Pendelmachines	46 duim per dag	20
Valk Welding robot	50 duim per dag	30
RotoWeld	150 duim per dag	100

FIGUUR 37: TABEL CAPACITEIT

5.3.11| Doorlooptijd

De doorlooptijd van het proces is te bepalen door een deel te gebruiken van de formule van de kosten per meter. Met deze formule: $V \times \rho \times \frac{100}{i} \times \frac{1}{F}$ wordt er bepaald hoe lang het lassen van een bepaalde buis in beslag neemt. De doorlooptijd is alleen gericht op het lassen, dus het opspannen, fitten en afwerken van de buizen wordt buiten beschouwing gelaten. Met behulp van bovenstaande formule zijn de doorlooptijden voor de verschillende opties bepaald. Om de doorlooptijden goed te kunnen vergelijken wordt er gekeken naar een standaard proces wat voor alle opties kan worden toegepast: FCAW en daarnaast is er gekozen om dit te bekijken voor eenzelfde buis. De verschillende doorlooptijden voor de gemiddelde buis gelast volgens WPS 40 in de afgelopen 3 jaar staan weergegeven in figuur 38.

Optie	Doorlooptijd	Score
Huidige situatie	16 min	0
Pendelmachines	12.6 min	20
Valk Welding robot	12.2 min	30
RotoWeld	6.8 min	100

FIGUUR 3820: TABEL DOORLOOPTIJD

5.3.12| Terugverdientijd

De terugverdientijd is bepaald door te kijken naar het voordeel wat de verschillende opties opleveren ten opzichte van de huidige situatie. Als de investering bijvoorbeeld €10.000,- bespaard per jaar en de investering heeft €100.000,- gekost dan is de terugverdientijd 10 jaar. Op deze manier is de terugverdientijd bepaald voor de verschillende opties en weergegeven in tabel 39.

Optie	Terugverdientijd	Score
Huidige situatie	-	100
Pendelmachines	2 maanden	98
Valk Welding robot	14 jaar	10
RotoWeld	17,5 jaar	0

FIGUUR 3821: TABEL TERUGVERDIENTIJD

5.4| Analyse beste optie voor BEDRIJF X

In deze paragraaf worden de verschillende opties tegen elkaar afgewogen. Dit wordt gedaan met behulp van de gewichten die bepaald zijn voor de verschillende subattributen (paragraaf 5.2) en de scores op de verschillende subattributen (paragraaf 5.3). Dit overzicht is weergegeven in figuur 39 hieronder. De totale scores voor de opties zijn bepaald door de scores te vermenigvuldigen met het gewicht en per optie de som van alle subattributen te berekenen.

Subattribuut	Huidige situatie	Pendelmachines	Valk Welding robot	RotoWeld	Gewicht
Aanschafkosten	100	95	20	0	2
Kosten per meter	70	100	0	75	5
Onderhoudskosten	100	60	30	0	2
Afkeurpercentage	-	-	-	-	4
Fabriekstoleranties	0	0	100	50	2
Aantal verschillende processen	100	0	50	80	3
Totaal aantal toepasbare lassen	100	20	90	20	5
Omschakeltijd	0	40	0	100	5
Capaciteit	20	20	30	100	4
Doorlooptijd	0	20	30	100	2
Terugverdiëntijd	100	98	10	0	4
Totaal	2030	1622	1120	1915	

FIGUUR 39: TABEL SCORES VERSCHILLENDE OPTIES

Als er wordt gekeken naar deze resultaten, komt de huidige situatie als beste optie naar voren. De lasrobots creëren op dit moment met deze scoringskaart geen betere optie dan de huidige situatie. Aan de andere kant moet er rekening mee gehouden worden dat veel problemen uit de probleemkluwen met de optie voor de RotoWeld wel opgelost kunnen worden (beste optie van de robotisatie opties). Een aantal van deze problemen zoals het tekort aan goede lassers zal naar verwachting de komende jaren steeds groter worden en zal de huidige situatie dus lager gaan scoren.

5.5 | Conclusie

In dit hoofdstuk is er antwoord gegeven op de deelvragen 3a, 3b en 3c. De conclusie per deelvraag is als volgt:

Welke factoren zijn nodig voor een goede afweging?

Om een goede afweging tussen de verschillende opties te maken is het belangrijk om te weten welke eisen en wensen BEDRIJF X aan de robot en aan het lasproces stelt. Uit verschillende interviews kwamen de volgende 3 belangrijkste eisen naar boven:

- **Lage kosten**
Er is een vraag voor lagere kosten omdat er dan meer winst gemaakt kan worden maar ook omdat dit voordeel aan de klanten kan worden doorberekend. Op deze manier kan BEDRIJF X opdrachten goedkoper aanbieden en een sterkere concurrentiepositie verkrijgen.
- **Hoge kwaliteit**
De hoge kwaliteit van de producten blijft een eis die altijd terug zal komen, omdat dit wordt gevraagd door de klanten maar dit is ook vastgesteld door de internationale kwaliteitsnormen als ISO's.
- **Grote flexibiliteit**
Omdat er gebruik wordt gemaakt van veel verschillende processen en ieder product anders is, is het van belang dat er een grote flexibiliteit geboden kan worden.

Hoe kunnen deze factoren gemeten worden?

Omdat de eisen(criteria) die gesteld zijn op zichzelf niet meetbaar zijn, zijn deze meetbaar gemaakt door hier subattributen onder te plaatsen. Ieder criteria bestaat uit minimaal 2 sub attributen welke wel meetbaar zijn. Omdat de sub attributen niet allemaal even belangrijk worden bevonden door BEDRIJF X, wordt er aan de verschillende sub attributen een gewicht gehangen welke aangeeft hoe belangrijk deze wordt bevonden. De gewichten hebben een schaal van 1 t/m 5, waarbij 1 heel onbelangrijk weerspiegelt en 5 heel erg belangrijk. Daarnaast zijn de subattributen voorzien van de scores 0 t/m 100 op uniforme schaal om te bepalen hoe goed er wordt gescoord op een van de attributen. Hierbij is 0 de slechtste score en 100 de beste score. In figuur 40 hieronder is een overzicht gegeven van de verschillende criteria met de sub attributen en bijbehorende gewichten.

Subattribuut	Gewicht
KOSTEN	
Aanschaffkosten	2
Kosten per meter	5
Onderhoudskosten per jaar	2
KWALITEIT	
Afkeurpercentage	4
Fabriekstoleranties	2
FLEXIBILITEIT	
Aantal verschillende processen	3
Totaal aantal toepasbare lassen	5
Omschakeltijd	5
Capaciteit	4
Doorlooptijd	2
TERUGVERDIENTIJD	
Terugverdientijd	4

FIGUUR 40: TABEL GEWICHTEN SUBATTRIBUTEN

Welke optie is het beste voor BEDRIJF X?

Om de beste optie voor BEDRIJF X te bepalen is er gebruikt gemaakt van de opgestelde subattributen met bijbehorende gewichten. De data die verzameld is om de verschillende attributen meetbaar te maken, zijn in dit hoofdstuk besproken. Door de scores te bepalen en de gewichten toe te kennen zijn het aantal punten voor de verschillende opties bepaald. Deze staan hieronder weergegeven in figuur 40.

Optie	Waardering (pnt)
Huidige situatie	2030
Pendelmachines	1622
Valk Welding robot	1120
RotoWeld	1915

FIGUUR 41 22: TABEL WAARDERING OPTIES

Volgens de opgestelde criteria is de huidige situatie de beste optie voor het lasproces van BEDRIJF X. Echter moet er wel rekening mee gehouden worden dat de problemen gaan toenemen en is het goed om de beste optie voor robotisering (RotoWeld) af te wegen. De score van de huidige situatie zal naar verwachting af gaan nemen en met verder onderzoek en een goede implementatie zijn er wellicht mogelijkheden om de RotoWeld beter te laten scoren, zodat het een voordeel oplevert in het lasproces.

Er zijn analyses gemaakt van de kosten per meter voor de verschillende opties, de optie voor de inzet van de RotoWeld draagt bij aan een voordeliger lasproces ten opzichte van de huidige situatie. De kosten per meter voor de RotoWeld inclusief en exclusief afschrijving staan weergegeven in figuur 41. De eerste 10 jaar wordt 10% van de investering afgeschreven, na 10 jaar is de investering compleet afgeschreven.

Optie	Kosten per meter
RotoWeld incl. afschrijving	€241,19
RotoWeld excl. afschrijving	€239,63

FIGUUR 42: KOSTEN PER METER ROTOWELD

Ten opzichte van de huidige situatie wordt er €1,35 bespaard per gelaste meter in de eerste 10 jaar na de investering. Als we kijken naar de kosten per meter na 10 jaar, zien we de kosten per meter zonder afschrijvingen. Na 10 jaar is de verwachte besparing dus €2,90 per meter.

De totale capaciteit van de RotoWeld bedraagt naar verwachting 300 duim(diainch) per dag. De totale capaciteit in meters per dag bedraagt 23,94 meter per dag. Per jaar heeft de RotoWeld een capaciteit van 6225 meter als er wordt uitgegaan van 5 werkdagen per week, 52 weken lang. De eerste 10 jaar geeft dit dus een besparing van €8381,34 per jaar, na deze 10 jaar wordt de besparing ten opzichte van de huidige situatie geschat op €18.077,40 per jaar.

De berekeningen voor de kosten zijn in dit geval uitgevoerd volgens de maximale toelaatbare neersmeltsnelheid volgens de huidige specificaties. Voor het gebruik van de RotoWeld zullen deze specificaties opnieuw moeten worden opgesteld waarbij de neersmeltsnelheid wellicht hoger kan komen te liggen.

Naast de financiële voordelen heeft de RotoWeld ook andere voordelen op de andere criteria zoals een hoge flexibiliteit, door de grote capaciteit van de RotoWeld waardoor er beter ingespeeld kan worden op pieken en dalen in de vraag van de klanten. Ook is er met inzet van de RotoWeld uiteindelijk minder personeel nodig omdat de capaciteit aanzienlijk groter is. Daarnaast zorgt de RotoWeld ervoor dat de werknemers fysiek minder belast worden, de werknemers moeten meer gaan controleren en hoeven zelf niet meer het zware werk te doen.

6. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

6.1 | Conclusie

In dit verslag is het uitgevoerde onderzoek bij BEDRIJF X besproken om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden:

“(Hoe) kan robotisering en/of mechanisering bijdragen aan een voordeliger lasproces binnen Bedrijf X?”

Er is met dit onderzoek een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de mogelijkheid voor het robotiseren/mechaniseren voor het lasproces van BEDRIJF X. Deze oplossing werd door BEDRIJF X aangedragen voor het kernprobleem: een tekort aan hoog gekwalificeerde lassers.

Om te beginnen is er een analyse gemaakt van de huidige situatie. Het lasproces blijkt een erg complex proces te zijn waar geen batches geproduceerd kunnen worden omdat de producten steeds verschillen. Er wordt gebruikt gemaakt van verschillende lasprocessen die steeds wisselen tussen de werkzaamheden. Bij de analyse is ook ontdekt dat er wel verschillende apparatuur is aangeschaft om het lasproces gemakkelijker en beter te maken, maar dat hier nog lang niet altijd gebruik van wordt gemaakt.

Daarna is er onderzoek gedaan naar de opties voor robotisering en mechanisering die op de markt beschikbaar zijn. Deze opties zijn in te delen in 4 verschillende categorieën:

1. Lasrobots waar de coördinaten worden geprogrammeerd waar gelast moet worden
2. Lasrobots die de omgeving kunnen herkennen en hierop aan kunnen passen
3. Zelflerende lasrobots
4. Lasrobots die bijgestuurd kunnen worden tijdens het proces (mechanisering)

Niet al deze categorieën zijn even goed toepasbaar binnen het lasproces van BEDRIJF X doordat er bijvoorbeeld geen batches worden geproduceerd en de omschakeltijd hier veel te hoog door wordt. Door beoordeling van een verschillende factoren is ervoor gekozen om de categorieën 2 en 4 verder mee te nemen als optie in het onderzoek. Deze factoren zijn: garantie kwaliteit, geschiktheid enkelstuksproductie, lassnelheid, en de instel/omsteltijd. Voor beide categorieën (2 en 4) is er door middel van interviews en bezoeken aan leveranciers een concreet product uitgekozen om als optie mee te nemen. Voor categorie 2 is dit een lasrobot van Valk Welding en voor categorie 4 is dit de RotoWeld. Omdat de huidige middelen voor mechanisering nog vrij weinig worden gebruikt wordt de inzet van deze middelen ook als optie meegenomen. In dit onderzoek zijn samenvattend de volgende 4 opties tegen elkaar afgewogen:

- Huidige situatie
- Valk Welding robot
- RotoWeld
- Inzet beschikbare middelen op de werkvloer

Deze opties zijn tegen elkaar afgewogen met behulp van de opgestelde criteria: kwaliteit, kosten en flexibiliteit. De hoge kwaliteit en de grote flexibiliteit zijn voorwaarden waar het proces aan moet voldoen en de lage kosten zorgen voor beantwoording van de hoofdvraag: een voordeliger lasproces. De criteria zijn meetbaar gemaakt door het opstellen van meetbare sub attributen per criteria. Om de scores op de verschillende criteria te bepalen is er een data analyse gedaan over de lasdata van de afgelopen 3 jaar. Met behulp van deze scores zijn punten toegekend aan de verschillende opties.

Het aantal punten voor de 4 verschillende opties staan hieronder weergegeven in figuur 43.

Optie	Waardering (pnt)
Huidige situatie	2030
Pendelmachines	1622
Valk Welding robot	1120
RotoWeld	1915

FIGUUR 43: TABEL WAARDERING OPTIES

Volgens de opgestelde criteria is de huidige situatie de beste optie voor het lasproces van BEDRIJF X. Echter is het van belang dat er gekeken wordt naar de opties voor robotisering omdat naar verwachting de huidige situatie de komende jaren slechter gaat scoren. Voor de opties van robotisering is de optie voor de Rotoweld de optie die het beste scoort. Er zijn analyses gemaakt van de kosten per meter voor de verschillende opties, waarbij de RotoWeld ook voordeel oplevert, en dus bijdraagt aan een voordelig lasproces. De kosten per meter voor de verschillende opties zijn weergegeven in figuur 44.

Optie	Kosten per meter
Huidige situatie	€ 242,54
Pendelmachines	€ 240,19
Valk Welding robot	€ 262,52
RotoWeld	€ 241,19

FIGUUR 44: TABEL KOSTEN PER METER OPTIES

Ten opzichte van de huidige situatie wordt er €1,35 bespaard per gelaste meter in de eerste 10 jaar na de investering. Na deze 10 jaar is er geen afschrijving meer van de apparatuur en wordt de besparing naar verwachting €2,90 per meter. De besparing per jaar is naar verwachting €8381,34 per jaar en na de afschrijvingen €18.077,40 per jaar.

Als er wordt gefocust op het financiële plaatje, is het duidelijk dat de pendelmachines het meeste gaan opleveren. Deze apparatuur is al aanwezig, dus is het goed om de pendelmachines verder te implementeren in de dagelijkse werkzaamheden van de lassers.

6.2| Aanbevelingen

Naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek en de gevonden conclusies zijn er verschillende aanbevelingen te geven, welke hieronder zullen worden besproken.

Als ik op dit moment de keuze zou moeten maken tussen de huidige situatie en de implementatie van de RotoWeld, zou ik kiezen voor de huidige situatie. De scores voor de RotoWeld en de huidige situatie zijn vrijwel gelijk. De implementatie van de RotoWeld is een risico omdat er nog veel onzekerheid is over het aantal toe te passen processen en de daadwerkelijke besparing op de kosten. Daarnaast kan er in de huidige situatie nog heel wat verbeterd worden wat aanzienlijk minder risico met zich meeneemt. Een van de belangrijkste punten hierbij is een verbetering van de planning. Op dit moment is de planning nog heel onzeker en is er geen duidelijk overzicht wie waarmee bezig is, met welke opdracht en apparatuur. Ook kan er gekeken worden naar de huidige kosten van de processen en wellicht de inzet van goedkopere processen ten opzichte van de duurdere processen. Ik verwacht dat deze onduidelijkheid ook problemen gaat opleveren bij het succesvol implementeren van de RotoWeld.

Echter biedt de RotoWeld mooie kansen en oplossingen voor andere problemen die zich nu ook voordoen in het proces waaronder een tekort aan hoog gekwalificeerde lassers. Een aantal problemen zullen de komende jaren naar verwachting alleen maar groter worden. De RotoWeld is hiervoor zeker een mooie oplossing met ook vele andere voordelen, zoals een lagere fysieke belasting voor de werknemers.

Naar mijn mening is de RotoWeld een goede optie om verder te onderzoeken, maar is de juiste stap om mee te beginnen optimalisatie van het huidige proces. Door te zorgen dat het huidige proces beter verloopt en er hier meer overzicht is, kan er ook een betere afweging gemaakt worden voor eventuele robotisering. De pendelmachines bieden kostentechnisch gezien het meeste op en zijn al aanwezig op de werkvloer dus lijkt het mij van belang om deze in het lasproces dan ook vaker te gebruiken. De pendelmachines hebben naast het kostenvoordeel ook nog andere voordelen zoals minder fysieke belasting voor de lassers.

Verdere aandachtspunten voor verder onderzoek zullen hieronder puntsgewijs worden toegelicht.

- **Toepasbaarheid**

Aangezien het grootste deel van de processen die uitgevoerd zijn bestond uit het lasproces GTAW, welke niet toegepast kan worden op de RotoWeld en vele andere lasrobots, is het van belang om onderzoek te doen naar het aanbod van het werk van de andere processen. Het vermoeden is dat er nu vaak voor het proces GTAW wordt gekozen omdat dit vaak wordt toegepast en altijd door de klant wordt geaccepteerd. Een deel van de werkzaamheden die nu met een GTAW lasproces worden uitgevoerd, zouden misschien uitgevoerd kunnen worden door een ander proces. Als dit andere proces wel uitvoerbaar is op de RotoWeld zorgt dit ervoor dat het aanbod voor de machine groot genoeg is en de maximale capaciteit van de machine wordt benut.

- **Kostenbepaling**

De manier van kostenbepaling in dit onderzoek kan goed gebruikt worden om de verschillende opties te vergelijken. Hierbij is uitgegaan van de lasdata van de afgelopen 3 jaar. Echter verschillen de lasprocessen onderling zoveel van elkaar qua toepassing, de dikte van de buis, het materiaal, voortloopsnelheid e.d. dat er onderling geen goed vergelijk gemaakt kan worden. Wel is het slim hier naar te kijken. Als een las met verschillende processen kan worden uitgevoerd is het kostentechnisch gezien, verstandig het goedkoopste proces in te zetten. Deze kostenbepaling zou gemaakt kunnen worden door een aantal standaardmaten van buizen te nemen en deze voor ieder lasproces te bepalen. Zo kan er inzicht verkregen worden bij welke soort buizen, welk proces voordelig is en kan er gezocht worden naar een robot die hier invulling aan kan geven.

- **Logistiek**

Omdat de capaciteit van de RotoWeld veel groter is dan van een normaal laststation moet er gekeken worden naar de logistieke kwesties wat betreft aan en afvoer van onderdelen in de werkplaats. De RotoWeld zal op een strategische plek moeten worden geplaatst met een juiste planning. Er zou met extra onderzoek gekeken kunnen worden wat de beste plek is en wat een goede logistiek omtrent dit proces zou kunnen zijn.

- **Meerdere shifts**

Om zoveel mogelijk van de capaciteit van de RotoWeld te benutten en de afschrijvingskosten per uur zo laag mogelijk te houden, zou er verder onderzoek gedaan kunnen worden naar de inzet van meerdere shifts. In dit onderzoek zijn de berekeningen uitgevoerd op basis van een 5 daagse werkweek van 40 uur. Echter is de verwachting dat de besparing groter zal worden als de RotoWeld in meerdere shifts wordt ingezet. Door verder onderzoek te doen, kan dit tegen elkaar uit worden gezet.

- **Planning**

Zoals benoemd in het verslag is de planning van de werkzaamheden een aandachtspunt van het huidige proces en zeker bij mechanisering van het proces. Er moet goed nagedacht worden over de volgorde waarop de verschillende onderdelen aan elkaar worden gelast, om de RotoWeld zoveel mogelijk te kunnen gebruiken. Het is verstandig om eerst deze planningen op orde te maken voordat er verder wordt gegaan met een investering.

- **Personeel**

Zoals is gebleken met de reeds beschikbare hulpmiddelen is het van belang dat de veranderingen gedragen worden door het personeel. Door verder onderzoek te doen naar change management en implementatiestructuren kan er worden gezorgd voor meer acceptatie en motivatie.

VERWIJZINGEN

- Lane, J. D. (1986). Robotic welding.
- Gupta, A. K., & Arora, S. K. (2009). *Industrial automation and robotics*. Laxmi Publications.
- Engelberger, J. F. (2012). *Robotics in practice: management and applications of industrial robots*. Springer Science & Business Media.
- Beer, J., Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2014). Toward a framework for levels of robot autonomy in human–robot interaction. *Journal of Human–Robot Interaction*, 3(2), 74.
- Heerkens, H., & van Winden, A. (2012). Geen probleem.
- Nieuwenhuis, M. A. (2003). *The art of management*. Art of Management.
- Slack, N., & Lewis, M. (Eds.). (2005). *Operations management* (Vol. 10). Psychology Press.
- Roos, R. de, & Vries, F. de. (2012, januari). NIL Brancheonderzoek inschakelduur. Geraadpleegd van <http://www.ydo.eu/uploads/Bb/nC/BbnCOGGqyauUwLLf1YsrEw/NIL-Brancheonderzoek-inschakelduur-lastechniek.pdf>
- Lincoln Smitweld bv. (2008, december). Zin en onzin over laskostenbeheersing. Geraadpleegd van http://www.lasgroepzuidlimburg.nl/lezingen_2012/Lasse%20waat%20kos%20det%20waal%20neet/PIB_33N-Zin_en_Onzin_over_Laskostenbeheersing.pdf
- Silva, C. R., Ferraresi, V. A., & Scotti, A. (2000). *Quality and cost approach for welding process selection*. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/publication/26354225_Quality_and_cost_approach_for_welding_process_selection

